



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

IMPLEMENTACIÓN DEL MODO API EN UNA RED DE SENSORES WSN
PARA LA DETECCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES

Autor

Edison Giovanni Cadena Lupera

Año
2017



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

IMPLEMENTACIÓN DEL MODO API EN UNA RED DE SENSORES WSN
PARA LA DETECCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES

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

Profesor Guía

MSc. Jorge Wilson Granda Cantuña

Autor

Edison Giovanny Cadena Lupera

Año

2017

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con los estudiantes, 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”

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

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con los estudiantes, 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”

Luis Santiago Criollo Caizaguano
Magister en Redes de Comunicaciones
C.I. 1717112955

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.”

Edison Giovanni Cadena Lupera

C.I. 1716754039

AGRADECIMIENTOS

Muy agradecido con Dios principalmente por haberme otorgado dedicación, perseverancia y sabiduría, las características que han permanecido a lo largo de mi vida y me han permitido avanzar. A mis padres Gerardo (+) por enseñarme el valor de las pequeñas cosas y el amor infinito de un padre y Margarita que a pesar de no estar a mi lado me ha guiado y siempre está pendiente de mí. A mis hermanos, que me han apoyado a lo largo del camino incondicionalmente.

Edison Cadena

DEDICATORIA

A mi padre (+) que siempre fue mi compañero de vida, a mi madre, una gran mujer valiente que ha sido mi ejemplo de vida.

Edison Cadena

RESUMEN

El presente proyecto de investigación consiste en el desarrollo de un prototipo para la implementación en modo API de redes de sensores inalámbricos WSN para la detección de incendios forestales.

Tomando como referencia los acontecimientos ocurridos en los años 2014, 2015 y 2016 en la ciudad de Quito y la provincia de Pichincha, que destruyeron gran parte de la vegetación de la ciudad y acabaron con recursos materiales y vidas humanas, se propone una solución tecnológica que permita generar alertas y alarmas en cualquier medio al iniciar un incendio o analizar la composición en la que interviene los gases dióxido de carbono, monóxido de carbono, gas metano y ozono en mayores cantidades que componen al mismo. Los componentes principales son arduinos y sensores inalámbricos Zigbee, que permitirán la comunicación inalámbrica hacia la interfaz gráfica donde podrán ser interpretados. El proyecto integra el modo API que permite la capacidad de comunicación entre componentes del software, formando una red mesh que nos permite conocer los demás dispositivos y que sea más segura.

El primer paso que se realiza es recopilar la información necesaria de los dispositivos que vamos a emplear, como es el caso del Arduino y familiarizarse con el lenguaje de programación y entornos a desarrollar.

Se inicia el diseño físico y lógico del prototipo, permitiendo conocer la forma en la que van a interactuar las diferentes estructuras del sistema. En esta parte se requiere analizar varios factores como la corriente requerida, distancias entre nodos para el valor de potencia y la configuración de cada uno de los elementos

Con estos datos, se realiza la programación necesaria para el funcionamiento de cada uno de los nodos: el nodo principal, el nodo secundario y el nodo Coordinador; se forma el fragmento requerido. Se establecen otras formas de alimentar la red para protección de los elementos y que se puedan ajustar a diferentes entornos.

Una vez finalizada la programación y conexión de los dispositivos se desarrolla una interfaz para mostrar los resultados obtenidos entre el nodo Coordinador, el

nodo principal y los nodos secundarios y la comunicación de los módulos Zigbee que están en constante funcionamiento.

En la parte final se realizan los escenarios de pruebas y simulaciones, además de las pruebas de campo y validación del prototipo. Otro de los procesos que se revisa es el análisis de la inversión en el proyecto y se definen las conclusiones y recomendaciones, en el último capítulo de la investigación.

ABSTRACT

The present research project consists of the development of a prototype for the implementation in API mode of WSN wireless sensor networks for the detection of forest fires.

Taking as a reference the events that occurred in 2014, 2015 and 2016 in the city of Quito and the province of Pichincha, which destroyed much of the city's vegetation and ended up with material resources and human lives, a technological solution is proposed that Allows to generate alerts and alarms in any medium when starting a fire or to analyze the composition in which the gases carbon dioxide, carbon monoxide, methane gas and ozone intervenes in greater amounts that compose to the same one. The main components are Arduinos and Zigbee wireless sensors, which will allow wireless communication to the graphical interface where they can be interpreted. The project integrates the API mode that allows the communication capability between components of the software, forming a mesh network that allows us to know the other devices and make it more secure. The first step is to compile the necessary information of the devices that we are going to use, such as the Arduino and familiarize ourselves with the programming language and environments to be developed.

It starts the physical and logical design of the prototype, allowing to know the way in which they will interact the different structures of the system. In this part it is necessary to analyze several factors such as the current required, distances between nodes for the power value and the configuration of each of the elements. With this data, the necessary programming is performed for the operation of each of the nodes: the main node, the secondary node and the Coordinator node; The required fragment is formed. Other ways of feeding the network for protection of the elements are established and can be adjusted to different environments.

Once the programming and connection of the devices is completed, an interface is developed to show the results obtained between the Coordinator node, the main node and the secondary nodes and the communication of the Zigbee modules that are in constant operation.

In the final part of the test scenarios and simulations, in addition to field testing and prototype validation. Another process that is reviewed is the analysis of investment in the project and the conclusions and recommendations are defined in the last chapter of the research.

ÍNDICE

Introducción	1
Alcance.....	2
Justificación.....	3
Objetivos	4
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos	4
1.CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	4
1.1 Descripción de la zona “Parque Metropolitano de Quito”.....	5
1.1.1 Ubicación Geográfica	6
1.1.2 Flora del Sitio.....	6
1.1.3 Tipo de Vegetación.....	6
1.2 Incendios Forestales en los años 2013, 2014, 2015 y 2016	8
1.2.1 Soluciones de respuesta a incendios	8
1.2.2 Modos de detección y monitoreo.....	9
1.2.3 Sistemas de Detección	9
1.3 Introducción a las Redes de Sensores Inalámbricos	9
1.3.1 Parámetros de Wireless Sensor Network	11
1.4 Topologías.....	11
1.5 Enrutamiento.....	12
1.5.1 Modelos de Enrutamiento.....	13
1.5.1.1 Protocolo de Difusión directa (modelo de un salto)	13
1.5.1.2 Modelo Multisalto (multihops)	13
1.5.1.3 Modelo esquemático basado en clústeres.....	13
1.5.1.4 Protocolos centrados en el dato (Datacentric).....	13
1.5.1.5 Protocolo basado en localización	13
1.6 Elementos de una red de sensores inalámbrica (WSN).....	13
1.7 Tecnologías inalámbricas estándares y propietarias para sensores inalámbricos	14

1.8 Modos de configuración	15
1.8.1 Modo API (Application Programming Interfaces).....	15
1.8.2 Modo AT	16
1.9 Zigbee.....	17
1.9.1 Configuración de los elementos de una red	17
1.9.2 Módulos Zigbee de Digi	20
2. CAPÍTULO II. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL	
PROTOTIPO DEL SISTEMA	20
2.1 Diseño de Prototipo de red.....	21
2.1.1 Diseño de Hardware	24
2.1.1.1 Nodo Principal	24
2.1.1.2 Nodo Secundario.....	25
2.1.1.3 Nodo Secundario.....	25
2.1.1.4 Nodo Coordinador	25
2.1.1.5 Sensor MG-811 (CO ₂):.....	26
2.1.1.6 Sensor MQ7 (CO):.....	26
2.1.1.7 Sensor MQ4 (CH ₄):.....	28
2.1.1.8 Sensor Semiconductor MQ131 para Ozono.....	30
2.1.1.9 GPS Neo-6M:	32
2.1.1.10 Arduino Mini Pro ATmega328:.....	33
2.1.1.11 ZIGBEE S2B PRO.....	34
2.1.1.12 Pilas Lypo 3.7 VDC.	34
2.2 Diseño de Software	35
2.2.1 Análisis del lenguaje de programación a usarse.	35
2.2.1.1 Lenguaje de Programación C Sharp	35
2.2.1.2 Arduino	36
2.2.1.3 XCTU.....	37
2.3 Configuración y Ejecución de los Programas	38
2.3.1 Programación en Arduino para formar la Trama API.....	38
2.3.2 Programación en XCTU para formar la Trama API	40

2.3.3 Lectura y Configuración de Received Signal Strength Indicator (RSSI).....	54
2.4 Diseño de PCB y circuitería	56
2.4.1 Elementos de la PCB	56
2.4.2 Pruebas de conexión para montaje de elementos.....	57
2.5 Software Eagle	59
2.6 Diseño de Caja en 3D para montaje de Nodo Principal	60
2.7. Interfaz Gráfica.....	64
2.7.1 Guía de Usuario de la Interfaz.....	64
2.7.2 Sensores	65
2.7.2.1 Ubicación GPS	66
2.7.2.2 RSSI	67
2.7.3 Base de Datos	68
2.8 Calibración de Sensores	71
3. CAPÍTULO III. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.....	75
3.1 Escenario de pruebas	75
3.1.1. Pruebas realizadas en la Biblioteca del campus Query.....	76
3.2 Pruebas realizadas en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental.....	78
3.2.1 Pruebas realizadas en campo abierto	85
3.2.2. Pruebas de la red tipo Mesh.....	86
3.2.3 Pruebas en segmento RSSI	90
4. CAPÍTULO IV ANÁLISIS DEL COSTO – BENEFICIO DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE RED INALÁMBRICA.....	93
4.1 Costos Materiales:.....	93
4.2 Costo del Diseño:.....	94
4.3 Costo de Programación:.....	94

4.4 Total Costo del prototipo de red WSN (incluye coordinador, nodo principal y dos nodos secundarios) con la interfaz Gráfica:.....	94
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
5.1 Conclusiones	95
5.2 Recomendaciones.....	96
REFERENCIAS	98
ANEXOS	100

Introducción

En la presente investigación se puede mostrar que las consecuencias en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015 por incendios forestales son fatídicas: tres aspirantes a bomberos fallecieron, varias personas resultaron heridas y alrededor de diez millones en pérdidas materiales.

En algunas zonas de la ciudad, el fuego se logró expandir y afectaron grandes extensiones de bosques nativos considerados como área protegida por el Ministerio de Ambiente. En la topografía en la que se presentan estos siniestros no hay mayores accesos, la comunicación es nula y fuentes de agua cercanas son escasas, complicando más las labores del personal de emergencia y voluntarios.

Las instituciones públicas han asignado 9.5 millones para inversión en reforestación y regeneración de los bosques afectados donde se quemaron alrededor de 500 hectáreas. La afectación en biodiversidad se registró en las laderas y quebradas, afectando al ecosistema de toda la provincia de Pichincha.

En torno a estos acontecimientos, en el Distrito Metropolitano de Quito se declara la emergencia en virtud de los eventos presentados y de público conocimiento sobre los incendios forestales y en relación con los riesgos y consecuencias que dicha actividad podría producir en el Distrito. Se dictan medidas urgentes y transitorias para enfrentar esta emergencia, como requerir la presencia temporal de otras Unidades de Bomberos del país, disponer la presencia permanente de elementos de la Policía Metropolitana, Policía Nacional y de las Fuerzas Armadas para apoyo en las actividades de prevención, mitigación, control, socorro y sofocación de incendios.

En el Municipio de Quito, se realiza la coordinación dentro de las competencias de las autoridades para la posible cooperación internacional de entidades públicas, privadas o de economía mixta para la facilitación de herramientas, equipos y recursos humanos técnicos y financieros, y mejorar y cualificar la dotación de recursos hídricos a través de mecanismos como movilización de tanqueros, monitoreo y alerta temprana de incendios, a través de brigadas

forestales para actuar en áreas rurales y como sensibilizar y concienciar a la ciudadanía ante estas catástrofes.

El crecimiento de la vegetación natural en Quito se constituye como factor perjudicial en relación con el problema de los incendios forestales, en el país no se ha creado el enfoque social ni político de prevenir este tipo de catástrofes, lo que provoca un mayor riesgo dentro de pérdidas de víctimas humanas y daños en sus propiedades.

Los incendios forestales son provocados en su mayoría en zonas pobladas, lo que constituye una amenaza adicional para establecer planes de emergencia, la ciudadanía mucha de las veces no ejecuta procedimientos adecuados de seguridad y constituye un elemento de riesgo en todo momento.

Alcance

El alcance de este proyecto es implementar protocolos de enrutamiento y comunicación basada en el modo API de operación en una red de sensores WSN aplicado a la detección de incendios forestales.

El sistema está integrado por la red de sensores de gases, módulo GPS, sensores (WSN), módulos arduinos y demás componentes.

Cada uno de los cuatro sensores; dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano y ozono son elementos que nos permiten realizar las mediciones continuas del gas en el ambiente expuesto.

El nodo Coordinador va conectado a la computadora a través de un puerto, el cual controla, dirige, configura y establece la comunicación mediante el Gateway, que está formado por el nodo principal. Estos dos elementos van a encaminar toda la información que recibe el resto de nodos que componen la red de sensores inalámbricos. El nodo principal es el encargado de ejecutar el primer elemento de detección de fuego, que, complementado por los otros dos nodos secundarios, crea la topología de red ajustada a los requerimientos propuestos.

Los elementos de red están definidos principalmente por:

Sensores: son elementos de red que van a captar determinadas magnitudes físicas en conjunto para detectar cualquier situación.

Dispositivos de comunicaciones: son los elementos que establecen la red para la comunicación de radiofrecuencia a través del protocolo IEEE 802.15.4, conocido como Zigbee y el cuál se implementa en las redes de sensores inalámbricos (WSN).

Procesador: formado por el controlador Zigbee Explorer USB, es una herramienta que ejecuta el programa y logra captar datos de los sensores, los procesa y los transmite en tiempo real. Está integrado por el procesador y la memoria.

Fuente de alimentación: constituyen dos baterías las cuáles van abastecer el suministro constante de energía.

De acuerdo a las características de funcionamiento y operación, cada elemento se compara y se elige al momento de la implementación del prototipo.

Tomamos como referencia el proyecto de titulación denominado “Diseño e Implementación de un prototipo de sensores inalámbricos para detectar incendios en el Parque Metropolitano Guangüiltagua de Quito” desarrollado por Dennis Bastidas en el año 2016.

Justificación

En este proyecto se implementa un sistema de apoyo basado en redes de sensores inalámbricos que facilite las tareas de monitoreo y detección en una emergencia forestal. El prototipo construido va a ser de gran ayuda a los servicios de rescate ya que les entrega valiosa información como la ubicación, la fecha y la hora, si se presentan indicios o elementos relacionados con un incendio, para ubicarse en cualquier punto de la ciudad y brindar seguridad y protección al medio ambiente que le rodea, ahorrando valiosos recursos y evitando cualquier tragedia.

El prototipo toma referencias de los datos obtenidos para ejecutar acciones y procedimientos preventivos y correctivos.

La implementación del sistema no es costosa y es una solución tecnológica a largo alcance que beneficia a toda la población.

Objetivos

Objetivo General

- Desarrollar un sistema de detección de incendios forestales mediante sensores inalámbricos y modo API.

Objetivos Específicos

- Analizar los protocolos de enrutamiento y comunicación basada en el modo API de operación en una red de sensores WSN.
- Evaluar e identificar los elementos y parámetros utilizados para las mediciones dentro de la red con sensores inalámbricos.
- Implementar la red de sensores inalámbricos en modo API.
- Realizar pruebas de funcionamiento y validar el prototipo.
- Analizar los costos – beneficios de la implementación de la red.
- Obtener las recomendaciones y conclusiones en el proyecto.

1.CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

Los riesgos de incendios forestales se presentan cada año en el verano, entre los meses de junio y agosto y se pueden extender hasta octubre. La magnitud de los siniestros perjudica a toda la población en aspectos sociales, económicos y ecológicos.

La prevención de los incendios forestales se encuentra a cargo del Ministerio del Ambiente, los cuáles han establecido planes de Contingencia y de Emergencias que permitan controlar, prevenir, mitigar y lograr controlar estos siniestros, especialmente en los lugares más vulnerables como las áreas protegidas y bosques.

Los planes se van ejecutando con la cooperación y capacitación de la población, quienes demuestran interés en estos temas haciendo conciencia y transmitiendo mayor seguridad al presentarse estos acontecimientos. Cada plan de contingencia tiene su estructura, en ellos existen ciertas prioridades como: establecer programas de prevención realizando diferentes actividades operativas y preventivas. Otra de las actividades que se van a ejecutar es realizar labores con las instituciones gubernamentales como la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, Cuerpo de Bomberos, Fuerzas Armadas y Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales, Municipales y Parroquiales.

Las labores de estas entidades consisten en establecer procedimientos adecuados para controlar los incendios y que no haya consecuencias lamentables. Además de todas estas acciones, se busca proteger cada una de las especies vegetales que en los incendios son afectadas.

En nuestro país, el fuego se utiliza para diferentes actividades dentro de la agricultura, si no se realizan con precaución pueden llegar a ser dañinas para el entorno y el ecosistema.

Las estadísticas indican que el 70% de incendios forestales son causados por el hombre, el 25% son causados por quemas agrícolas y el 5% por causas naturales como vidrios y botellas. (Ministerio de Ambiente, 2014).

Otros factores a considerar importantes en la expansión del fuego son: las condiciones de variación del clima, la velocidad del viento y la temperatura.

1.1 Descripción de la zona “Parque Metropolitano de Quito”

Tomamos como ejemplo de aplicación el Parque Metropolitano Guangüiltagua, uno de los principales en la ciudad de Quito, y que se monitorea a través de la estación “Belisario” en la Secretaría de Ambiente.

El Parque Metropolitano Guangüiltagua es el parque urbano más importante del norte de Quito. Las características más relevantes son su ubicación privilegiada y su flora y fauna endémica, en el área existen especies símbolos de identidad y patrimonio natural que destacan a este parque.

1.1.1 Ubicación Geográfica

La ubicación exacta es de 2.890 metros sobre el nivel del mar y la temperatura promedio es de 11 grados centígrados, cercado por las calles Guanguiltagua, Arroyo Delgado y Analuisa. Su extensión corresponde a 557 hectáreas, constituye el principal pulmón de la ciudad de Quito.

1.1.2 Flora del Sitio

La flora está constituida principalmente por la acumulación matorral húmedo montano y matorral seco montano, arbustal montano de los Andes Norte y al piso zoogeográfico temperado. El árbol predominante en el parque es el eucalipto seguido de matorrales y arbusto de carácter nativo. El Parque Metropolitano Guangüiltagua tiene 5 quebradas: Quebrada el Batan Grande, Quebrada del Guabo, Quebrada Rosario, Quebrada Merizalde, Quebrada Ashingtaco. Los estudios realizados muestran que a pesar de que el ecosistema natural ha sufrido graves afectaciones, todavía se encuentran especies de aves endémicas, aves migratorias, anfibios, mamíferos y plantas endémicas, dando esperanza a la recuperación de la vida silvestre dentro del parque.

En la mayoría del área del Parque Metropolitano Guangüiltagua existen plantaciones de Eucalipto (*Eucaliptus globulus* Labill). En el área protegida se han registrado 29 especies de plantas de 28 géneros y 20 familias. (Distrito Metropolitano de Quito, 2010).

1.1.3 Tipo de Vegetación

Para establecer el tipo de vegetación a la que le corresponde por su ubicación, el Parque Metropolitano Guangüiltagua se asemeja a la reserva ecológica Pasochoa que por sus distintos micro climas es un ejemplo del bosque andino y a los bosques del valle de Quito. En la tabla a continuación se muestra las especies representativas del bosque andino húmedo montano bajo.

Tabla 1.

Especies vegetales endémicas en el Parque Metropolitano Guanguiltagua

LISTADO DE PLANTAS DE LA QUEBRADA ASHINTACO	
PAQUE METROPOLITANO DE QUITO	
Especies Nativas	
ASTERACEA	
<i>Baccharis polyantha Kunth</i>	Chilca Negra
<i>Baccharis floribunda Kunth</i>	Chilca Blanca
<i>Bidens humilis Kunth</i>	Ñachag
<i>Bamadesia arborea Kunth</i>	Pujin Negro
<i>Taraxacum officinalis</i>	Diente de León
<i>Gnaphalium spicatum Lam.</i>	Lechuguilla
<i>Hypochaeris sessiliflora</i>	
<i>Hypochaeris sonchoides Kunth</i>	
<i>Eupatorium sp.</i>	
<i>Culcitium reflexum</i>	Arquitectura
ASPLENIACEAE	
<i>Asplenium sp.</i>	Helecho
ASTROEMERACEAE	
<i>Bomarea</i>	Quebra Platos
ARALIACEAE	
<i>Oreopana ecuadorensis</i>	Pumamaqui
BROMELIACEAE	
<i>Pitcaimia</i>	Huaicundo
<i>Tillandsia ampla</i>	Huaicundo
<i>Puya sp.</i>	Achupalla
BUDDLEJACEAE	
<i>Buddleja incana</i>	Quishuar
CLUSIACEAE	
<i>Hypericum laricifolium Kunth</i>	Romerillo
CORIARIACEAE	

<i>Coriaria americana</i>	Sanshi
CYPERACEAE	
<i>Cyperus sp.</i>	
DIOSCOREACEAE	
<i>Dioscorea sp.</i>	Hierba dura

Adaptado de: (Guayasamín H, 1994).

1.2 Incendios Forestales en los años 2013, 2014, 2015 y 2016

En el año 2013 se contabilizaron 1.108 eventos relacionados con quemas agrícolas, de basura, conatos de incendio, manifestó en una entrevista Eber Arroyo, comandante del Cuerpo de Bomberos.

Según el Cuerpo de Bomberos de Quito, se informó que entre junio y agosto de 2014 registraron 38 incendios forestales, cifra que supera ampliamente a los ocho siniestros ocurridos en 2013 durante el mismo periodo. En relación al año 2015, se refleja la reducción del 55% de terreno afectado por las quemas forestales, se quemaron 222,71 hectáreas. En los meses comprendidos de julio y agosto de 2016, se quemaron 20 hectáreas por conatos e incendios forestales en Quito. El Cuerpo de Bomberos atendió 304 conatos de quemas forestales. Esto provocó afectación en 9,7 hectáreas de terreno. Según los Bomberos, existen 70 sectores susceptibles a incendios forestales en Quito. (Galindo,2014)

1.2.1 Soluciones de respuesta a incendios

Las labores que realiza el Cuerpo de Bomberos son constantes y mantiene campañas permanentes de orientación a la ciudadanía para mantenerse informada y protegida. Al momento se encuentra activo un contingente que permite combatir el fuego en las áreas verdes, conformado por 700 participantes entre la Policía Nacional y de las Fuerzas Armadas, guías forestales, personal de guardia de las Estaciones, Brigadas de respuesta a Incendios Forestales, bomberos motorizados y el grupo femenino motorizado ambiental. Para combatir los incendios se dispone de un amplio recurso logístico como son: 13 autobombas, 19 tanqueros, 30 motos, 4 camionetas, 2 camiones logísticos, entre otros recursos. (El Telégrafo,2016)

1.2.2 Modos de detección y monitoreo

Al detectar un incendio forestal, hay varios elementos y recursos que deben ser preestablecidos para que se pueda controlar la situación. Todas las emergencias van a ser diferentes, unas más peligrosas que otras, se requiere mantener previsto el personal y los tiempos de respuesta mínimos desde que se genera la alerta del fuego. La información asignada es vital para que los resultados sean los esperados y no haya consecuencias lamentables.

1.2.3 Sistemas de Detección

a. Detección terrestre móvil

La detección terrestre móvil está definida como el desplazamiento del personal designado a la emergencia a un determinado lugar, con sus elementos de seguridad y que se desplaza en transporte o el ingreso sea a pie. La información es completa, dando apertura a la primera acción inmediata, aunque el monitoreo no se puede realizar seguido, debe transcurrir tiempo para que se ejecute otra revisión.

b. Detección terrestre fija

Este procedimiento se muestra con la observación del sitio desde una estructura alta, denominada puesto de detección, que se establece en cerros y alrededor de 20 km. Se realizan comunicaciones por radio de las condiciones del fuego y del terreno.

C. Detección aérea

Es un procedimiento que se enfoca a utilizar medios aéreos como helicópteros o pequeños aviones para detectar los incendios, controlarlos y apagarlos. La mayor parte de los casos está provista de elementos que cargan agua y se dirigen al sitio o a monitoreo, con información muy precisa. Es un sistema caro.

(Ministerio de Agricultura, 2015)

1.3 Introducción a las Redes de Sensores Inalámbricos

El desarrollo de las tecnologías basadas en redes inalámbricas ha tenido un incremento significativo. Inicialmente se usaba la conexión vía infrarrojo para la

comunicación punto a punto, las redes WPAN de corto alcance y tecnología Bluetooth en redes multipunto. Las redes de medio alcance conocido como Zigbee son nuevas y sus aplicaciones diversas. Existen tecnologías inalámbricas como WIFI que se usan en redes locales (WLAN), los equipos WIMAX usados en redes WMAN, y la telefonía celular de largo alcance (GPRS).

Las redes de sensores inalámbricos son una innovación tecnológica que permite utilizarlas en diferentes campos como la industria, la agricultura, incendios, medio ambiente, seguridad, etc.

La investigación relacionada a estos dispositivos ha sido propuesta por fabricantes reconocidos como Microsoft, Intel, IBM, Motorola y Texas Instruments, entre las principales. (conferencias wsn,s.f.)

Las redes inalámbricas de sensores (*WSN Wireless Sensor Network*), son redes que requieren bajos consumos de energía (nodos), para compartir información del entorno, la procesan y se comunican por los enlaces inalámbricos dentro de la red hasta el coordinador.

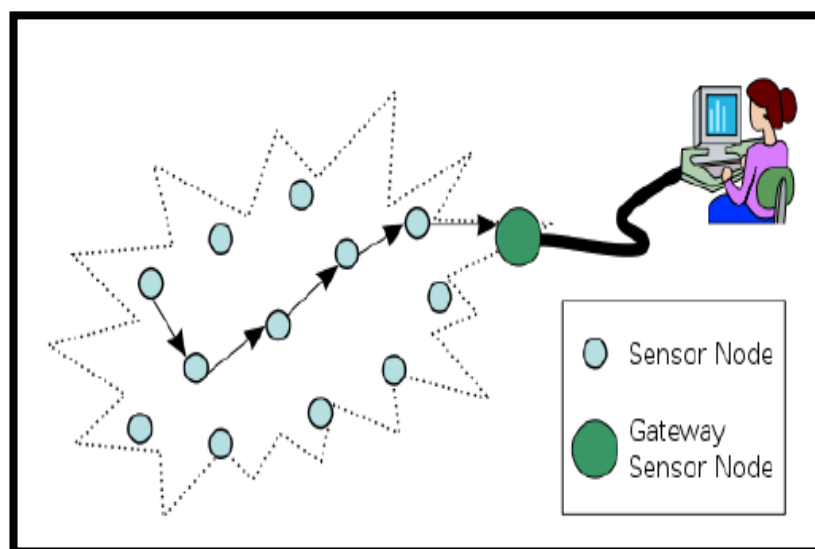


Figura 1. Estructura de una red inalámbrica de sensores.

Tomado de: (González y Fernández, 2014)

1.3.1 Parámetros de Wireless Sensor Network

Hay características que los elementos de las WSN mantienen, entre los principales están: el tiempo de vida de los dispositivos, la cobertura provista en relación al medio, los costos, parámetros de instalación, tiempos de respuesta en las aplicaciones, la precisión y la frecuencia programada al obtener los valores en las mediciones, la seguridad en el sistema y el bajo consumo de energía.

Las características requeridas al implementar redes con sensores inalámbricos deben ser: flexibilidad, robustez, alcance, y capacidad de la comunicación con otros elementos de la red.

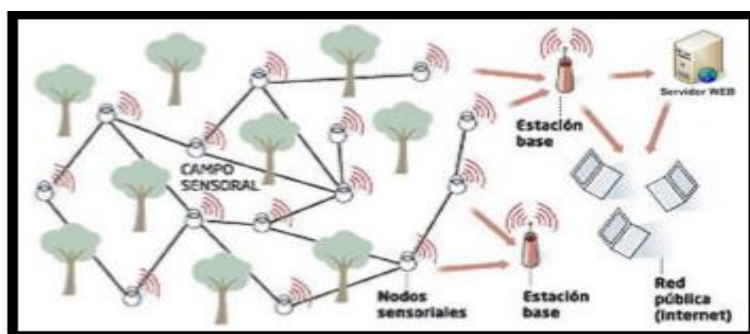


Figura 2. Elementos de red WSN.

Tomado de: (Arcos, 2015)

1.4 Topologías

Los nodos de sensores inalámbricos se pueden interconectar entre sí como se puede observar en la Figura 3. Las topologías que se pueden utilizar son:

Estrella: es la topología más común. Los nodos de los extremos pueden ser simples y conectarse directamente al nodo o a la Gateway.

Anillo: topología típica de redes de fibra óptica, hay poco uso en redes de sensores debido a la distribución que tendrán los nodos en el espacio.

Bus: esta topología se puede implementar cuando se conectan los nodos con un medio guiado, pero no en las redes de sensores.

Árbol: la información se lleva de los nodos sensores más alejados de Gateway hasta el próximo nodo, más compleja que una red estrella, son nodos simples.

Mallado con conexión total: hay enlace directo entre todos los pares de nodos de la red. Una malla completa con n nodos requiere de $n(n - 1) / 2$ enlaces directos. Implica mayor complejidad, pero la confiabilidad es alta.

Mallado con conexión parcial: Los nodos se conectan solamente a uno o dos nodos de la red. Es menos costosa que la malla completa, no es tan confiable ya que enlaces redundantes son reducidos.

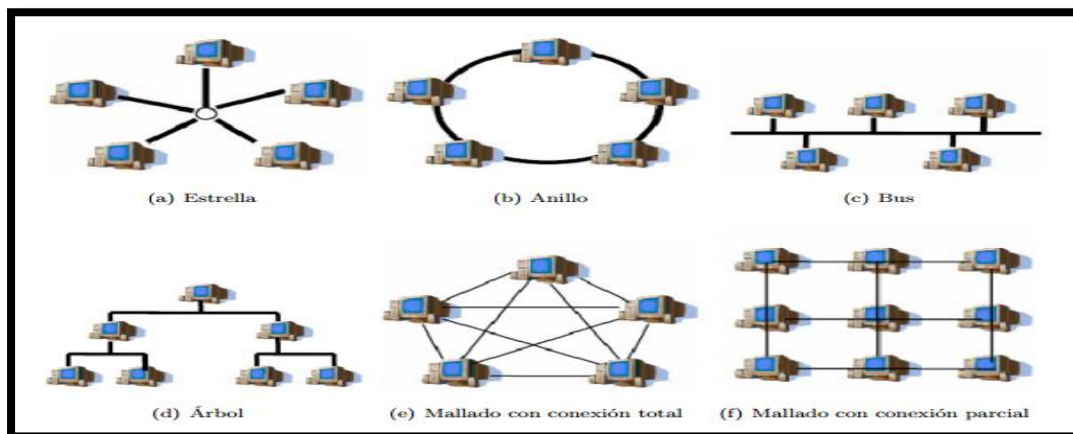


Figura 3. Topologías de red.

Tomado de: (González y Fernández, 2014)

1.5 Enrutamiento

La comunicación de los nodos se basa en el descubrimiento de cada uno mientras la topología se va formando. Al aparecer un nuevo nodo, emite la señal broadcast de los nodos cercanos, y se efectúa la comunicación de los que acceden. Al transcurrir un tiempo determinado, se revisa cuantos nodos van a enlazarse y si puede alcanzar al siguiente.

Al formar la trama API requerida, es necesario que se puedan ejecutar correctamente los algoritmos de enrutamiento en redes de sensores inalámbricas como son:

- Mantener una tabla de enrutamiento pequeña.
- Elegir la mejor ruta para un destino como enfoque a la rapidez, confiabilidad, de mejor capacidad o costos bajos.
- Actualizar la caída de nodos, su cambio de posición o su aparición.

- Mantener una pequeña cantidad de mensajes y tiempo para converger.

1.5.1 Modelos de Enrutamiento

Los varios tipos de protocolos de enrutamiento que se pueden usar son:

1.5.1.1 Protocolo de Difusión directa (modelo de un salto)

Es el modelo más simple que realiza una comunicación directa, se puede transmitir a la estación base. Consume altos valores de energía, y la transmisión a través de los nodos es limitado, ya que todas las transmisiones no serán efectivas, la distancia estará determinada por el elemento de radio asignado y no es tan usado en comunicaciones de redes inalámbricas.

1.5.1.2 Modelo Multisalto (multihops)

Precisa la transmisión en la que un nodo va a transmitir al nodo central y en la que reenvía la información a los dispositivos, acercándose al que más se proyecte a la mota central o al siguiente. Dicha información transmite de la fuente al destino mediante salto a salto desde un nodo al otro hasta que llega al destino.

Este modelo es el elegido para el proyecto por sus características.

1.5.1.3 Modelo esquemático basado en clústeres

En este modelo, los nodos se agruparán en clústeres que definen a uno como principal, la función principal es reunir cada uno de los nodos principales y proyectarlo al nodo base.

1.5.1.4 Protocolos centrados en el dato (Datacentric)

Al ejercer el enrutamiento en los que se usan muchos sensores, se requiere que cada uno envíe información, entre ellos revisan la válida y eliminan lo excedente, asegurando la energía esencial requerida.

1.5.1.5 Protocolo basado en localización

Este protocolo va a permitir que se muestre la posición de los sensores y establecer la comunicación de datos a la red. (modelos de enrutamiento s.f.)

1.6 Elementos de una red de sensores inalámbrica (WSN)

Las redes de sensores inalámbricos son dispositivos con características definidas y constituidas para el medio y las aplicaciones en las que se desarrolle, asociando varios factores primarios y secundarios. Entre estos elementos citamos:

Nodo: estos elementos toman cada dato a través de la componente Gateway y envían la información almacenada desde el nodo coordinador al nodo principal.

Nodo sensor: su función es obtener, recoger y almacenar la información que se va a medir o sensar y transmitirla. Tiene en su estructura el sistema de comunicación por radio para permitir el intercambio de mensajes con los nodos sensores adyacentes.

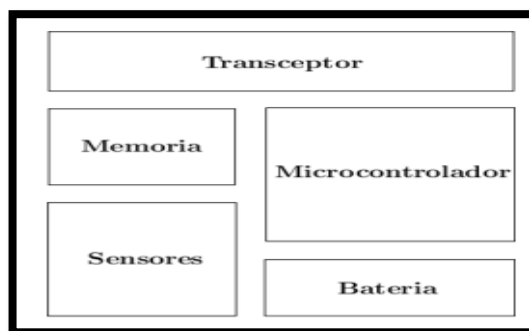


Figura 4. Componente hardware de un nodo sensor.

Tomado de: (Márquez, 2014)

Gateway: su función es transmitir la información almacenada al usuario en tiempo real.

Motas: la función de una mota es permitir que se realice el procesamiento de información y la comunicación al nodo sensor. Los dispositivos de radio reciben los datos obtenidos del sensor a través de sus componentes, y envían la información al nodo principal.

1.7 Tecnologías inalámbricas estándares y propietarias para sensores inalámbricos

Tabla 2.

Comparación de las características principales de tecnologías inalámbricas Wi-fi, Bluetooth, Zigbee

Comparación entre tecnologías inalámbricas wi-fi, bluetooth, zigbee			
	WiFi(IEEE 802.11g)	Bluetooth (IEEE 802.15.1)	Zigbee (IEEE 802.15.4)
Radio	DSSS (direct sequence spread spectrum)	FHSS, (frequency hopping spread spectrum)	DSSS (direct sequence spread spectrum)
Velocidad	54 Mbps	1 Mbps	250 Kbps
Nº de nodos por máster	32	7	64.000
latencia	Up to 3s	Up to 10 s	30 ms
Tipo de datos	Video, audio, gráficos	Audio, gráficos	Pequeños paquetes

Tomado de: (Márquez, 2014)

Tabla 3.

Comparación entre tecnologías inalámbricas Wi-fi, Bluetooth, Zigbee

Comparación entre tecnologías inalámbricas wi-fi, bluetooth, zigbee			
	WiFi(IEEE 802.11g)	Bluetooth (IEEE 802.15.1)	Zigbee (IEEE 802.15.4)
	películas, ficheros	películas, ficheros	datos
Alcance	100	10 (v1.1)	70 -100
Expansión	Roaming	no	si
Duración batería	12 y 48 horas	1 semana	100 - 1000 días
Costo \$	9	9	9
Complejidad	complejo	Muy complejo	Sencillo
Aplicación Principal	WLAN	WPAN	Control y monitorización
Memoria necesaria	1MB +	250 KB+	4 KB - 32 KB
Parámetros más importantes	Velocidad y flexibilidad	Costos y perfiles de aplicación	Fiabilidad, bajo consumo y bajo costo

Tomado de: (Márquez, 2014)

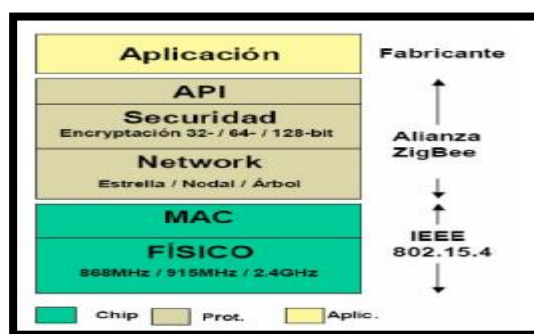


Figura 5. Capas de red WSN

Tomado de: (Márquez, 2014)

1.8 Modos de configuración**1.8.1 Modo API (Application Programming Interfaces)**

API: está formado por un conjunto de normas y especificaciones que los programas de software lo utilizan para comunicarse entre sí.

Operación API: en este modo de operación se complementa como una alternativa a la operación en modo transparente. El modo API basado en tramas extiende el nivel al cual cualquier aplicación inicial permite que se ejecute con las capacidades de la red dentro del módulo.

Todos los datos entrantes y salientes del módulo están contenidos en tramas que definen operaciones o eventos en el módulo. La API provee varias formas de configurar los módulos y direccionar datos en la capa de aplicación.

El modo API permite el uso de tramas creadas con identificadores que aseguran la entrega de datos, como TCP.

La trama de Transmisión de información incluye:

- Trama de información RF transmitida.
- Trama de comandos (equivalente a comandos AT).
- Mientras que una trama de recepción de Información incluye:
- Trama de información RF recibida.
- Comando de respuesta.
- Notificaciones de eventos como Reset, Associate, Disassociate, etc.

Entre las opciones que permite el modo API, se tienen:

- Transmitir información a múltiples destinatarios, sin el ingreso al modo de comandos.
- Recibir estado de éxito/falla de cada paquete RF transmitido.
- Identificar la dirección de origen de cada paquete recibido.

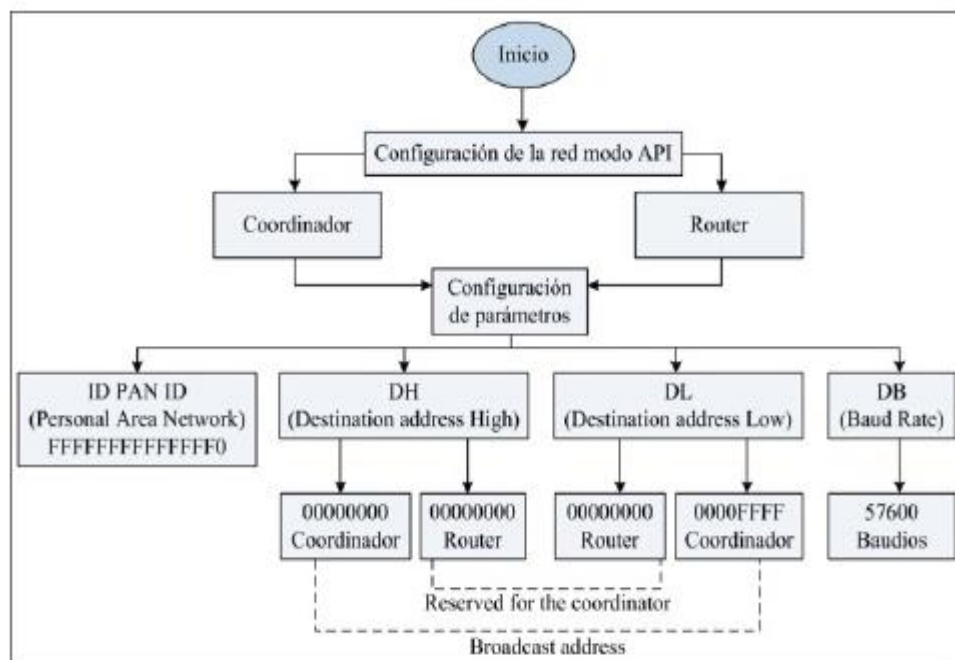


Figura 6. Estructura de configuración en modo API

Tomado de: (Alliance, 2016)

1.8.2 Modo AT Operación de Modo Transparente.

Cuando se ejecuten aplicaciones en modo transparente, cada módulo realiza el proceso de una línea serial, y cada uno de los datos UART son recibidos a través

del pin DIN encolados para transmisión por RF. Al recibir datos RF, los datos son enviados a través del pin DOUT. Dichos parámetros de configuración son realizados usando la interfaz de comandos modo AT.

1.9 Zigbee

Está basado en el estándar IEEE 802.15.4 como una especificación para un conjunto de protocolos de comunicaciones de alto nivel que usan pequeños radios digitales de bajo poder, para redes inalámbricas de áreas personales, de bajo poder y bajo costo. Esta tecnología está dirigida a aplicaciones de RF que requieren una velocidad de transferencia de datos baja, larga duración de batería y gestión de redes segura.

1.9.1 Configuración de los elementos de una red

Entre los dispositivos Zigbee, podemos configurarlos como:

- **Coordinador:** Es el nodo de la red inalámbrica que tiene la única función de formar una red en cualquier topología.
- **Routers:** Es un nodo que va a crear y mantener estable y permanente la información sobre la red para determinar la mejor ruta para acceder el paquete de información.
- **Dispositivos Finales:** Los dispositivos finales no tienen capacidad para enrutar paquetes, son elementos que solo presentan información.

Modos de operación de los Zigbee:

- **Modo transparente:** Se realiza un enlace serie entre dos módulos diferentes.
- **Modo bajo consumo:** En este modo el dispositivo se encuentra desconectado o en sleep mode para ser apagado por Pin.
- **Modo de comandos:** El modo de comandos muestra las posibles configuraciones en modo transparente o Comandos AT de modem.
- **Modo API:** El modo API es el más complejo, es preciso en su aplicación, se asimila a conexiones al estilo TCP.

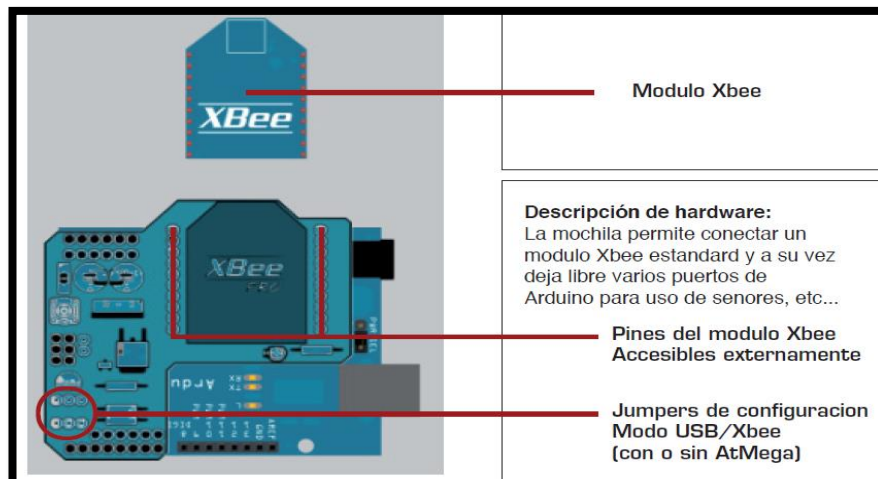


Figura 7. Descripción de hardware.

Tomado de: Alliance, 2012

Pines del modulo

1	VCC	AD0/DIO0	20
2	DOUT	AD1/DIO1	19
3	DIN/CONFIG	AD2/DIO2	18
4	DO8	AD3/DIO3	17
5	RESET	RTS/AD6/DIO6	16
6	PWM0/RSSI	AD5/DIO5	15
7	PWM1	VREF	14
8	[reservado]	ON/SLEEP	13
9	DTR/SLEEP_RQ/DI8	CTS/DIO7	12
10	GND	AD4/DIO4	11

Figura 8. Pines del módulo Zigbee

Tomado de: Alliance, 2016

Los dispositivos Zigbee están enfocados a la transmisión baja de datos. La compañía que desarrolla este software se denomina Zigbee Alliance.

La transmisión se basa en dispositivos inalámbricos que operan en la banda ISM (868 MHz, 915 MHz y 2.4 GHz), una característica es la modulación en espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS) también conocida como acceso múltiple por división de código en secuencia directa (DS-SS). En el rango de frecuencias de 2.4 GHz (banda más extendida) se definen 16 canales con un ancho de banda de 5 MHz.

Entre los dispositivos Zigbee podemos encontrar de dos tipos:

- **FFD** (Full Function Device)
- **RFD** (Reduced Function Device)

EL modelo OSI está relacionado directamente con Zigbee, y se simplifica a cuatro capas. Al analizar el estándar 802.15.4, se relaciona las dos primeras capas, denominadas física y de enlace de datos, al protocolo mientras que Zigbee va a definir la capa de red y la capa de aplicación.

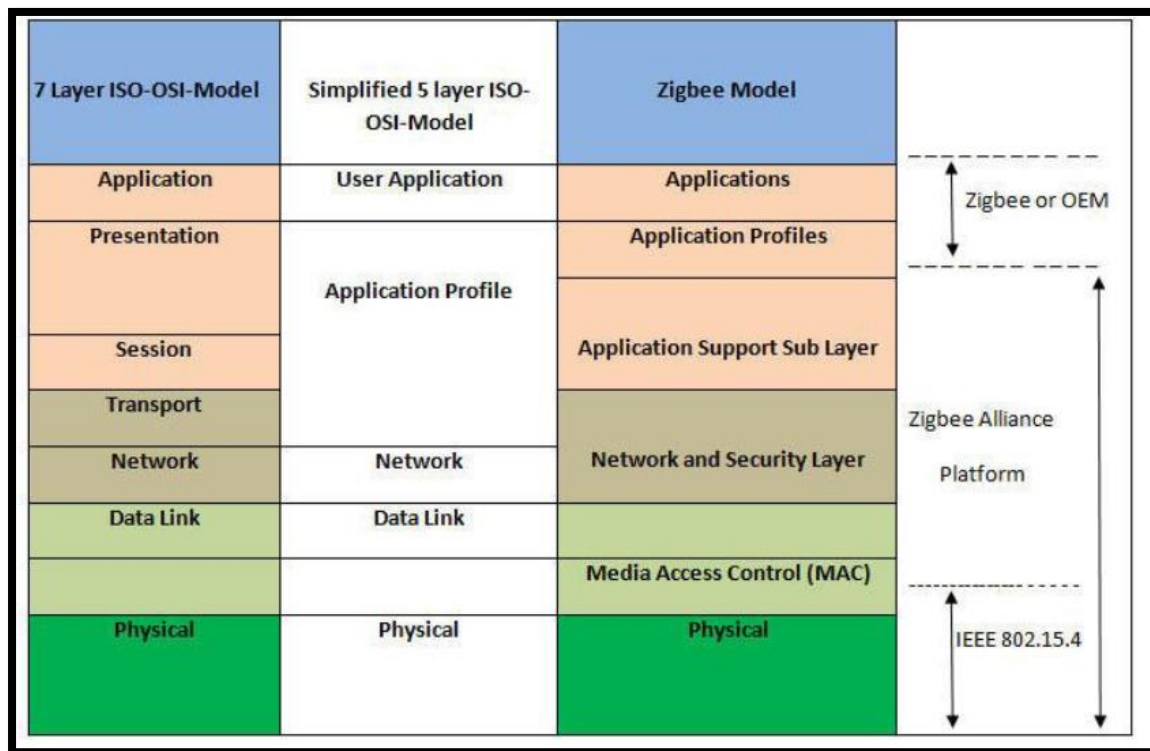


Figura 9. Pila de protocolos Zigbee

Tomado de: Andrade, 2014

- **Capa Física:** En esta parte, se definen las funciones con la capa de enlace de datos, los niveles de potencia del transmisor y la sensibilidad del receptor, asignándose por medio de un entero de 8 bits.
- **Capa de enlace de datos:** Está encargada de integrar la interfaz entre la capa física y la capa de red. Maneja los servicios y los datos. Forma la trama, muestra tipos de nodos como el expuesto y oculto.

- Capa de red Zigbee: Asigna las características para registrar el manejo de las redes creadas y asimila la creación de una interfaz que facilite la operación de los usuarios. Una característica que maneja es la seguridad y el enrutamiento.
- Capa de aplicación: Constituye el nivel más alto de la aplicación. Es la interfaz efectiva entre el nodo y el usuario. La empresa Zigbee Alliance define varios identificadores de perfil, un número de 16 bits de la capa de aplicación que define el perfil. (Erazo y Hervás, 2014)

1.9.2 Módulos Zigbee de Digi

Dentro de los tipos de módulos Zigbee, se presentan los módulos Zigbee Serie2 y Zigbee Serie1. La principal diferencia radica en la integración de redes tipo mesh en los de Serie2. Dentro de esta categoría, podemos citar los Zigbee Pro, que permiten realizar aplicaciones con mayor alcance y potencia de señal. Se eligen por las características de diseño, funcionamiento y adaptabilidad al medio de acuerdo a la aplicación de incendios forestales a los módulos Zigbee PRO S2 para la implementación del prototipo. (González y Fernández 2014)

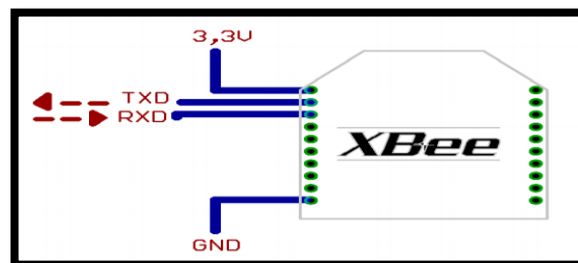


Figura 10. Conexiones mínimas requeridas para el Zigbee.

Tomado de: (Alliance, 2014)

2. CAPÍTULO II. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA

Para el siguiente capítulo se describe el diseño y la implementación del prototipo en modo API para la detección de incendios forestales.

2.1 Diseño de Prototipo de red

El sistema inicia con el diagrama de flujo correspondiente a la estructura de las partes que están constituyendo el proyecto y las fases de implementación del mismo.

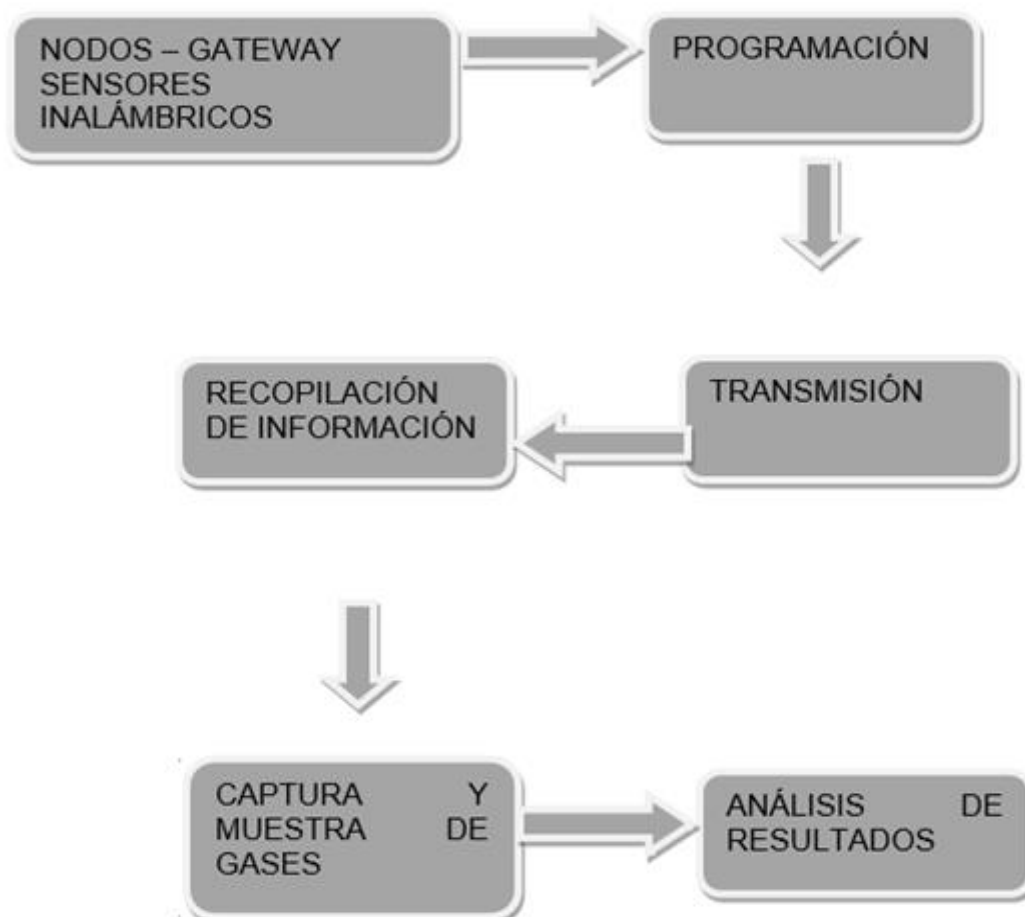


Figura.11 Módulo del sistema

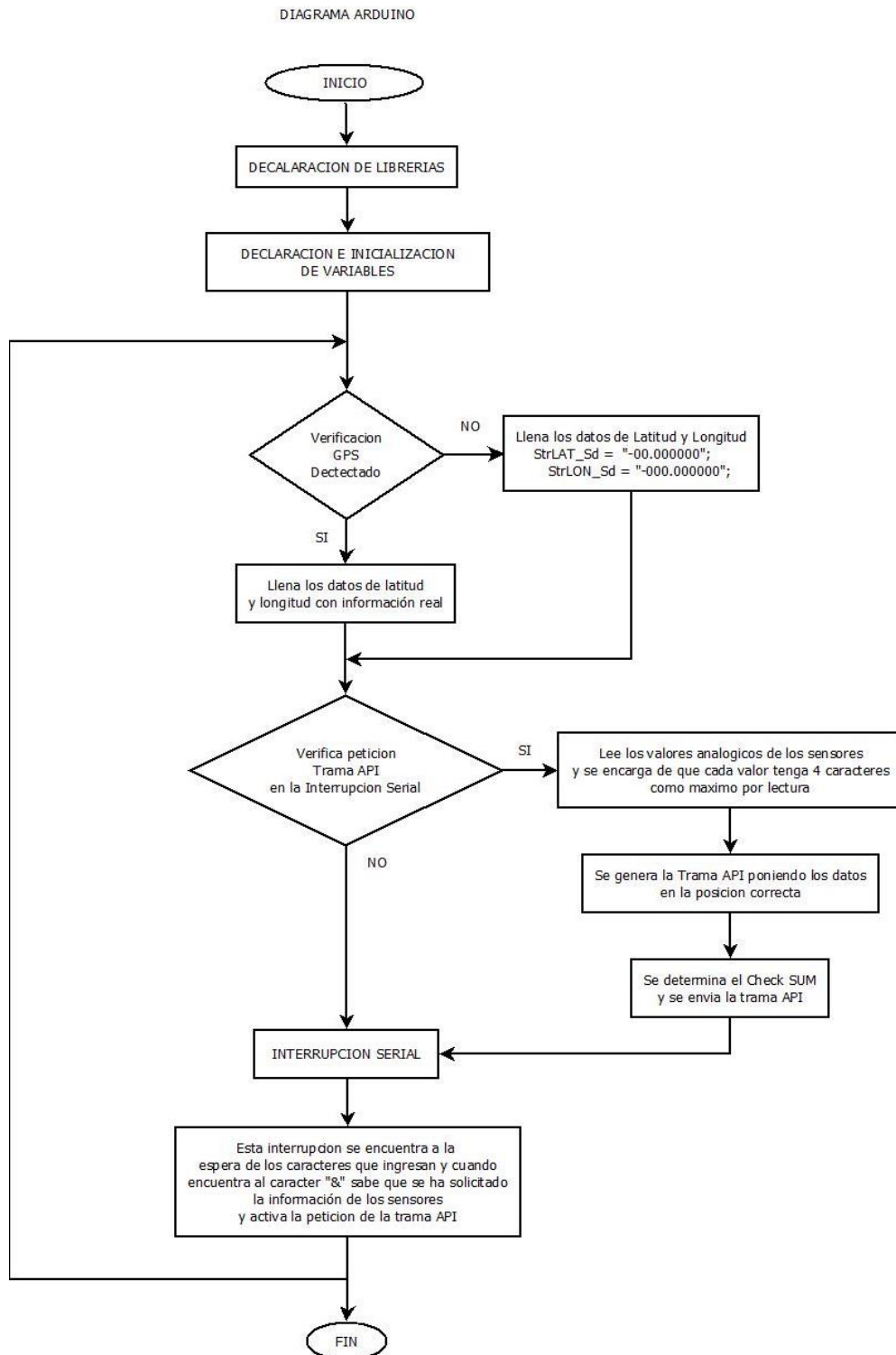


Figura 12. Diagrama de Flujo programa Arduino

Estructura física de los Nodos y sus componentes principales

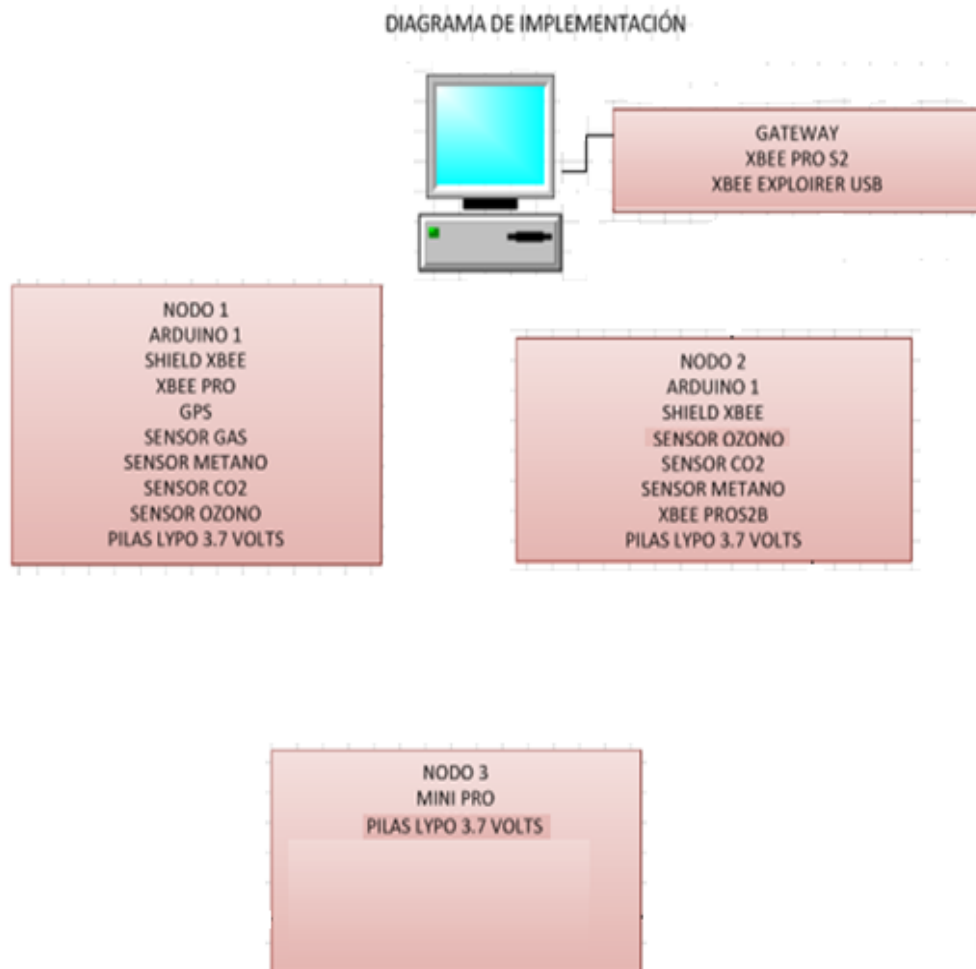


Figura 14. Diagrama de Implementación

El proyecto denominado “Implementación del modo Api en una red de sensores WSN para la detección de incendios forestales” se encuentra compuesto de un nodo coordinador, un nodo principal y dos nodos secundarios como se muestra en la figura 18, en topología malla para el desarrollo del modo API dentro de la red. El sistema está compuesto de dos partes: una de hardware y otra de software.

2.1.1 Diseño de Hardware

2.1.1.1 Nodo Principal

- Mini Pro

- Sensor de Gas Metano
- Sensor de CO2
- Pilas Lypo de 3.7 volts.
- XBEE Pro
- Xbee Explorer

2.1.1.2 Nodo Secundario

- Arduino 1
- Shield Zigbee
- XBEE Pro
- Gps
- Sensor de Gas Metano
- Sensor CO2
- Pilas Lypo 3.7 volts.
- Sensor de Ozono

2.1.1.3 Nodo Secundario

- Arduino 1
- Shield Zigbee
- Pilas Lypo 3.7 volts.

2.1.1.4 Nodo Coordinador

- XBEE Explorer
- XBEE Pro S2

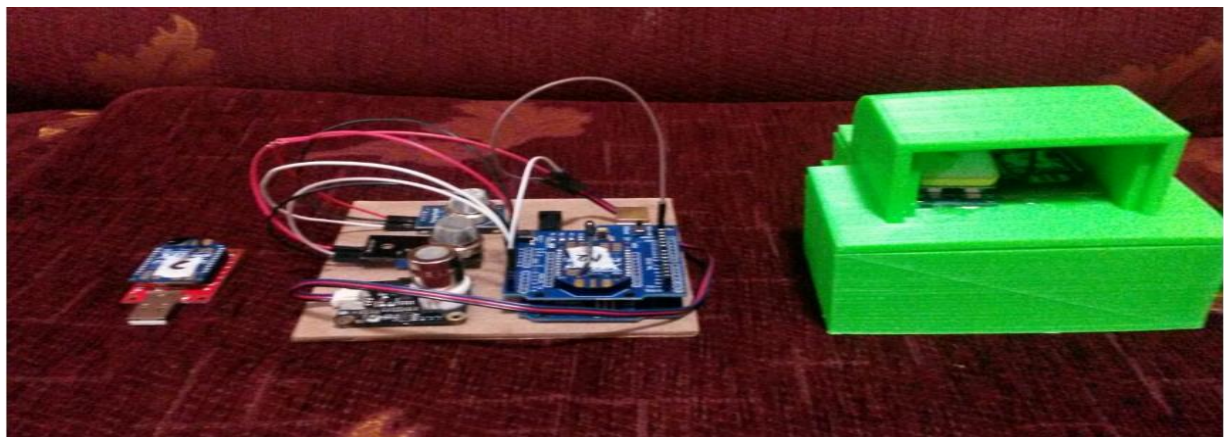


Figura 15. Gateway, Nodo Principal, Nodo Secundario

2.1.1.5 Sensor MG-811 (CO₂):

El sensor de monóxido de carbono, CO₂ por sus siglas en inglés, nos permite alcanzar la medición del gas desde 350 a 10000 ppm (partículas por millón). Se utiliza la entrada análoga para su configuración. La característica principal del elemento es que tiene en su estructura un módulo denominado MG-811 que se caracteriza por su sensibilidad. Su voltaje de operación es de 5V, la temperatura de operación -20°C +50°C y la corriente de operación 200 mA.



Figura 16. Sensor de CO₂ MG-811

Tomado de: (Amazon,2017)

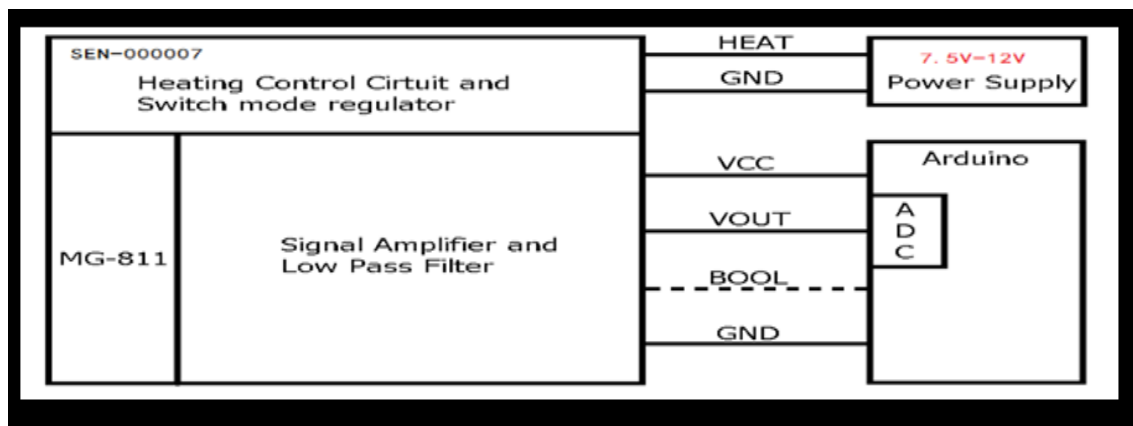


Figura 17. Modelo de conexión sensor MG811

Tomado de: (Datasheet CO₂, 2015)

2.1.1.6 Sensor MQ7 (CO):

El sensor MQ7 realiza las mediciones del monóxido de carbono que existe en el medio ambiente, cuyo rango de detección es de 20 a 2000 ppm (partículas por millón). Se utiliza el pin analógico para su configuración.



Figura 18. sensor de CO MQ7
Tomado de: (Amazon, 2017)

Tabla 4.

Características técnicas del sensor MQ7

SÍMBOLO	NOMBRE DEL PARÁMETRO	CONDICIÓN TÉCNICA	OBSERVACIÓN
Vc	Voltaje del circuito	5V \pm 0.1	AC o DC
VH(H)	Voltaje de calentamiento (alto)	5V \pm 0.1	AC o DC
VH(L)	Voltaje de calentamiento (bajo)	1.4V \pm 0.1	AC o DC
RL	Resistencia de carga	Se puede ajustar	
TH(H)	Tiempo de calentamiento (alto)	60 \pm 1 segundos	
TH(L)	Tiempo de calentamiento (bajo)	90 \pm 1 segundos	
Tao	Temperatura de uso	-20°C -50°C	
RH	Humedad relativa	Menor a 95%RH	

Rs	Resistencia de la superficie sensible	2 – 20K	En 100ppm de monóxido de carbono
	Rango de detección		20ppm-2000ppm de monóxido de carbono

Tomado de: (Futerlec, 2014.)

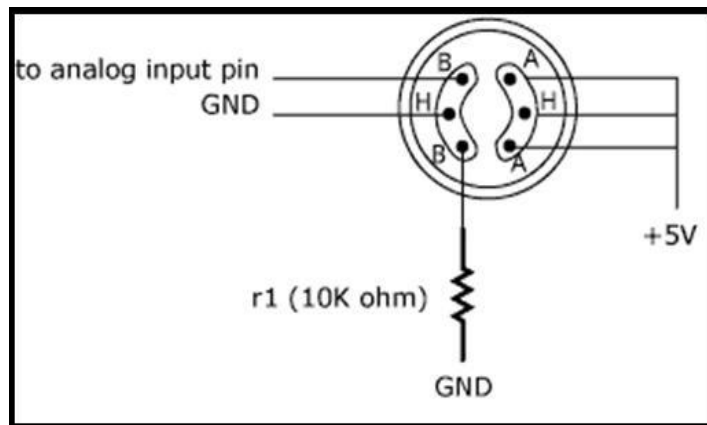


Figura 19. Modelo de conexión Sensor MQ7
Tomado de: (Datasheet CO, 2015)

2.1.1.7 Sensor MQ4 (CH4):

El sensor MQ4 de metano utiliza en la conexión el pin analógico. El rango de medición es de 300 ppm a 10000 ppm, es altamente sensible y su respuesta es rápida.



Figura 20. Sensor MQ4 (CH4)

Tomado de: (Amazon, 2017)

Tabla 5.
Características técnicas de sensor MQ4

Modelo del sensor MQ-4			
Tipo de sensor		Semiconductor	
Tipo de encapsulado		Baquelita negra	
Tipo de gas		Metano	
Concentración de la medición		10000ppm (Gas Natural/Metano)	
Operación Circuito	Tensión	VC	$\leq 24V$ DC
	Tensión temperatura	VH	$5.0V \pm 0.2V$ AC o DC
	Resistencia de carga	RL	Ajustable
	Resistencia del calentador	RH	$31\Omega \pm 3\Omega$
	Consumo	PH	$\leq 900mW$
Carácter	Resistencia de detección	RS	$2K\Omega - 20K\Omega$ (5000ppm CH ₄)
	Sensibilidad	S	R_s (in air) / R_s (5000ppmCH ₄) isobutano ≥ 5
	Pendiente	α	$\leq 0.6(R_{5000ppm} / R_{3000ppm} CH_4)$
Condiciones de operación	Temperatura Humedad	$20^\circ C \pm 2^\circ C$; $65\% \pm 5\%$ RH	
	Circuito de prueba estándar	Vc: $5.0V \pm 0.1V$; VH: $5.0V \pm 0.1V$	
	Tiempo de precalentamiento	Más de 48 horas	

Tomado de: (Datasheet MH4, 2015)

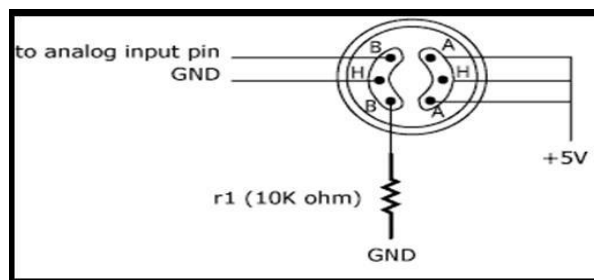


Figura 21. Modelo de conexión MQ4

Tomado de: (Datasheet MH, 2015)

2.1.1.8 Sensor Semiconductor MQ131 para Ozono

Está constituido por SnO₂, el cual permite mantener con menor conductividad en aire limpio. Cuando existe gas de ozono la conductividad del sensor es más alta junto con el aumento de la concentración de gas. El sensor de gas MQ131 tiene alta sensibilidad al ozono, también sensible a CL₂, NO₂, y otros gases.

Tabla 6.

Características técnicas de funcionamiento Sensor Ozono

Tipo de sensor	Semiconductor
Bakelita de Encapsulación Estándar (Bakelita Negra)	
Concentración:	10-1000ppm de ozono
Voltaje del bucle: $V_c \leq 24V$ DC	$V_c \leq 24V$ DC
Voltaje del calentador VH $5.0V \pm 0.2V$ AC o DC	VH $5.0V \pm 0.2V$ AC o DC
Circuito	Carga
Resistencia	RL ajustable
Calentador Resistencia (Temperatura ambiente)	RH $31\Omega \pm 3\Omega$
Calentador consumo	PH $\leq 900mW$
Detección Resistencia	Rs $50K\Omega$ - $500K\Omega$ (en 50ppm O ₃)
Sensibilidad S Rs (en aire) / Rs	(en 50ppm O ₃) ≥ 3

Pendiente α	(R50ppm / R10ppm O ₃)
Temperatura Humedad	20 °C \pm 2 °C, 65% \pm 5% RH
Circuito de prueba estándar	Vc: 5,0 V \pm 0,1 V;
	VH: 5.0V \pm 0.1V

Tomado de: (Datasheet ozono, 2015)

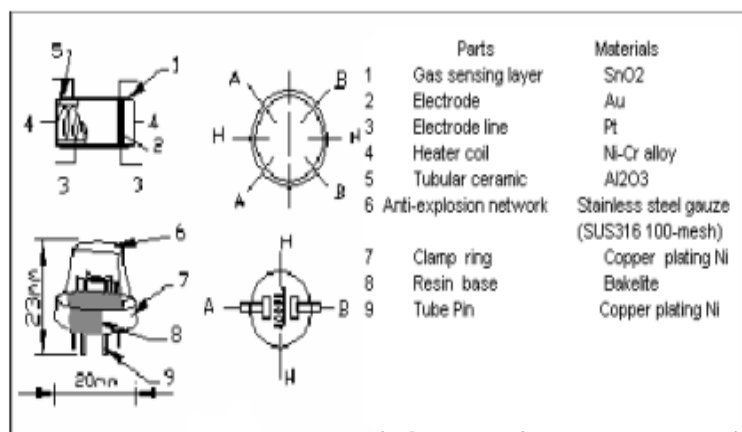


Figura 21. Estructura y configuración del sensor O₃

Tomado de: (Datasheet ozono, 2015)



Figura 22. Sensor físico de Ozono

Tomado de: (Amazon, 2017)

Cabe destacar que al revisar los datasheet de cada sensor, hay cierta variación en la configuración y ya vienen calibrados de fábrica por el proveedor.

2.1.1.9 GPS Neo-6M:

La ubicación de nuestro prototipo está controlada mediante el módulo GPS de marca Ublox Neo-6M. Se encuentra implementado en el nodo principal del prototipo.



Figura 23. GPS Neo-6M.
Tomado de: (Amazon, 2017)

Tabla 7.

Especificaciones técnicas GPS neo-6m

Tipo de receptor	L1 frequency band, C/A code 22 Tracking / 66 Canales de lectura	
Sensibilidad	Tracking Acquisition	-165dBm -148dBm
Precisión	Posición Velocidad Timing (PPS)	3mts. 3D RMS sin SA 0.1m/s sin SA 60ns RMS
Tiempo de lectura	Cold Start Warm Start Hot Start Re-Acquisition	36s 33s 1s <1s
Consumo de energía	Tracking Acquisition Sleep/Standby	<30mA @ 3V Vcc 40mA TBD
Frecuencia de actualización de datos de navegación	1Hz	
Límites de operación	Altitude Velocity Aceleración	Max 18,000m Max 515m/s Menor a 4g
Antenna Specifications	Outline Dimension Center Frequency Bandwidth Impedance Axial Ratio Polarization	18.2 x 18.2 x 4.0 mm 1575 ± 3 MHz 10 MHz min 50 Ω 3 dB max RHCP
Dimensiones y peso	Dimensiones Peso	30mm x20mm x 11.4mm 9g

Fuente de poder	VCC Corriente	5V \pm 5% 55mA(typical)
Entorno	Temperatura de operación Temperatura de almacenamiento Humedad	40 ~ +85 (sin batería de respaldo) 0 ~ +125

Tomado de: (Ublox, 2015)

2.1.1.10 Arduino Mini Pro ATmega328:

Constituido como una placa electrónica basada en el ATmega328, se instala en el nodo principal. Para programar el microcontrolador se utiliza el software de Arduino.

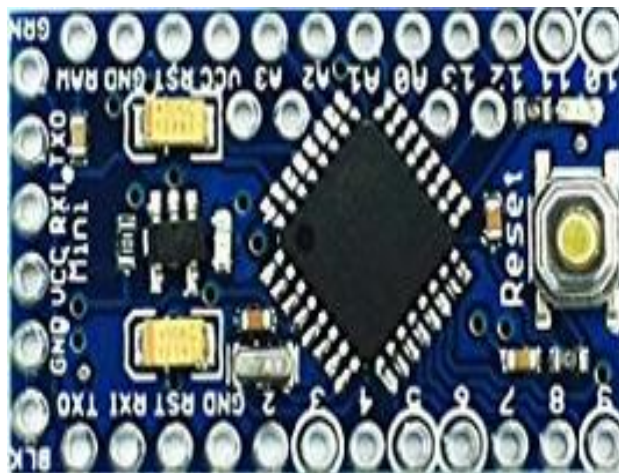


Figura 24. Arduino Mini Pro ATmega328.

Tomado de: Explorer, 2016

Tabla 8

Características del Arduino Mini Pro ATmega328

Microcontrolador	ATmega328
Made	Sparkfun Electronics.
Operating Voltage	3.3V or 5V (depending on model).
Input Voltage	3.35 -12 V (3.3V model) or 5 – 12 V (5V model).
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output).
Analog Input Pins	8.
DC Current per I/O Pin	40 mA.

Flash Memory	32 KB (of which 2 KB used by bootloader).
SRAM	2 KB.
EEPROM	1 KB.
Clock Speed	8 MHz (3.3V model) or 16 MHz (5V model).

Adaptado de: (Explorer, 2017)

2.1.1.11 ZIGBEE S2B PRO

Los módulos Zigbee S2B Pro son elementos que nos permiten la comunicación inalámbrica entre dispositivos, están basados en el protocolo 802.15.2 y enlazan lógicamente los nodos.



Figura 25. Xbee S2B PRO

Tomado de: (Digi, 2016)

2.1.1.12 Pilas Lypo 3.7 VDC.



Figura 26. Pilas Lypo Li-ion Rechargeable Efficient Battery Blue

Tomado de: (Amazon, 2016)

Las pilas seleccionadas están provistas de 3.7V-4.2V y la corriente de 5000 MA. ya que nos proveen de energía suficiente durante tiempos prolongados de uso. Se seleccionan estas baterías en función a la corriente total del circuito que se va a implementar en el sistema.

2.2 Diseño de Software

2.2.1 Análisis del lenguaje de programación a usarse.

2.2.1.1 Lenguaje de Programación C Sharp

El lenguaje de programación C# o C Sharp es un programa de desarrollo de programación diseñado por Microsoft para su plataforma .NET, siendo específicamente para aplicaciones de este tipo. La característica más destacada es su diseño sencillo a la hora de realizar cualquier sistema. La compatibilidad entre los lenguajes C++ y C# al ejecutar los programas hacen una notable ventaja a la hora de elegir las herramientas para la aplicación deseada.

Características de C#

Sencillez: El programa C# en su interfaz elimina algunos componentes que no se usan en la estructura .NET.

Modernidad: El programa C# ha ido innovando en cada aplicación, y mejorando tanto en variables como en las librerías que se usa.

Orientación a objetos: El programa C# está sistemáticamente organizado para que al ingresar el código lea toda la estructura y no se filtren problemas de variables en el mismo.

Orientación a componentes: El programa C# permite acoplar cierto tipo de propiedades y relacionarlas con eventos, entidades y atributos de cada elemento que se programa.

Gestión automática de memoria: El programa C# permite eliminar automáticamente cualquier variable o línea de código gracias a su corrector de errores proporcionada por .NET.

Seguridad de tipos: El programa C# proporciona automáticamente la detección de errores de datos en el programa a compilar y no mezcla variables entre ellas.

Instrucciones seguras: El programa C# permite que las sentencias sean visualizadas si se produce algún error y modificarlas automáticamente, sin repetirse.

Sistema de tipos unificado: El programa C# relaciona los objetos System.Object, para que se pueda ejecutar el código basado en los objetos creados.

Extensibilidad de tipos básicos: El programa C# permite manipular métodos en el código y almacenarlos en pila de elementos para evitar errores en el sistema.

Extensibilidad de operadores: El programa facilita el significado de la mayoría de los operadores -incluidos los de conversión, al aplicarse en diferentes objetos.

Versión: El programa C# permite que en las versiones anteriores se actualice sin necesidad de licencias y evitar que la compilación falle.

Eficiente: El programa C# mantiene cierto nivel de restricciones para que la ejecución sea estable y no tenga pérdida de datos inesperados.

Compatible: El programa C# permite que el lenguaje de programación sea fácil de entender y adaptar, al ejecutar o compilar entre programas de desarrollo debido a sus estructuras (Gonzales, 2007)

2.2.1.2 Arduino

El programa Arduino es un microcontrolador que permite la realización de proyectos de código abierto, enfocada al hardware y software proporcionando facilidad al usuario. Este lenguaje programado se modifica, configura y carga en las placas de la que están constituidas. El funcionamiento de la placa de Arduino permite leer las entradas generadas de elementos como luz, temperatura, humedad, gases del ambiente como en el prototipo que se va a realizar, y convertirlo en una salida.

Características

Programación: Los sistemas que soporta Arduino pueden ser: Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux, una de las ventajas de esta herramienta.

Código abierto y software extensible: El software Arduino está publicado como herramientas de código abierto, disponible para extensión por programadores experimentados.

Código abierto y hardware extensible: El Arduino está basado en microcontroladores ATMEGA8 y ATMEGA168 de Atmel. (García, 2015)

2.2.1.3 XCTU

XCTU es una plataforma de configuración de próxima generación para soluciones Zigbee / RF.

Es una aplicación gratuita multiplataforma compatible con Windows, MacOS y Linux, diseñada para que se pueda ejecutar aplicaciones con los módulos RF de Digi mediante una interfaz gráfica.

Permite la visualización gráfica de red para configuración y arquitectura sencillas de redes inalámbricas. (Anónimo, 2009)

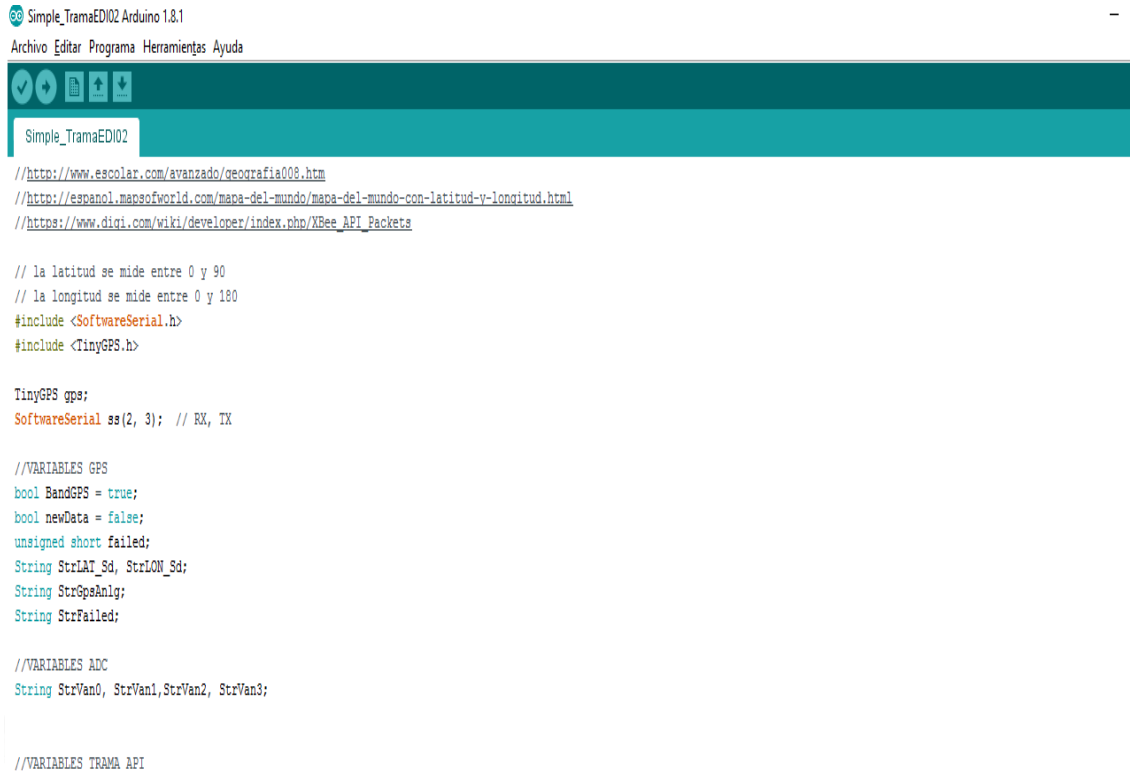
Características

La configuración está establecida para diversos dispositivos en diferentes condiciones como conexiones remotas.

- La actualización es automática en el sistema.
- Mantiene dos consolas API y AT específicas, para facilitar el diseño de cualquier proyecto.

2.3 Configuración y Ejecución de los Programas

2.3.1 Programación en Arduino para formar la Trama API



```

Simple_TramaEDI02 Arduino 1.8.1
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Simple_TramaEDI02

//http://www.escolar.com/avanzado/geografia006.htm
//http://espanol.mapsofworld.com/mapa-del-mundo/mapa-del-mundo-con-latitud-y-longitud.html
//https://www.digi.com/wiki/developer/index.php/YBee_API_Packets

// la latitud se mide entre 0 y 90
// la longitud se mide entre 0 y 180
#include <SoftwareSerial.h>
#include <TinyGPS.h>

TinyGPS gps;
SoftwareSerial ss(2, 3); // RX, TX

//VARIABLES GPS
bool BandGPS = true;
bool newData = false;
unsigned short failed;
String StrLAT_Sd, StrLON_Sd;
String StrGpsAnlg;
String StrFailed;

//VARIABLES ADC
String StrVan0, StrVan1, StrVan2, StrVan3;

//VARIABLES TRAMA API

```

Figura 27. Programación de la Trama API

Dentro del programa, la configuración inicial la realizamos con la programación del GPS, la latitud se mide en 0 y 90 grados y la longitud entre 0 y 180 grados. Las variables que se usan son de tipo bool, y para establecer las medidas se usarán strings. El mismo tipo de variables se usan en la configuración de los cuatro sensores que se implementan.

La generación de la trama va estar delimitada por dos partes definidas en el inicio y el final. El tamaño y la longitud de la trama van a estar conformados por la información GPS y los valores análogos.

La variable que nos permite guardar los valores de latitud y longitud como una cadena string es StrLat y StrLon respectivamente.

La comunicación serial es dividida en dos Lecturas; la de GPS y la de los sensores, que se van asociando y llenando de valores ceros si no están conectados.

Hay que tomar en cuenta que se debe realizar una verificación de prueba para determinar si existen datos a ser integrados, ya que cuando se está iniciando o no existe la línea de vista esperada la información es nula, y en el programa se llenará de ceros como valores lógicos bajos, ya que no se transmite nada.

Dentro de la programación hay una línea de código que está definida por la conversión "StrGpsAnlg" a un Array para que se pueda ejecutar con el mismo proceso y determinar el Check SUM, al igual que ocurre en la configuración de los módulos Zigbee, las cuales interpretan la información enviada.

Sentencia StrGpsAnlg.toCharArray (Array_Trm_dat, Trm_dat+1)

Al inicializar el programa, empieza por un byte de inicio, la estructura formada muestra el largo de la trama que será de 0 al ejecutarse, creándose la Frame Ty que es el tipo de mensaje para enviar los comandos AT, el Frame ID notificará si no se solicita respuesta y se enviará los 64 bits de la dirección del destino.

Dentro de la medición de los sensores se deben utilizar los pines analógicos ya que nos permiten utilizar para medición de gases, y los pines digitales se usan comúnmente para generar pulsos.

Los valores correspondientes en los sensores se leerán analógicamente, en este proceso se usará la sentencia `StrVan0 = String(dato_Analogo0)` para transformar a cada uno de los sensores en valores de una cadena de caracteres, cuya longitud está formada por `LongVarA0 = StrVan0.length();`

Estos valores van dependiendo de la longitud de cada cadena que se va formando, los ceros que se van agregando es de acuerdo al establecimiento de la posición específica dentro de la trama API.

2.3.2 Programación en XCTU para formar la Trama API

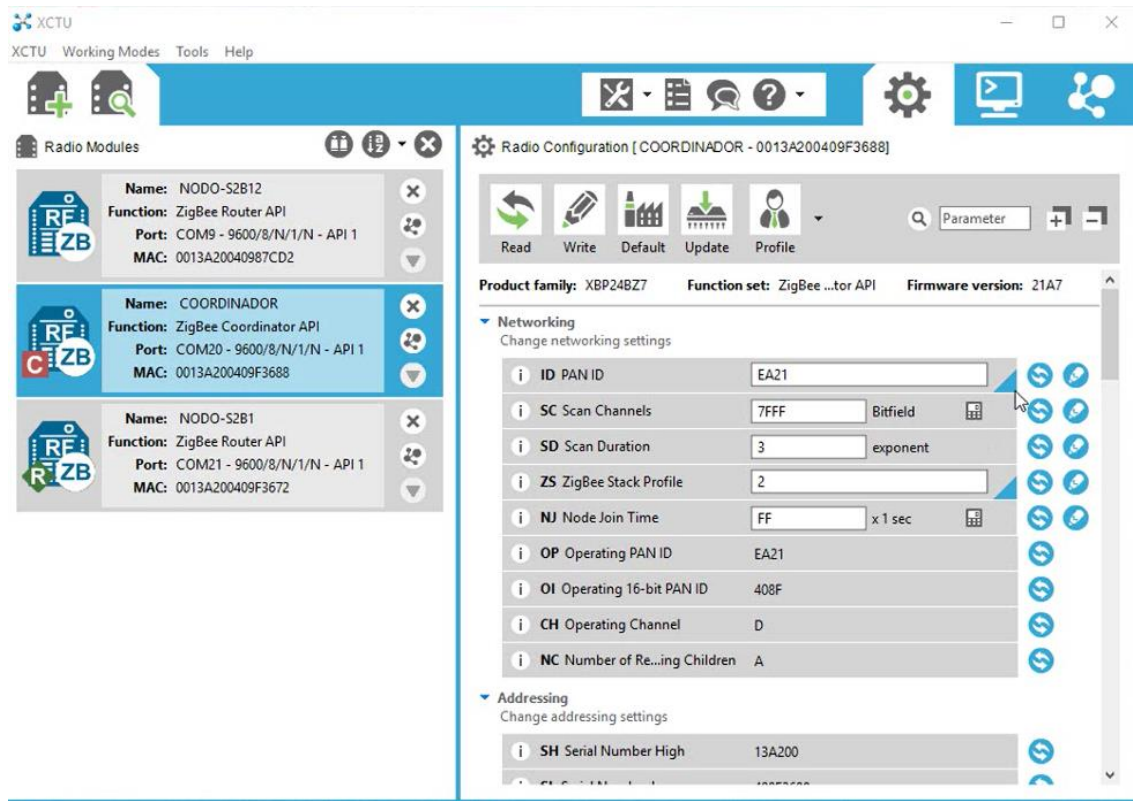


Figura 28. Configuración Inicial en Software XCTU

Podemos definir que para el proyecto de la implementación en modo API se requiere de tres elementos Zigbee, un coordinador el cual está formado por el Zigbee Explorer USB y de dos nodos los cuales los forman los Zigbee Pro s2B, elegidos por su característica de Alcance Indoor de 90 metros y línea de vista de hasta 3,2 kms.



Figura. 29. Búsqueda de Dispositivos

Lo primero que se realiza es escanear los dispositivos Zigbee para detectar cuales van a formar parte de la red a diseñar.

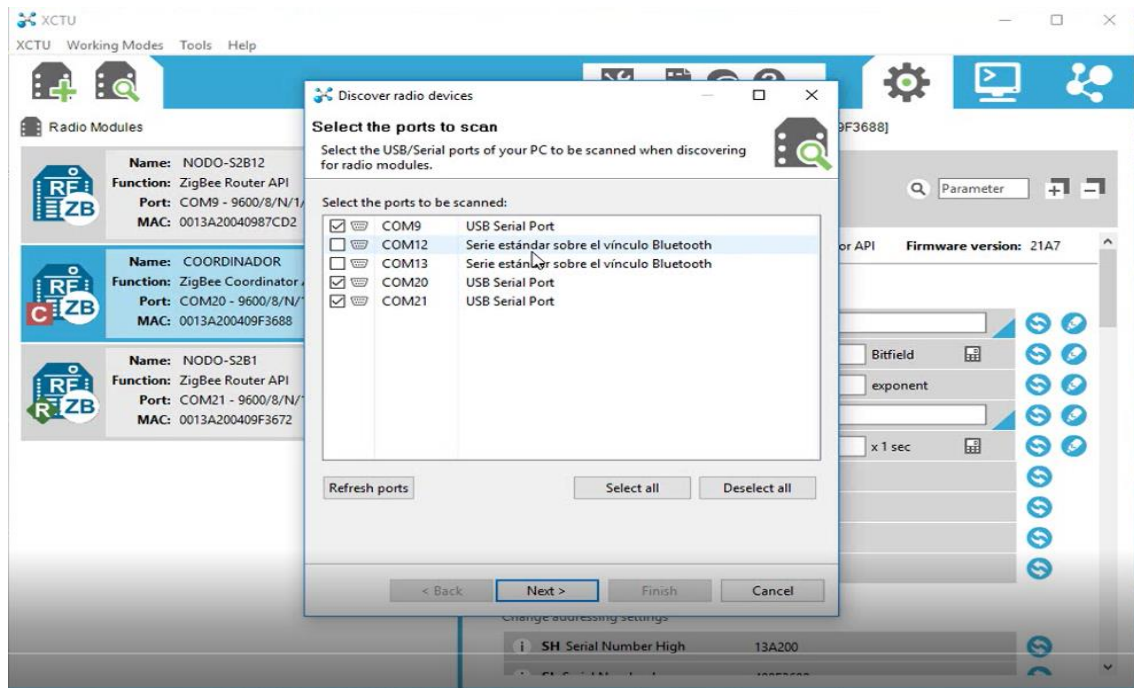


Figura 30. Configuración Inicial de Zigbee

El siguiente paso es determinar cuáles van a trabajar como Coordinador, Nodo o Dispositivo Final.

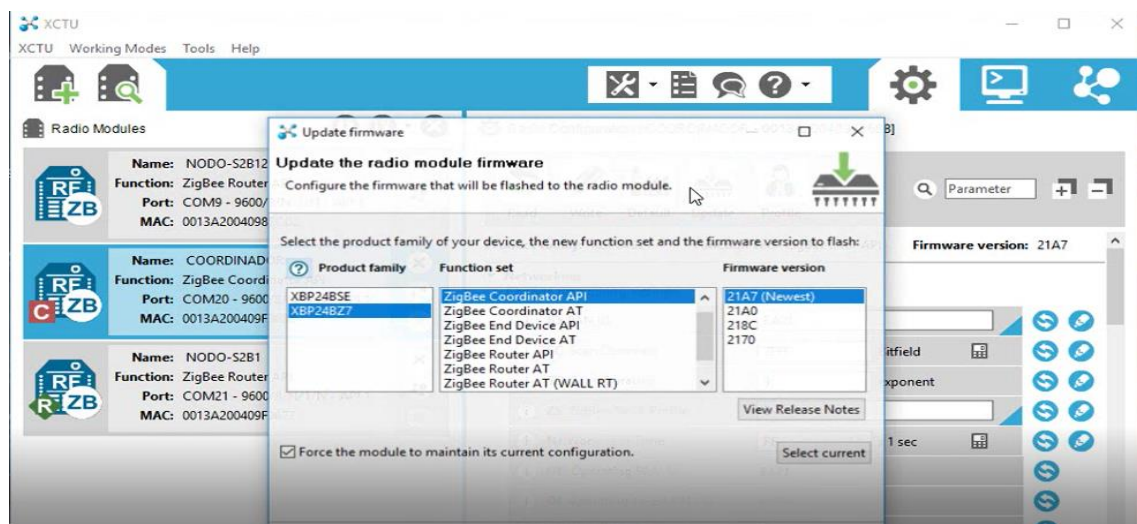


Figura 31. Configuración modo de Operación

Es necesario seleccionar el elemento a configurar, en el menú accedemos a Update, se elige la opción XBP24BZ7 que en la función determina que sea Zigbee Coordinador API.

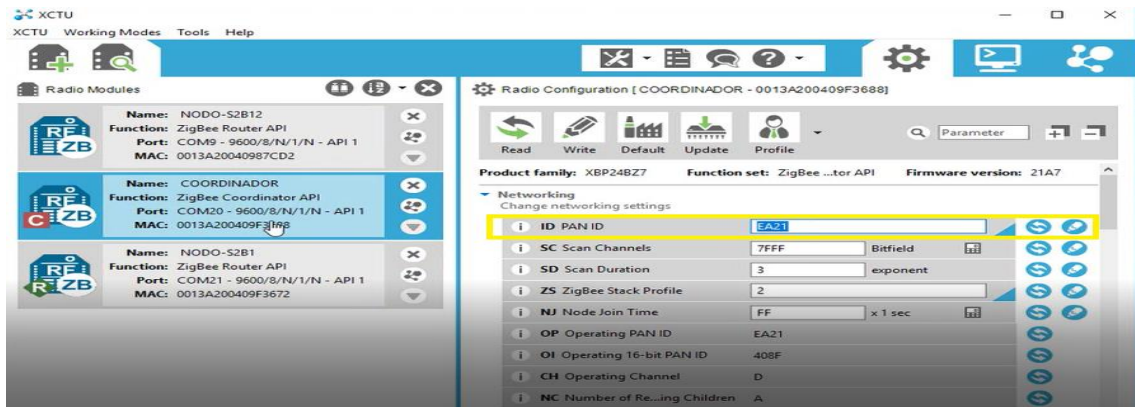


Figura 32. Configuración ID de Zigbee

En la parte de configuraciones, identificamos PAN ID, el cual debe ser configurado el mismo en todos los dispositivos, es una dirección a través de la cual van a enlazarse, formando una red PAN (Personal Area Network), en el SC Scan Channel el número por defecto que usaremos es 7FFF, en ZS Zigbee Stack Profile usaremos la opción 2 ya que nos corresponde al tipo de zigbee PRO usado, la siguiente configuración es el NI (Node Identifier), el cual lo denominaremos COORDINADOR y por pruebas se denominaran NODO – S2B1 y NODO – S2B12.

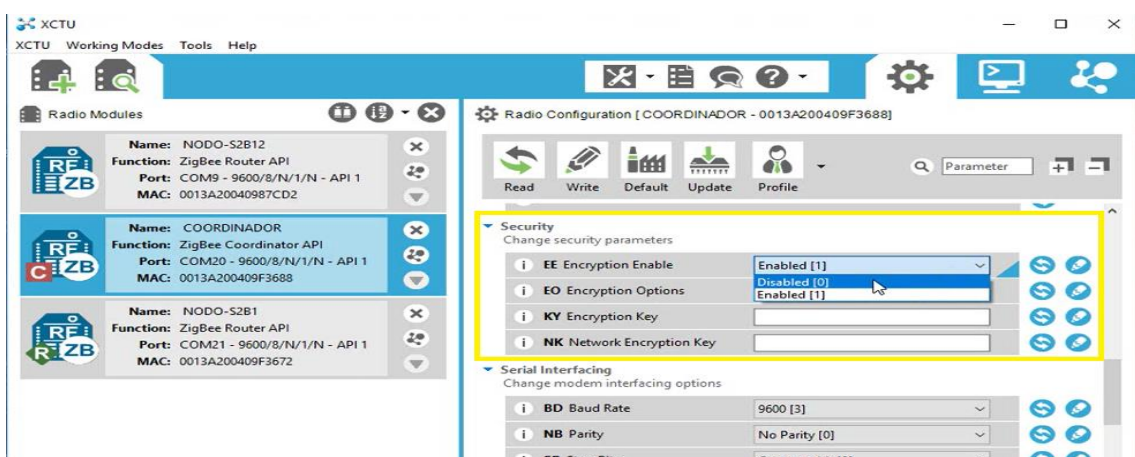


Figura. 33 Configuración Seguridad Zigbee

En la parte de encriptación utilizaremos 1 para activar la encriptación y de esta manera el COORDINADOR determine la clave de manera automática.

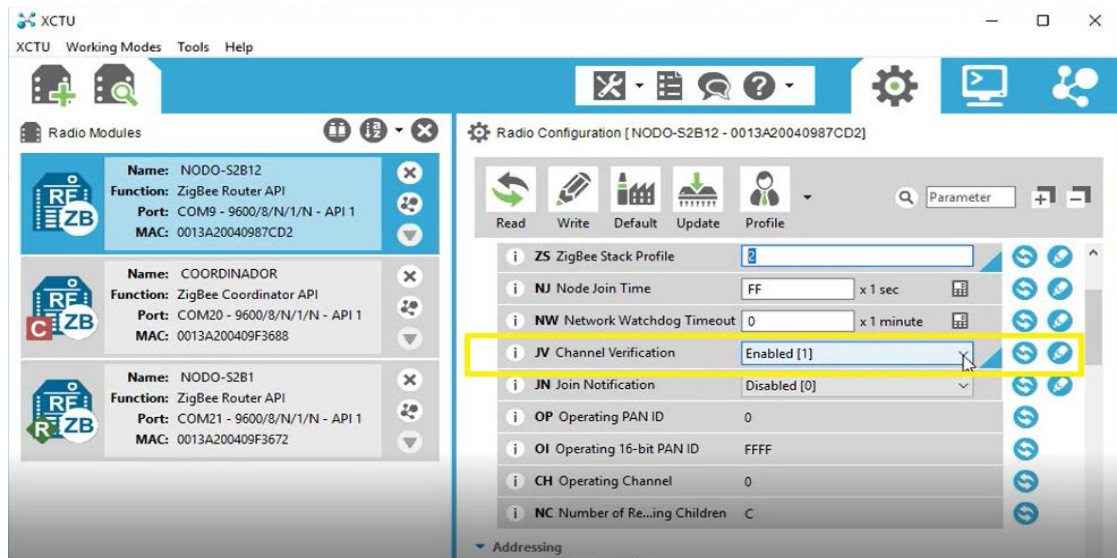


Figura 34. Configuraciones en Nodos

Dentro de las configuraciones, se mantienen las mismas, las diferencias se encuentran en JV Channel Verification, la cual cambia a 1, Destination Address High es igual a 0 para nodos y coordinador, Destination Address Low es igual a FFFF para nodos y coordinador.

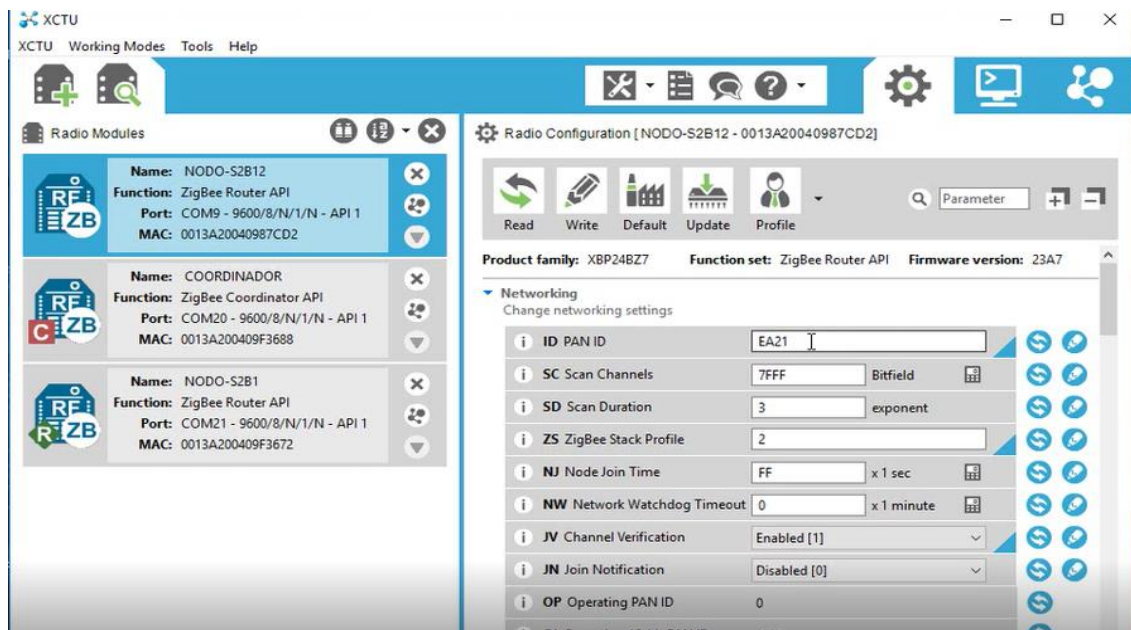


Figura 35. Configuración en dispositivos Finales

La configuración se mantiene como la que se realiza en los nodos.

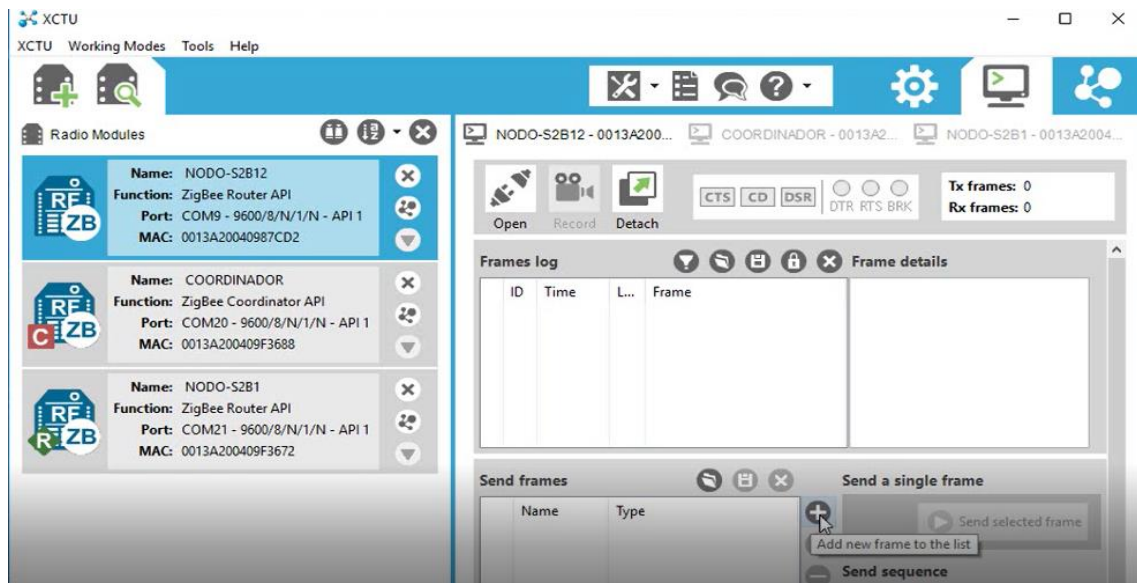


Figura 36. Verificación de Comunicación

Luego de configurado los nodos, routers y dispositivos finales, lo que se hace es verificar la configuración y la trama, enviando un dato desde el nodo al coordinador, mediante el ícono +.

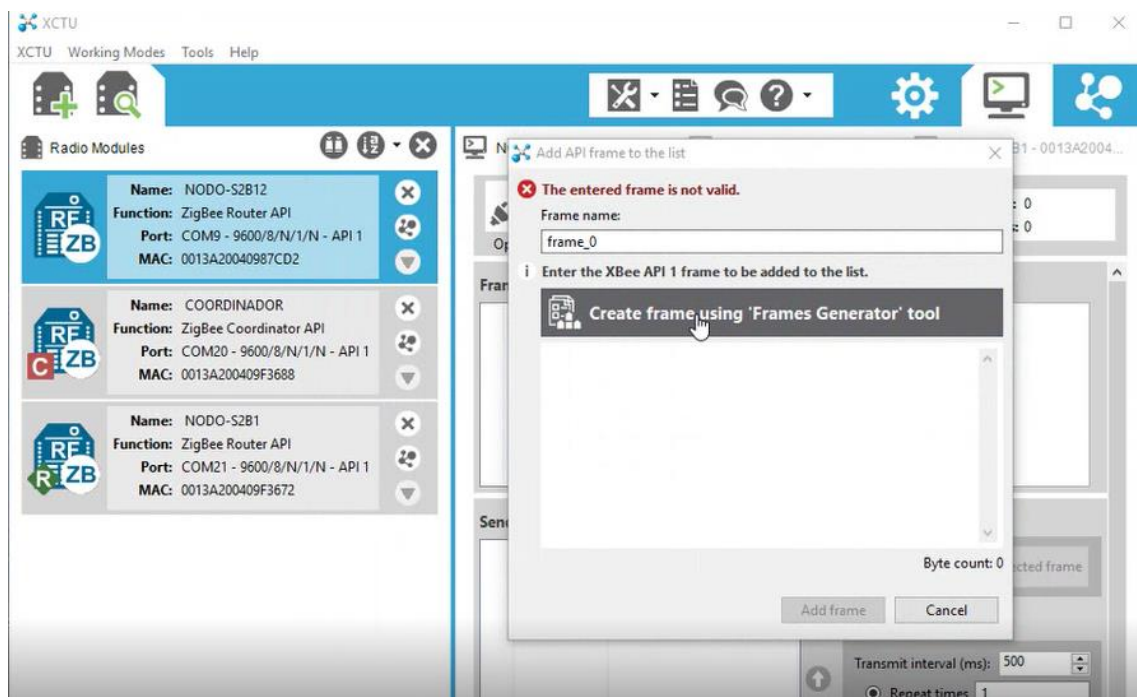


Figura 37. Verificación de Trama

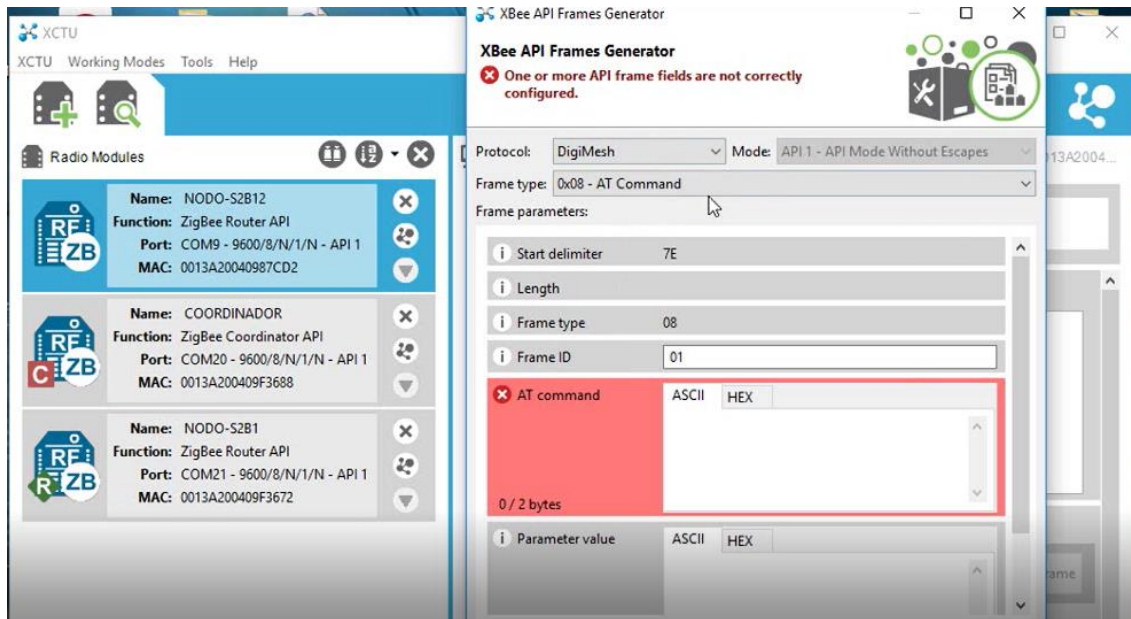


Figura. 38. Opciones de Configuración de Trama – Digimesh

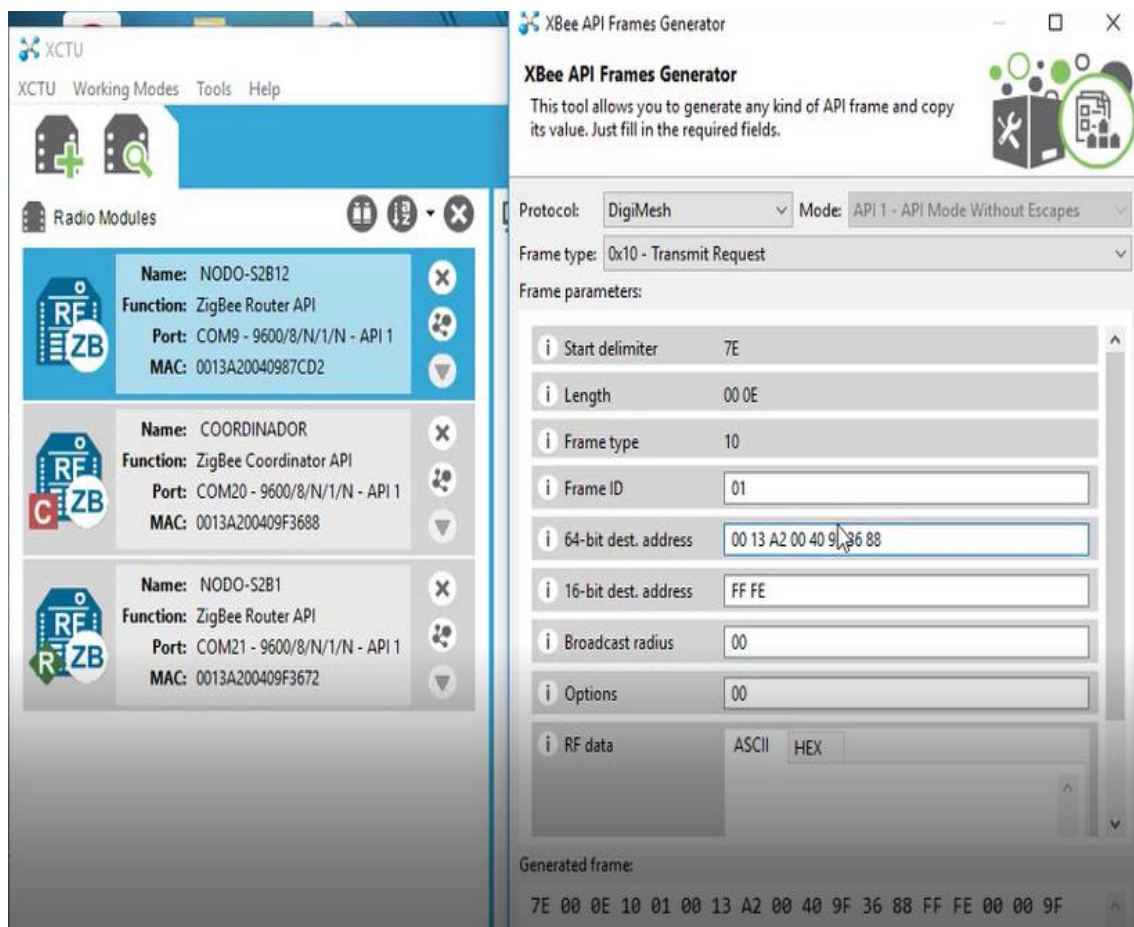


Figura 39. Selección de dispositivos para conexión de prueba

Para realizar las pruebas seleccionamos el protocolo Digimesh, la trama será del tipo 0 X10 – Transmit Request, se direcciona el identificador de la trama 01, para que se pueda asignar el destino configuramos la dirección del coordinador, tenemos la 0013A200409F3688, en los datos de la trama enviamos “Hola Coordinador”.

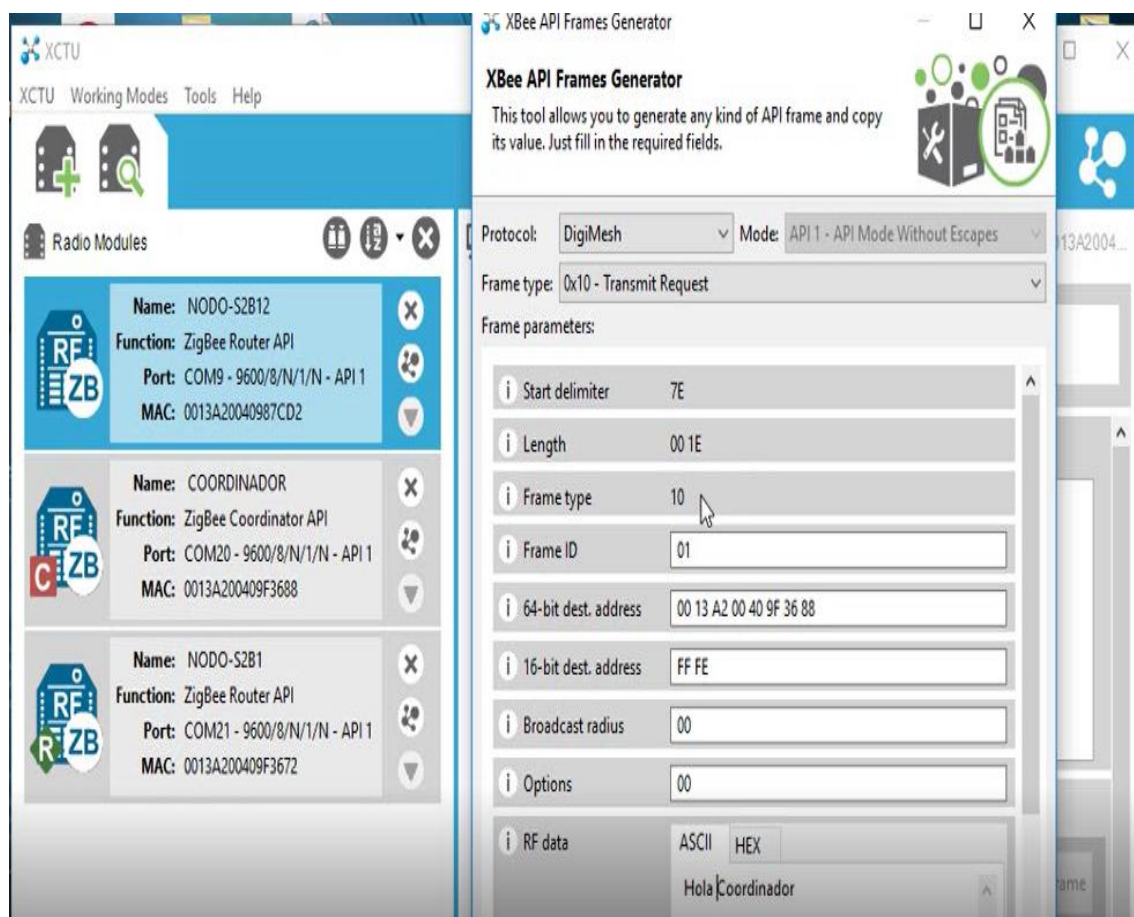


Figura 40. Estructura de la Trama

La estructura de la trama está formada por: el caracter de inicio, que se inicializa como 7E, la longitud de la trama 00 1E, el tipo de trama y la Identificación de la trama, la dirección de la trama a formarse, la dirección hexadecimal creada por defecto, otra parte importante es el Checksum donde se verifica los datos que se van a enviar.

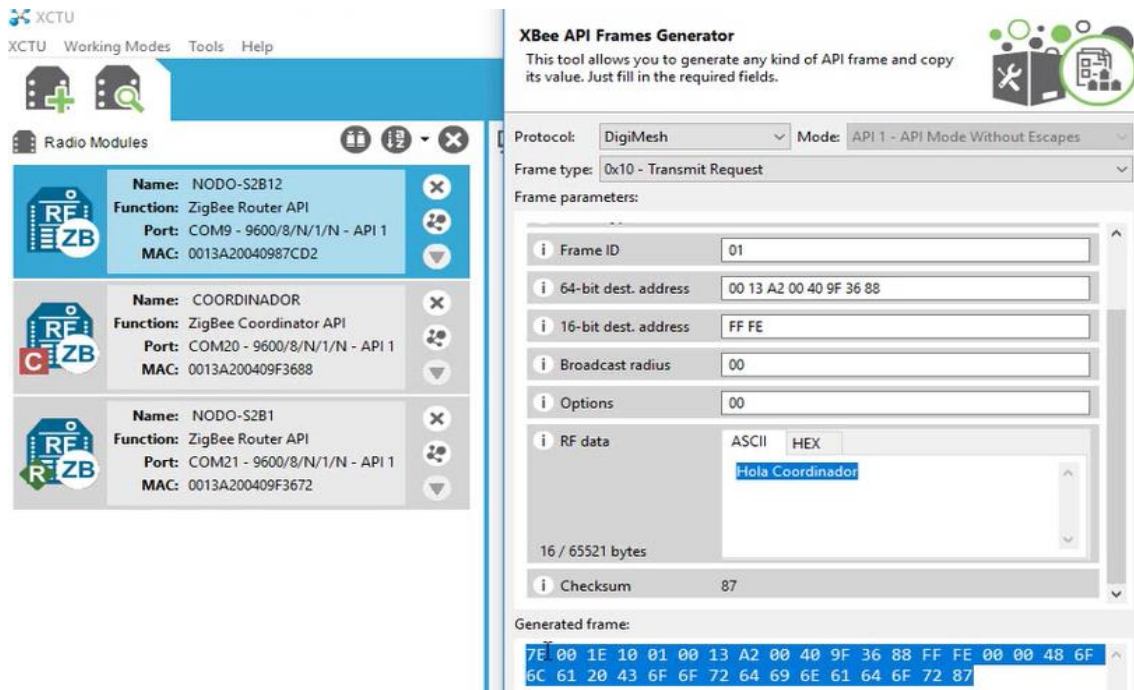


Figura. 41. Generación de Trama

El mensaje que se desea enviar se registra en RF Data en la parte de Checksum inicializa el número de bits, en Trama Generada se verifica lo ejecutado por Arduino con las características mostradas, se enviará a través del puerto serial.

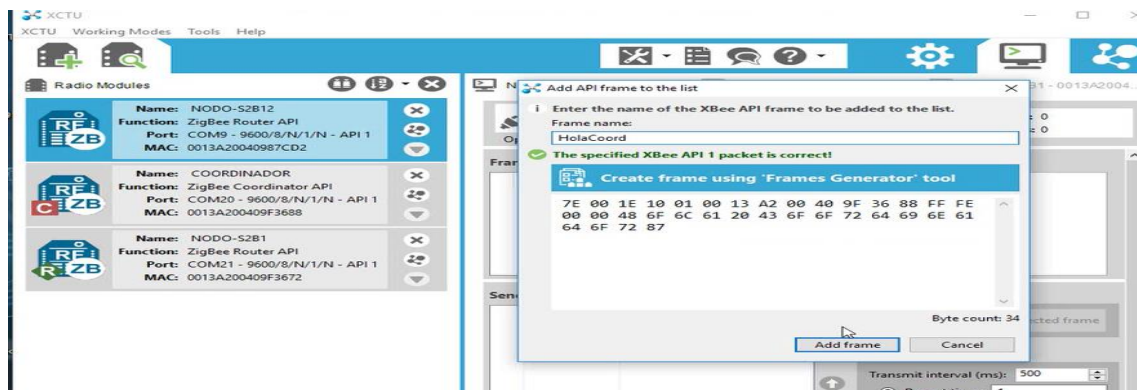


Figura. 42. Generación de Trama

Es necesario especificar el nombre de la trama como referencia, se añade la parte de la trama para su ejecución.

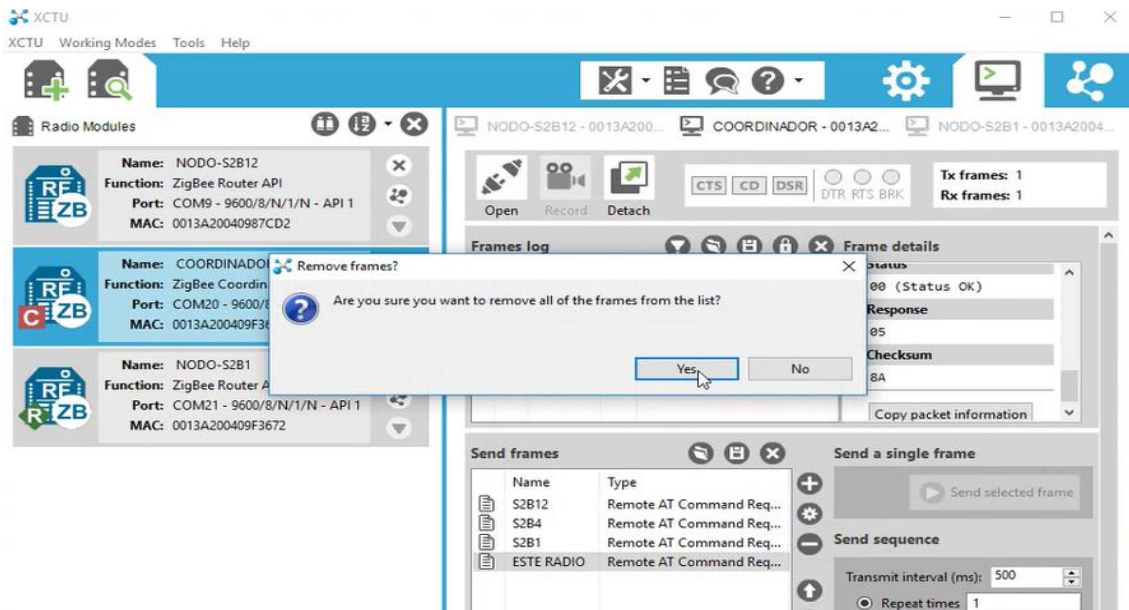


Figura 43. Configuración de trama

Ejecutada esta parte de la trama, se cierran los detalles de la configuración y se procede a conectar la parte serial.

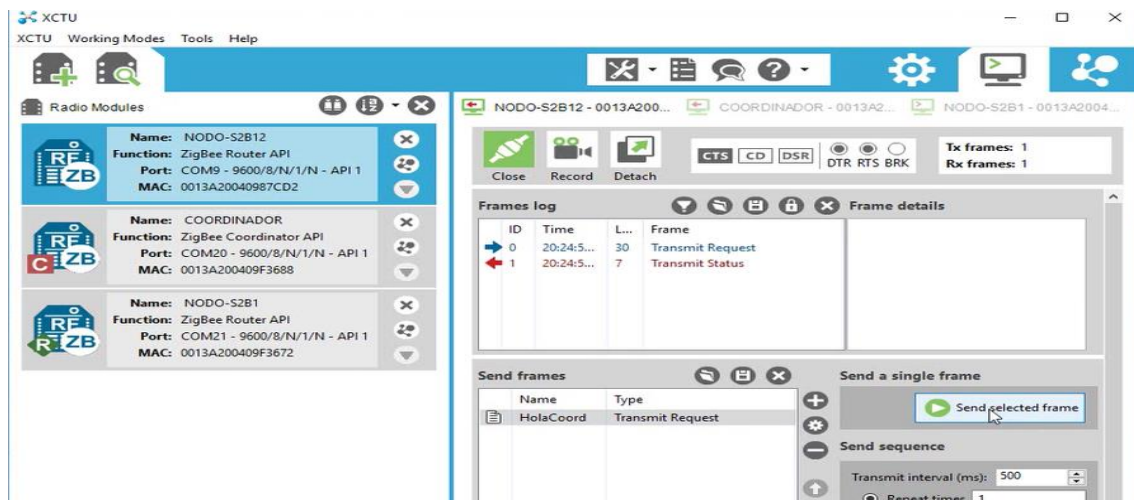


Figura 44. Inicio de Trama

Al terminar las configuraciones, se dirige al Nodo- S2812 de prueba, se envía la trama seleccionada mostrando la respuesta o estado de transmisión, las cuáles se generan a través del Zigbee. Al enviar la petición de respuesta se recibe en condición normal. El estado es Exitoso.

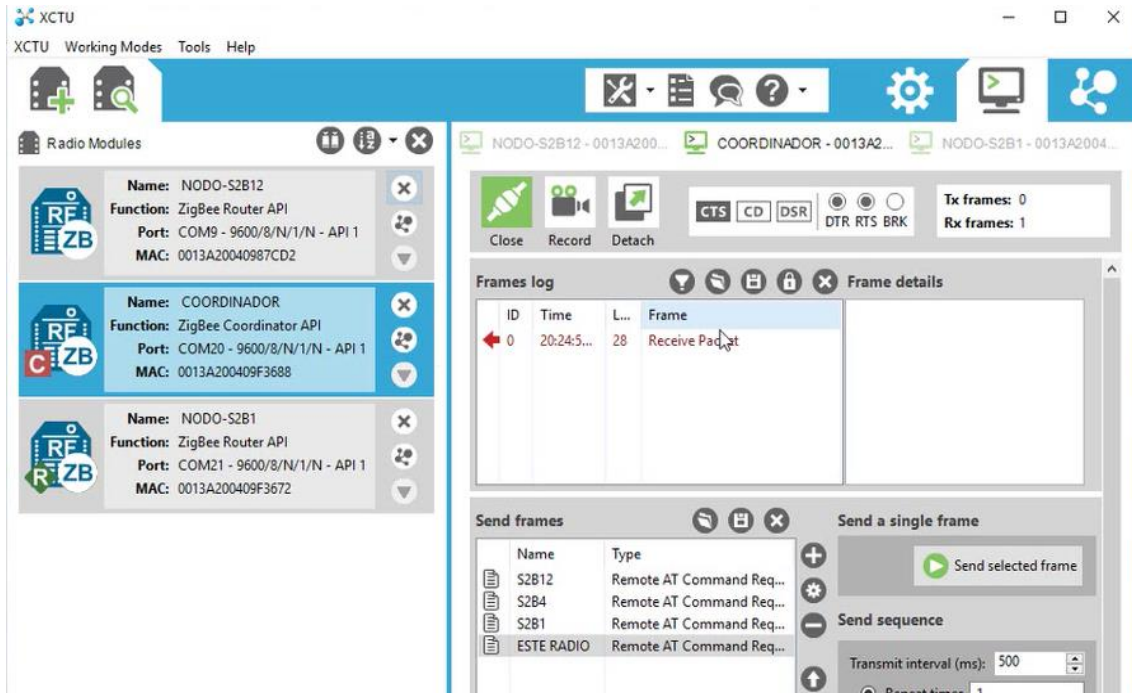


Figura 45 Trama en Coordinador

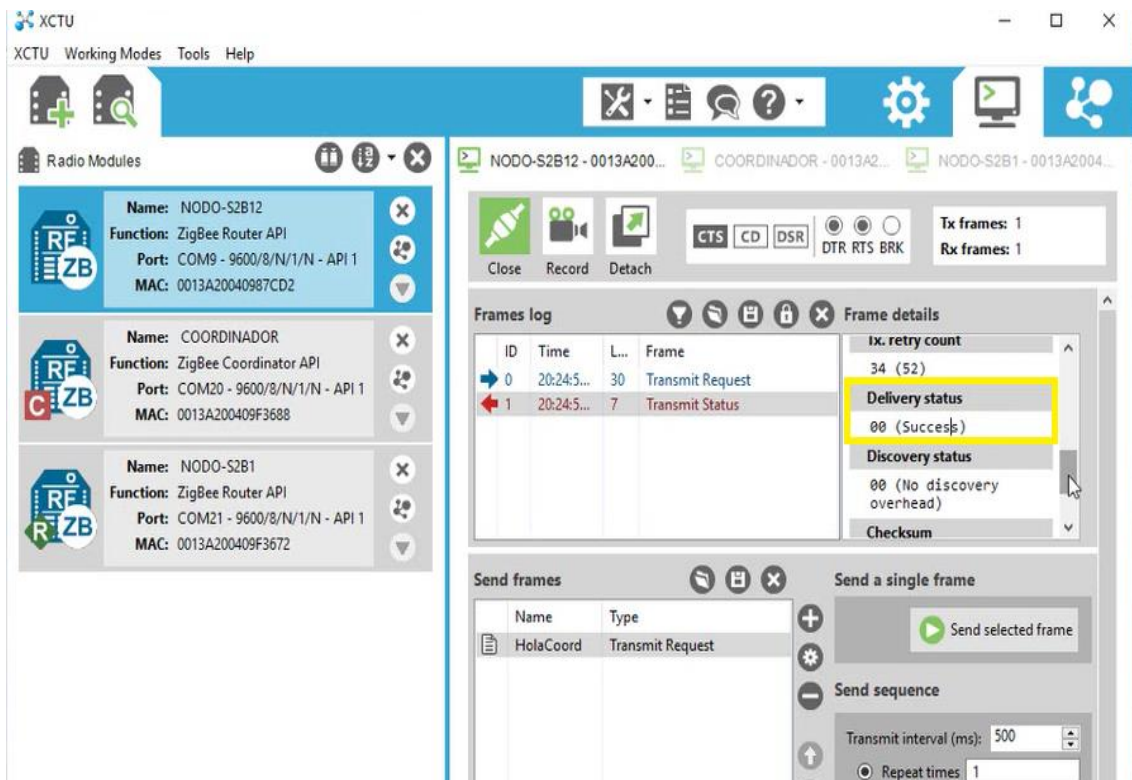


Figura 46 Respuesta en la trama

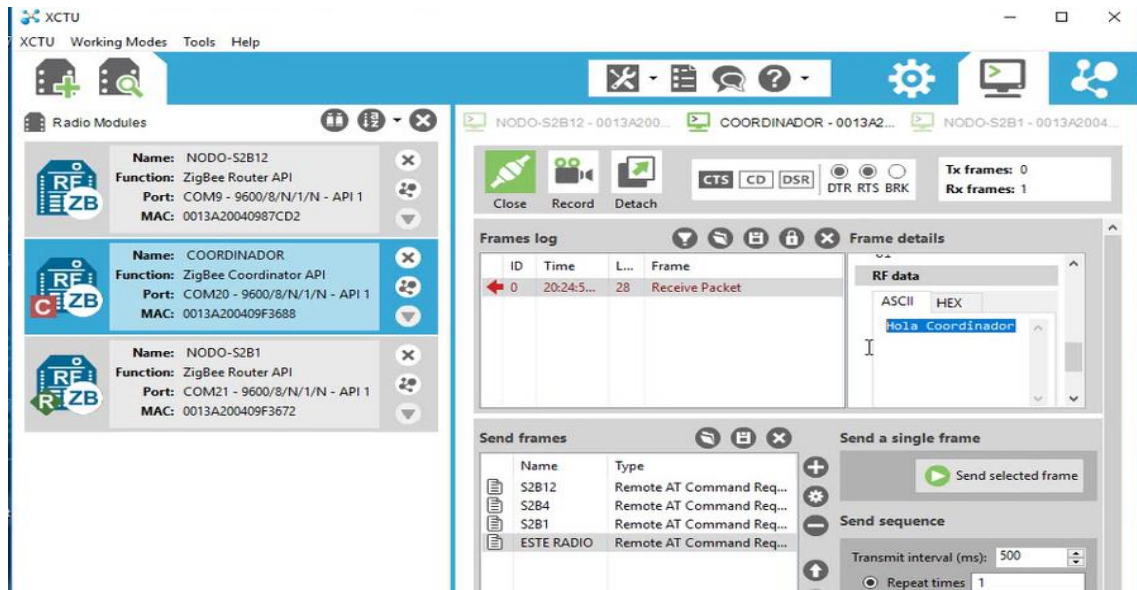


Figura 47. Mensaje recibido en Coordinador

Al visualizar en el Nodo Coordinador recibimos un paquete. Al inicializar esta prueba notamos que se envió un mensaje, el mismo que corresponde a la trama de GPS y los valores analógicos. Ese es el funcionamiento desde el Nodo Coordinador hasta el dispositivo router denominado Nodo – S2B1.

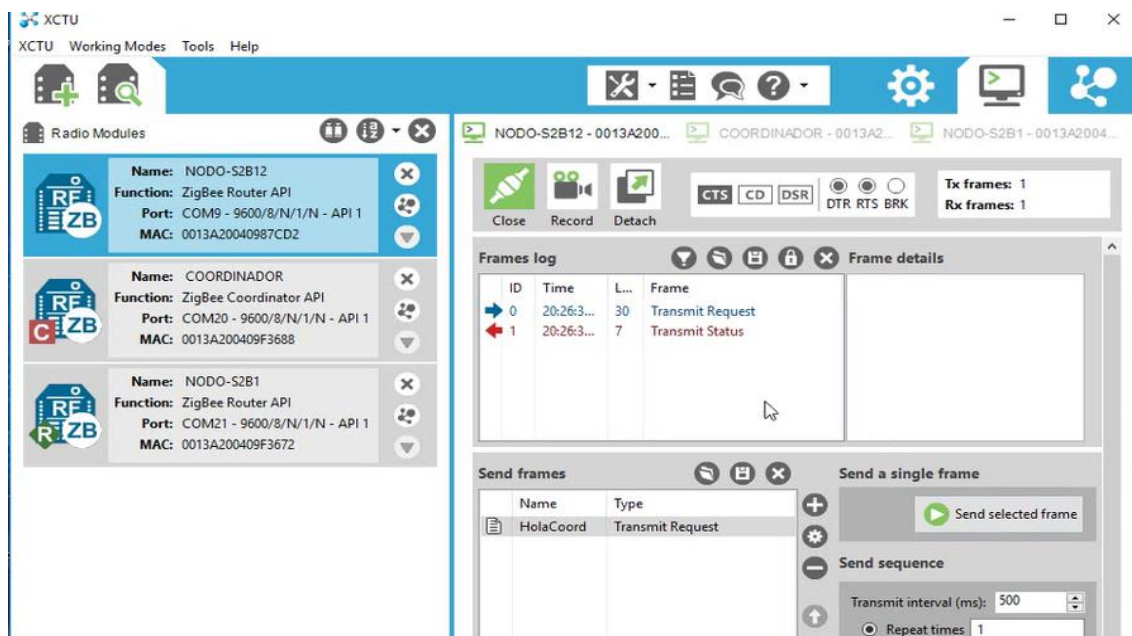


Figura 48. Ejecución de trama desde Nodo S2B1 a dispositivo final

Al realizar la prueba desde el Nodo S2B1 al dispositivo final, no logra llegar a completarse el paquete ya que los dispositivos finales permanecen en estados modo de ahorro de energía

En este caso, se requiere que el Nodo Coordinador solicite una respuesta mediante una trama y genere un mensaje hacia el router, en este caso lo aplicaremos a un Zigbee configurado como dispositivo final.

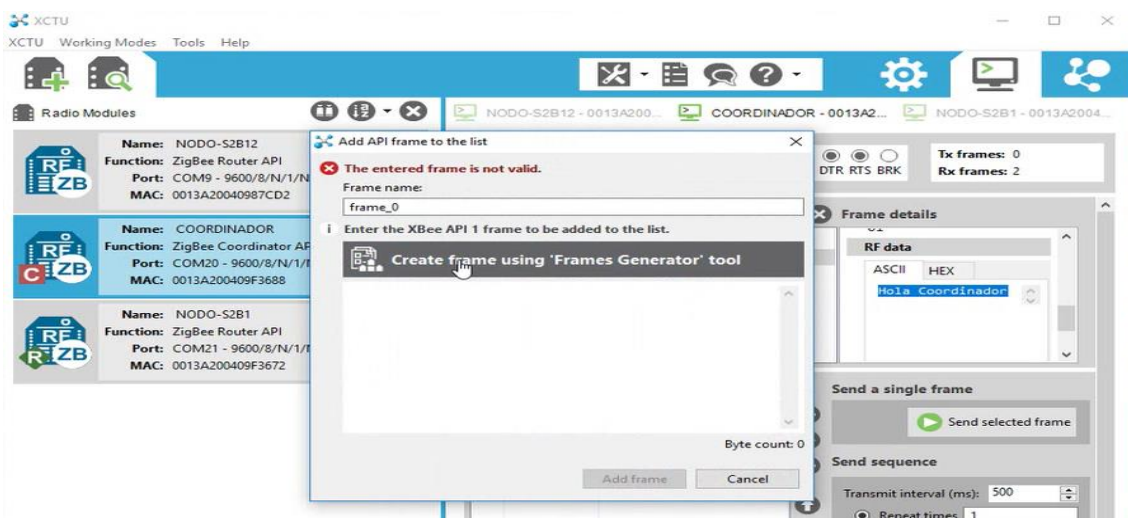


Figura 49. Creación de trama al Nodo SB21

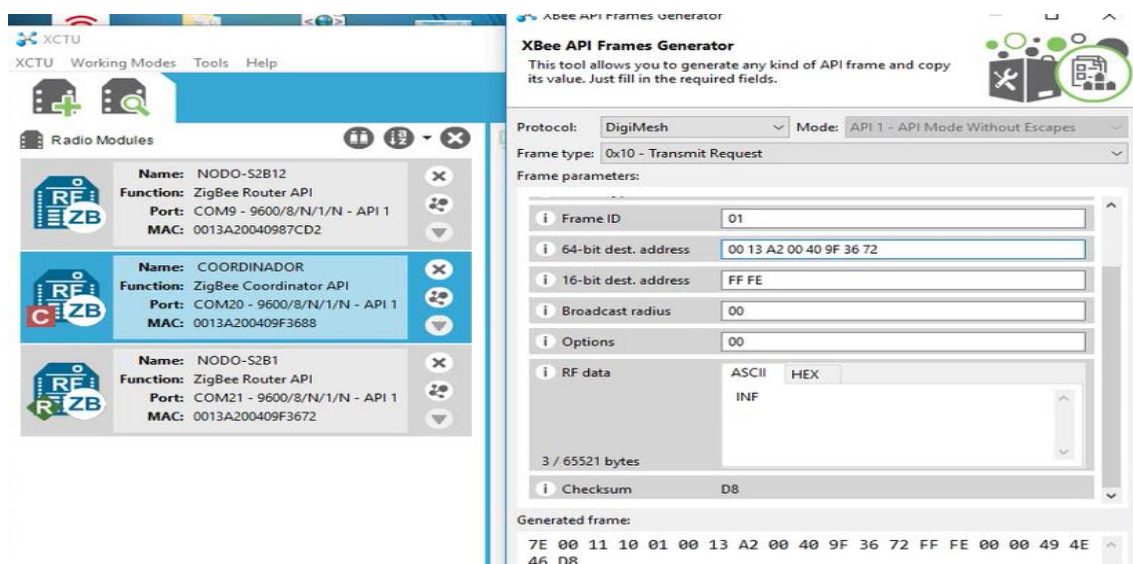


Figura 50. Envío de trama hacia dispositivo final

Desde el Nodo Coordinador enviamos un mensaje hacia el router, aplicando el mismo principio desde un Zigbee hacia un dispositivo final.

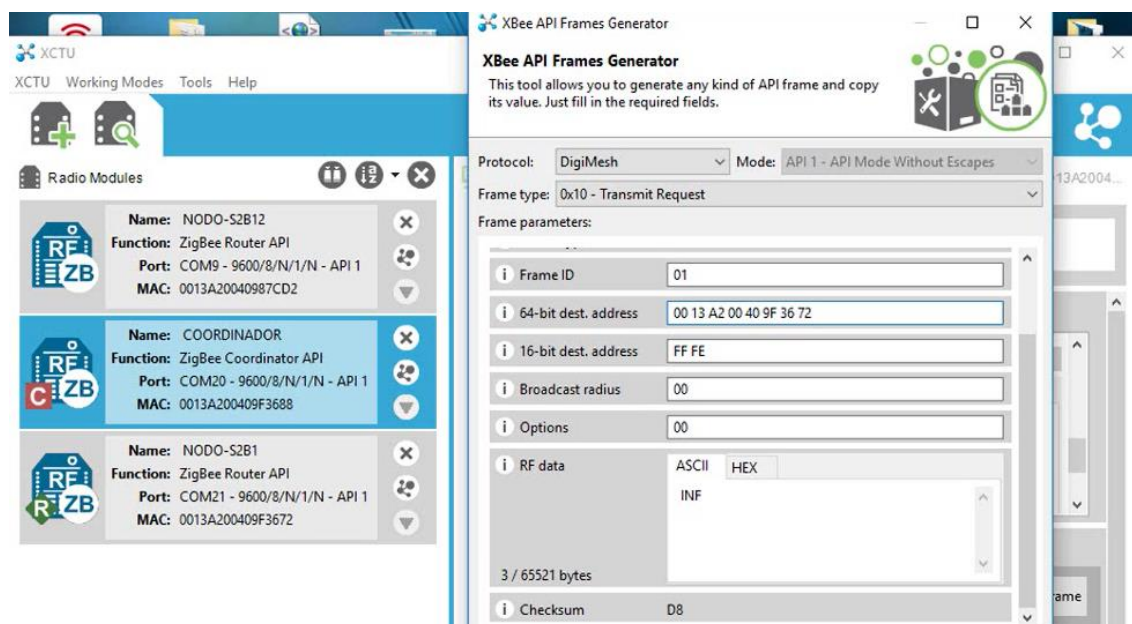


Figura 51. Envío y recibo de paquetes

Se envía INF como prueba y la dirección del dispositivo a conectarse.

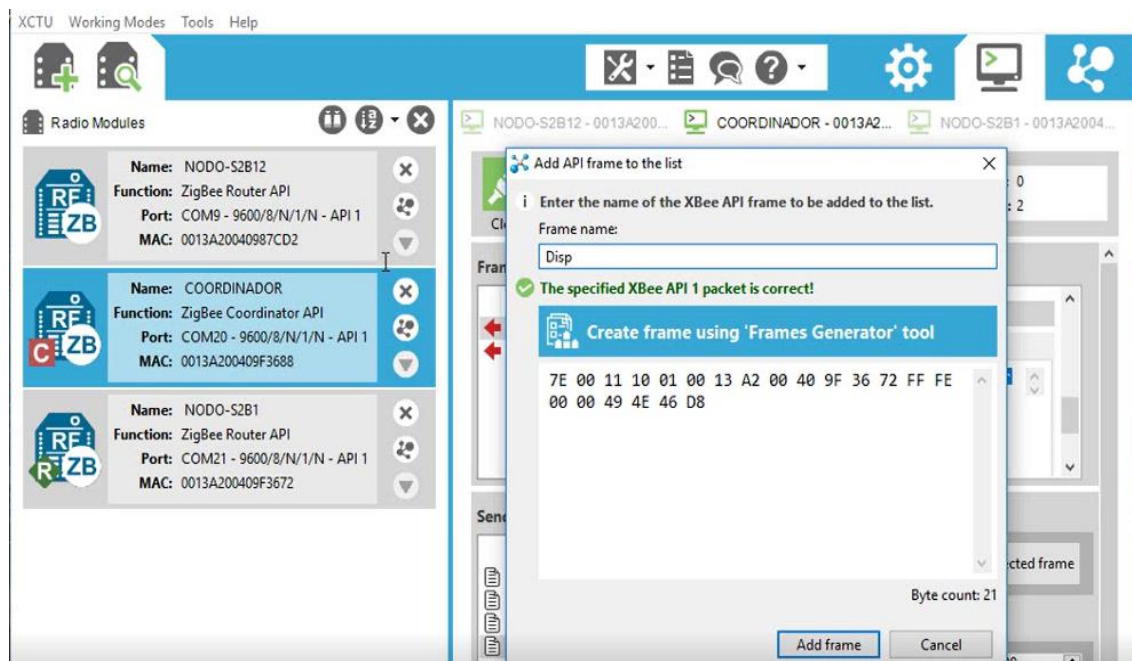


Figura 52. Generación de mensaje a través de la trama

El envío es exitoso, se recibe la parte de la trama y se guarda con el nombre Disp.

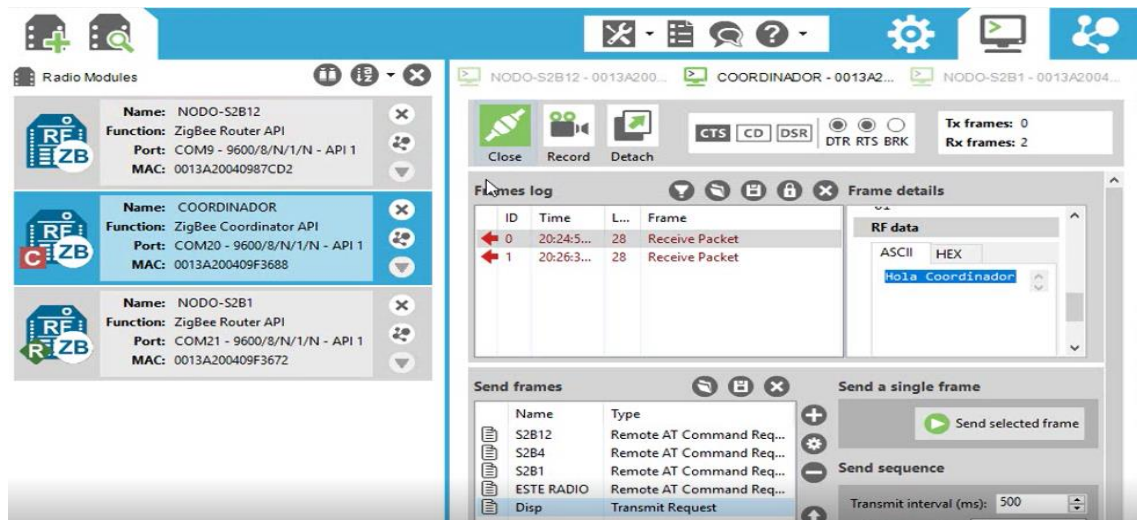


Figura 53. Tramas recibidas

El Nodo Coordinador envía mensajes y se verifican mediante la ventana de tiempo para enviarle un mensaje de respuesta ya sea al dispositivo final o al router, esta trama contiene los datos del GPS, los datos análogos de los sensores y estos van a ser interpretados por el Nodo Coordinador, el mismo principio lo usaremos para los nodos, los cuáles al ser configurados como routers pueden enviar mensajes directamente. Los dispositivos finales no pueden enviar mensajes sin que haya una petición del Nodo Coordinador.

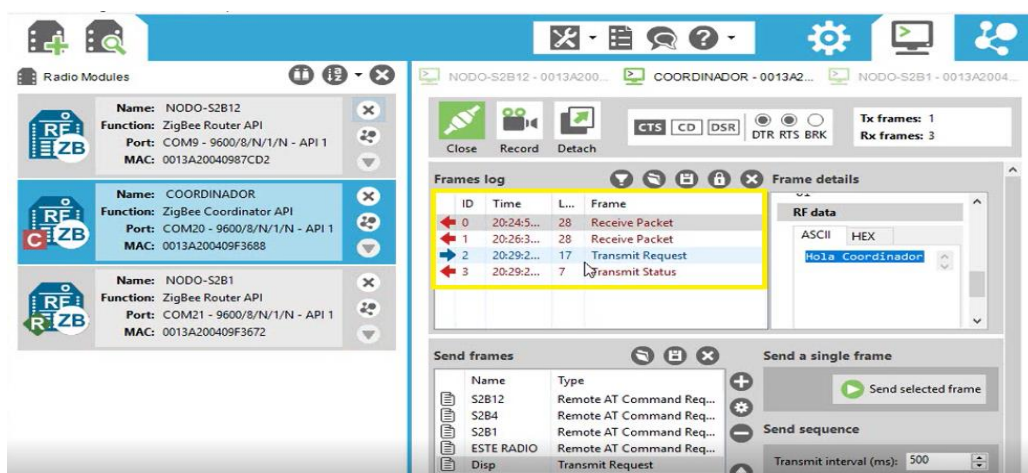


Figura 54. Envío de recepción y transmisión de paquetes

El módulo Arduino es el que determina que dispositivo solicita esta información para la verificación de elementos de ubicación y monitoreo. Esta es la parte de comunicaciones.

2.3.3 Lectura y Configuración de Received Signal Strength Indicator (RSSI)

El Indicador de señal recibida por potencia indica cuál es el valor en decibeles de la señal que llega a un módulo Zigbee. Este principio nos permitirá determinar inicialmente que dirección pudo haber tomado la trama, el módulo Zigbee determina cuál es el camino más óptimo, lo que se demuestra en el campo de pruebas realizadas en el capítulo 3.

Cuando se envían comandos por el módulo Zigbee, se reciben datos aproximados de la señal muestreada, indicando el resultado de la última potencia que ha recibido, ya sean Zigbee configurados en modo router o como dispositivo final, para identificar este parámetro usa el comando DB. La medición siempre se va a determinar en la última trama.

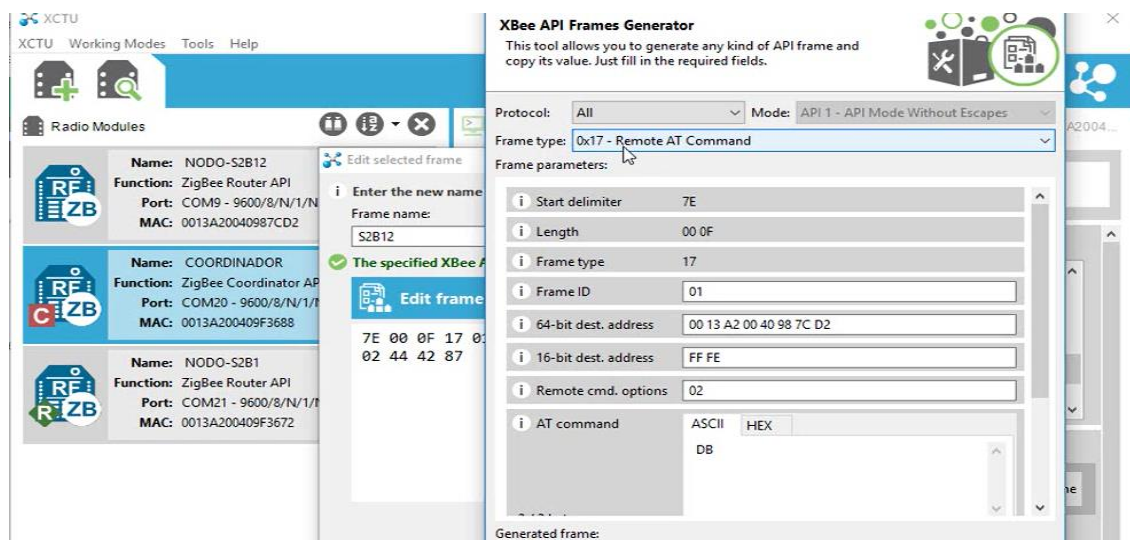


Figura 55. Medición RSSI

Al inicializarse, el coordinador enviará un mensaje a los nodos, routers o dispositivos finales, el Zigbee envía la potencia entre ellos, los arduinos no toman

parte de esta medida. Solo el programa de C Sharp realizado en la PC y los cuatro módulos Zigbee. Para determinar el valor requerido en la última trama, se debe seleccionar la Trama de Generación de API, en la configuración se selecciona el comando 0X-17-Remote AT Comand, indicando la dirección del router o dispositivo final para indicar el comando DB, la trama creada se va a enviar a uno de los routers o dispositivos finales.

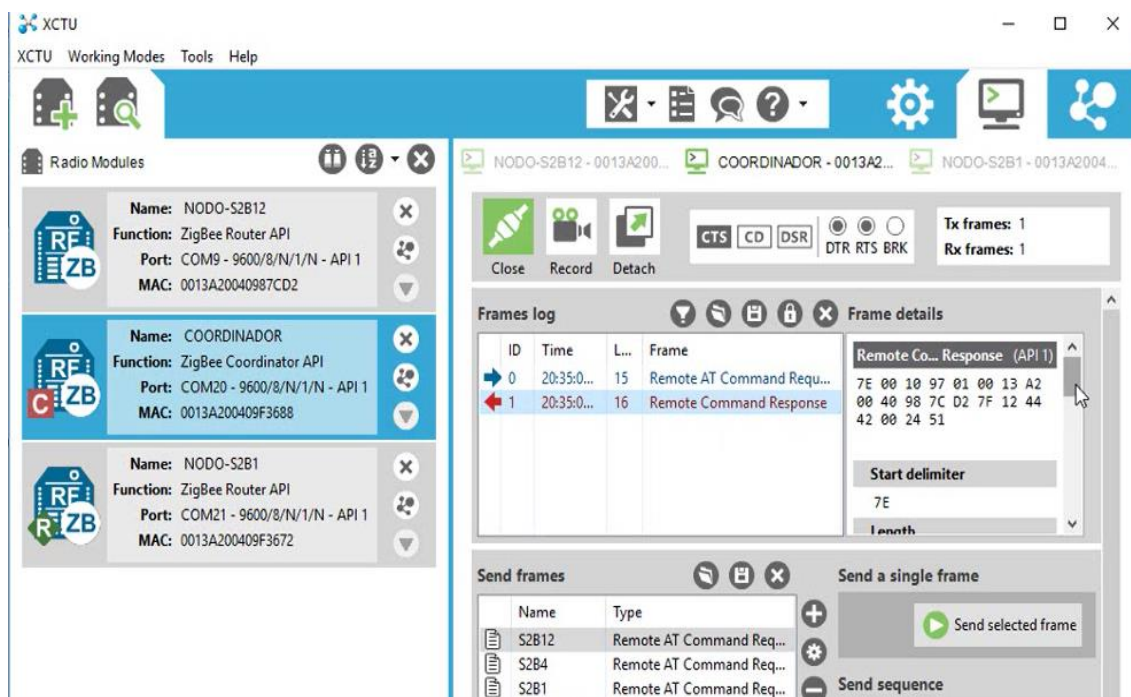


Figura 56. Resultados de envío sobre la trama y comando DB

Después de mostrarse la información enviada y la recibida, se interpreta la parte a usar, el Status es OK y a nivel de RESPONSE es 24, es el valor sobre decibeles sobre milivoltios.

EL valor es 36, lo que muestra que la potencia de respuesta es de -36 decibeles/milivoltio, el mismo principio para los otros nodos, el resultado es 77 db/mv. El camino que se define se interpreta por este principio. La obtención de potencia se analiza a través de las tramas, a módulo de datos de GPS, y los valores analógicos se utiliza el comando API en la configuración DIGIMESH y el frame tipo 0X-10 Transmit Request, para determinar los valores ADC, y la potencia se usan los comandos AT remotos.

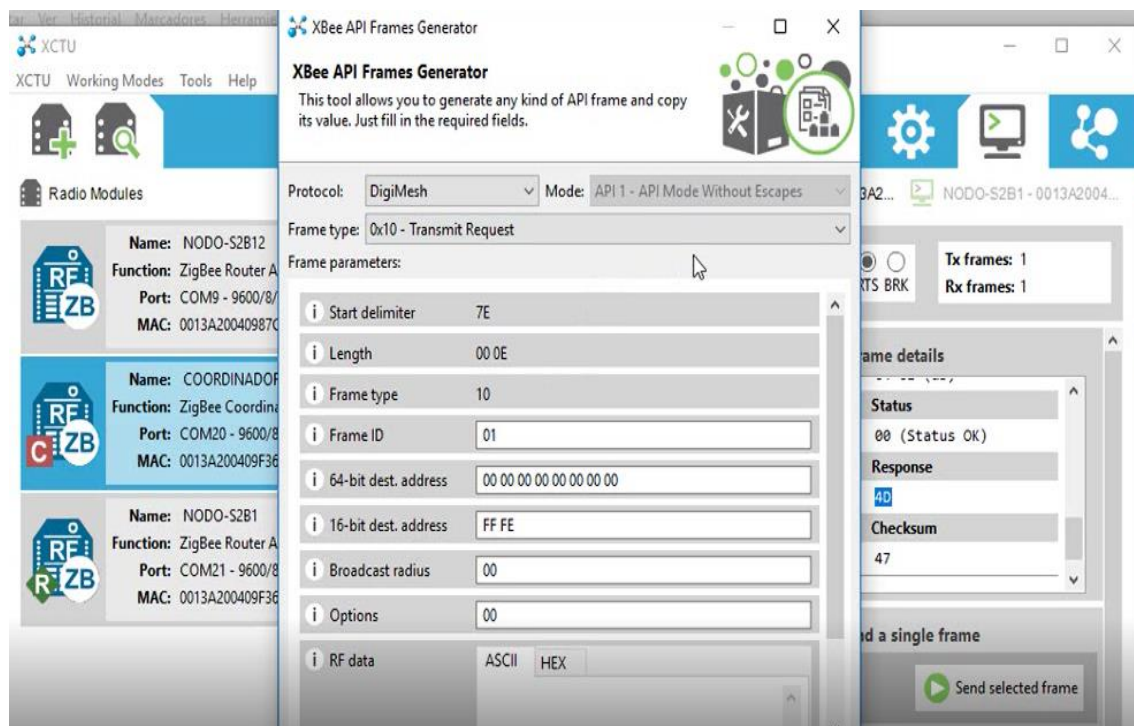


Figura 57. Configuración e interpretación de la Trama Rssi

2.4 Diseño de PCB y circuitería

Dentro del nodo principal es necesario realizar la placa electrónica denominada Printed Circuit Board, por sus siglas en inglés para que nos permita regular la corriente eléctrica, y protección del circuito.

2.4.1 Elementos de la PCB

Dentro de los elementos que constituyen la PCB se encuentran:

- 2 integrados LM117 que funcionan como reguladores de voltaje.
- 2 capacitores electrolíticos de 100 uF
- 2 resistencias 470 ohmios
- 1 capacitor 0,1 Uf
- Placa de Arduino
- 4 sockets para sensores
- 1 socket para fuente de alimentación

2.4.2 Pruebas de conexión para montaje de elementos

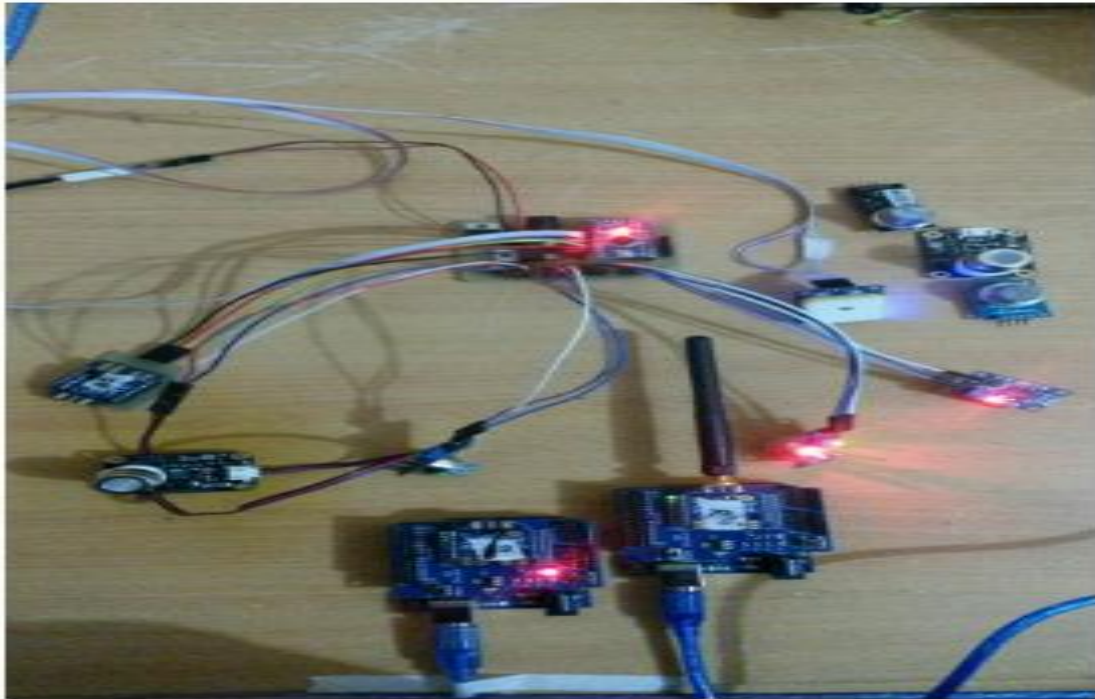


Figura 58. Conexión de placas Arduino y montaje de sensores

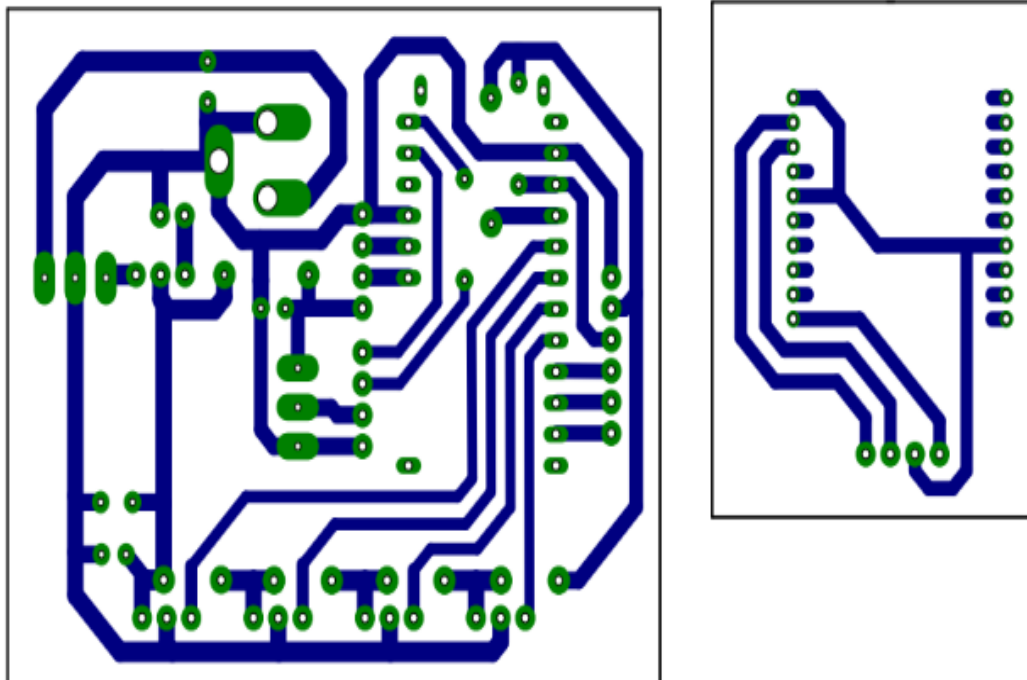


Figura 59. Diseño de Placa para Baquelita

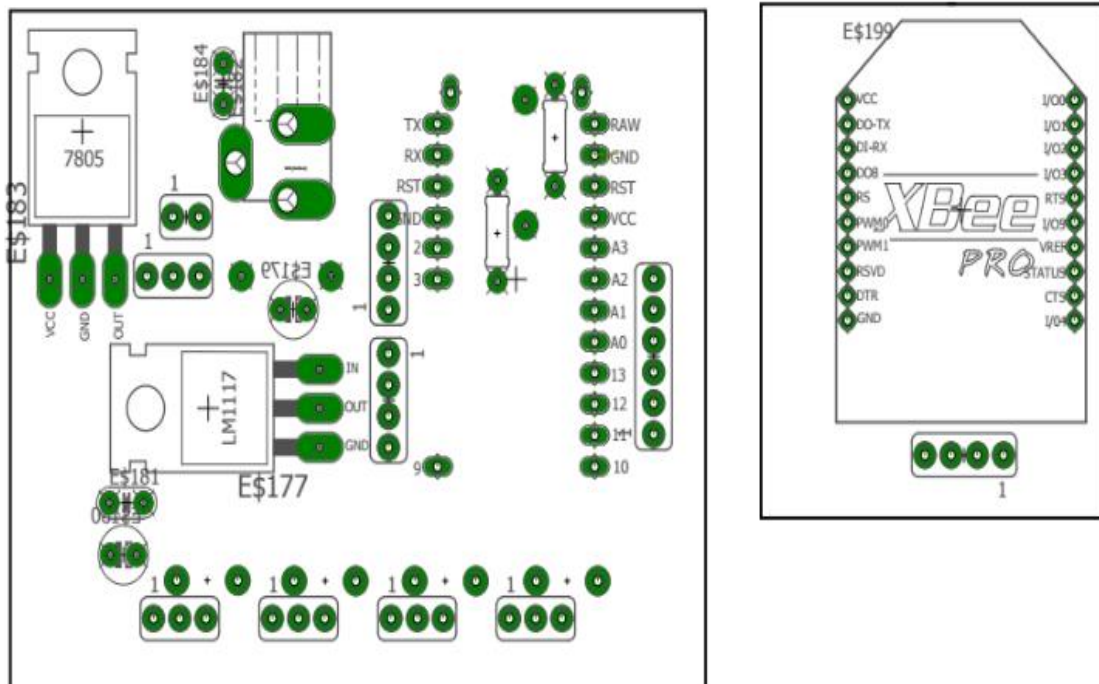


Figura 60. Elementos de conexión de la PCB

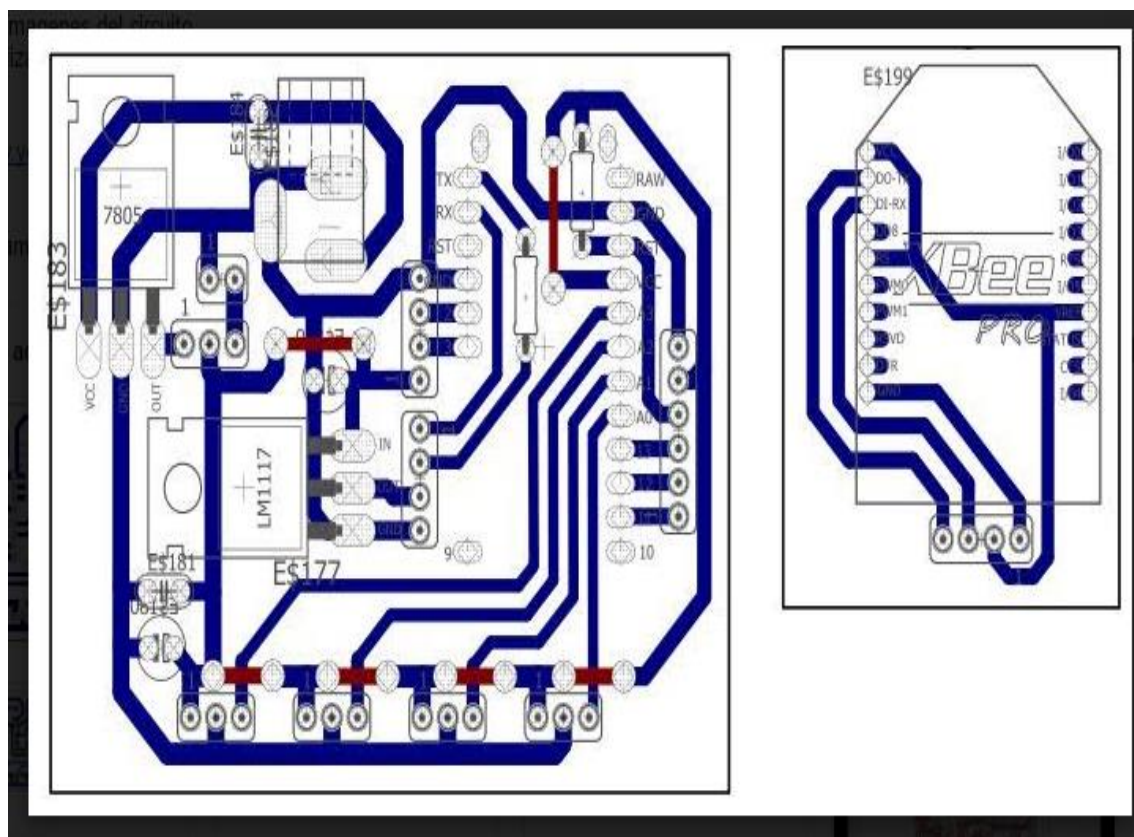


Figura 61. Diseño de placa en Software Eagle

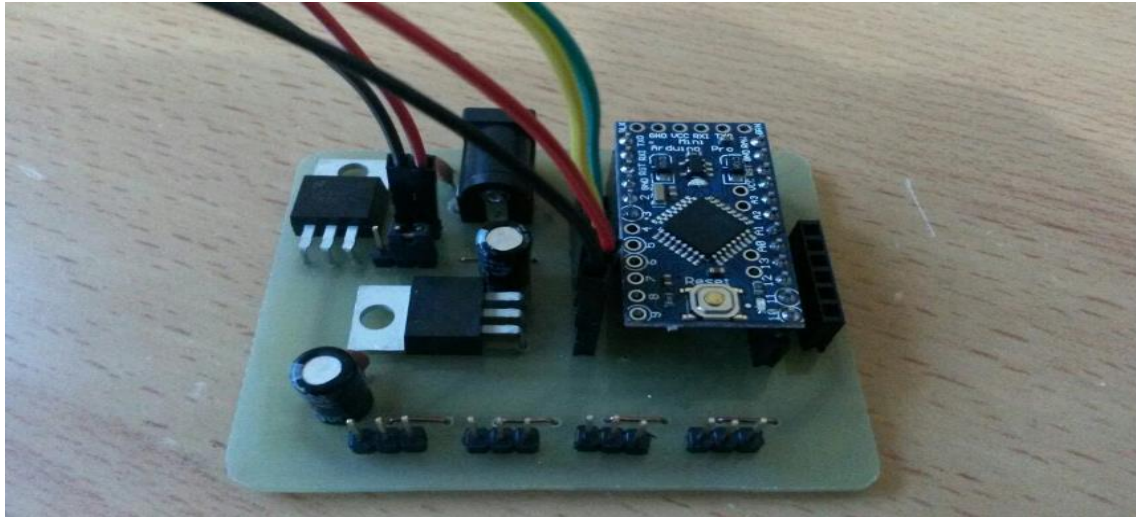


Figura 62. Construcción de placa PCB

2.5 Software Eagle

El software que se utiliza en el diseño de la placa Printed Circuit Board, es Eagle. Se pueden realizar cualquier diseño tanto eléctrico como electrónico, es una herramienta en la que destaca la facilidad y precisión para usarlo.

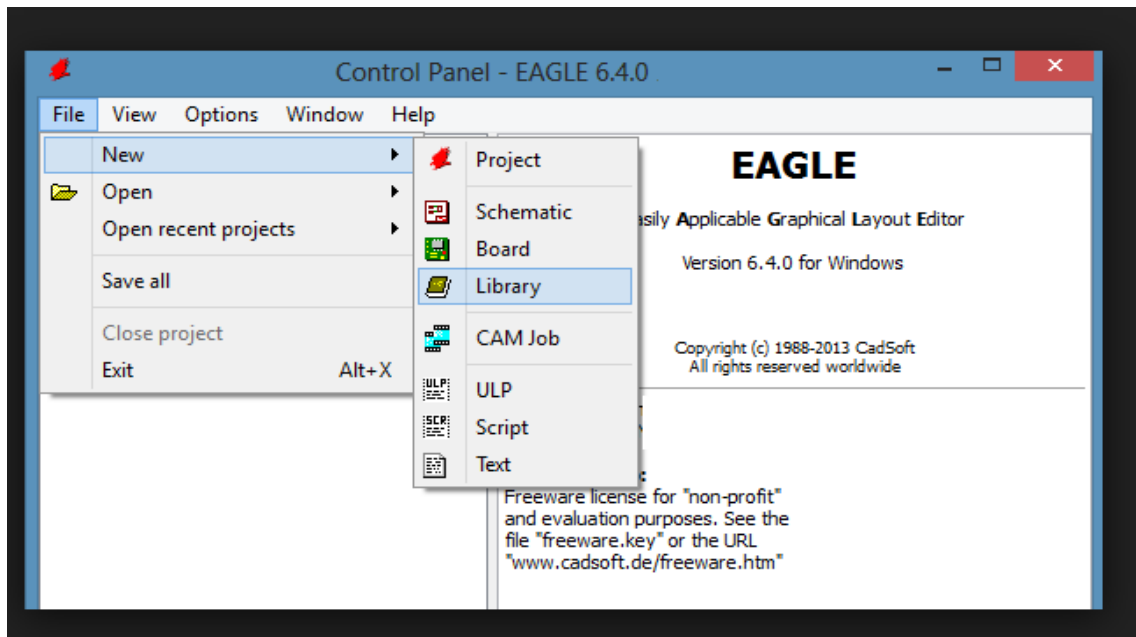


Figura 63. Software Eagle

Tomado de: Eagle Louis, 2016

2.6 Diseño de Caja en 3D para montaje de Nodo Principal

El diseño de la caja se realiza en el programa Flash Force Dener.

La caja está formada de dos estructuras sólidas, un espacio donde se almacenan las baterías Lypo, tiene una fuente de alimentación externa para conexión a energía de 110 volts de corriente continua y protegida por una tapa sujetable.

En el espacio intermedio, se encuentra la PCB que va directamente conectado a los sensores que son visibles para las mediciones de los gases. En esta parte se concentra una cámara que almacenará el humo, vapor o gas a ser sentido y mostrado hacia la interfaz gráfica para interpretación de los resultados.

En las imágenes se muestran cada parte de la caja.

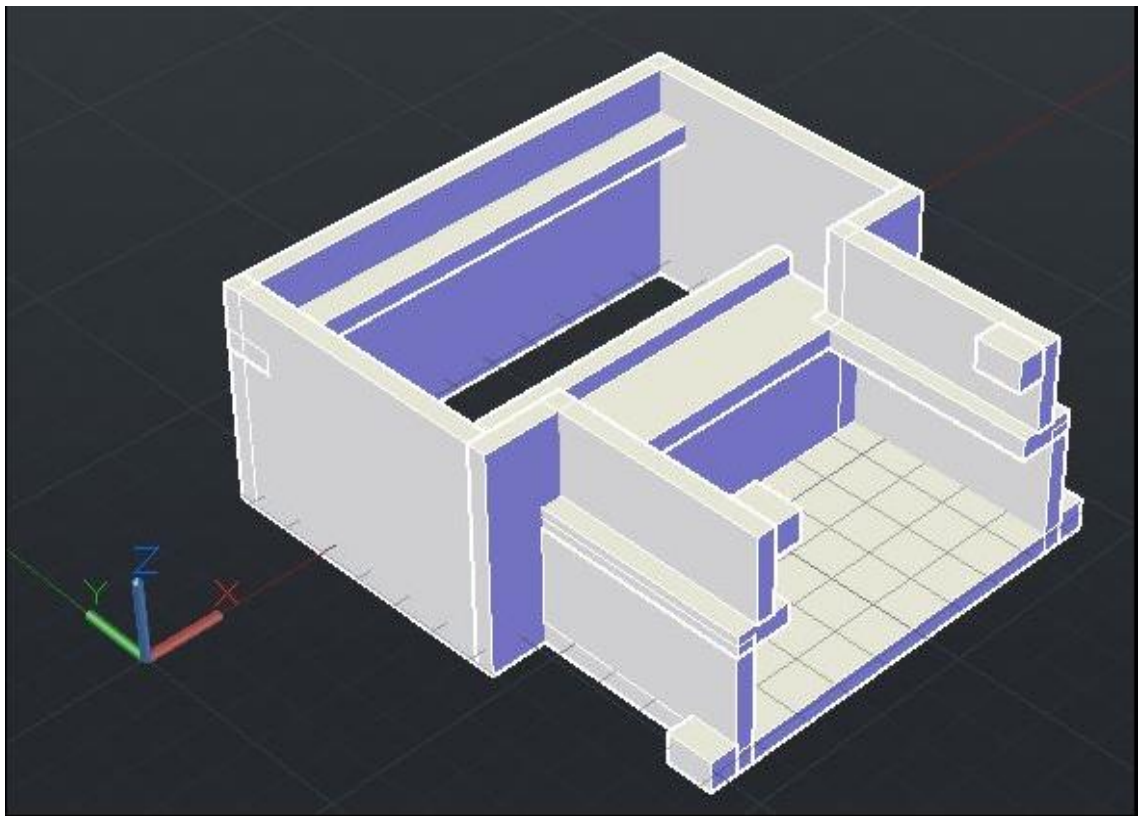


Figura 64. Estructura base de la caja en programa Autocad

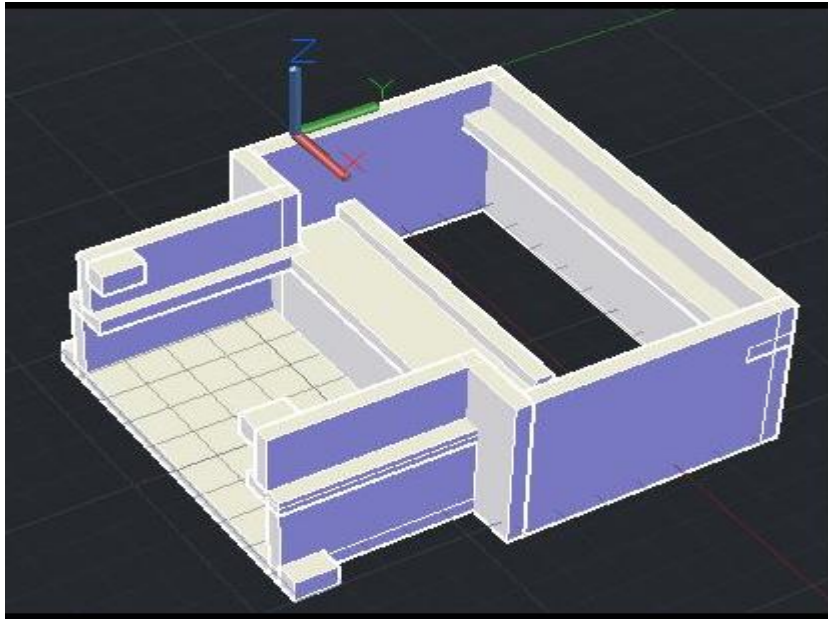


Figura 65. Estructura base de la caja vista lateral izquierda

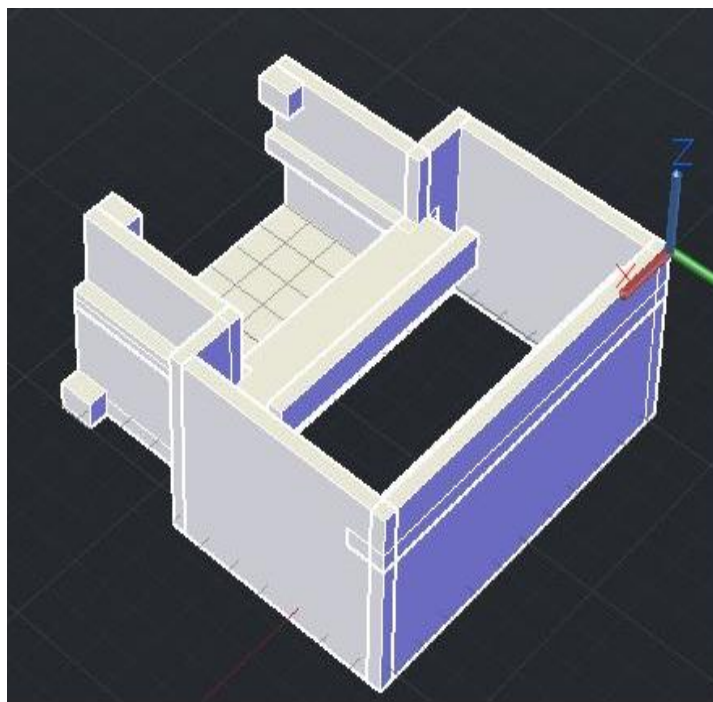


Figura 66. Estructura base de la caja vista superior en programa Autocad

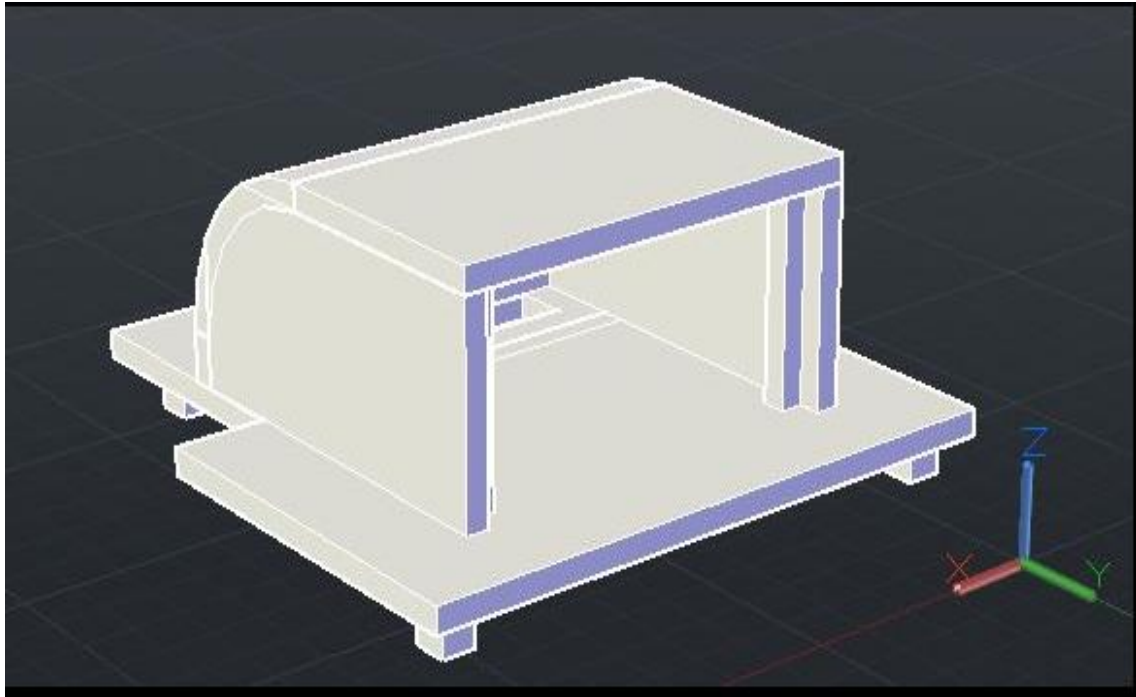


Figura 67. Diseño de la Cámara de Gases para medición

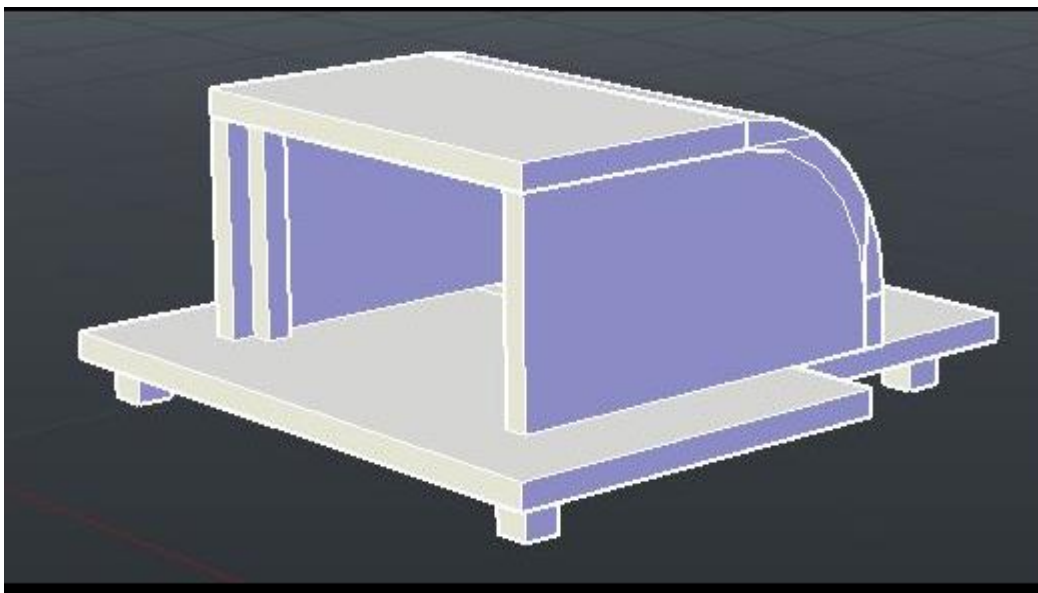


Figura 68. Parte Superior de la Cámara de Gases

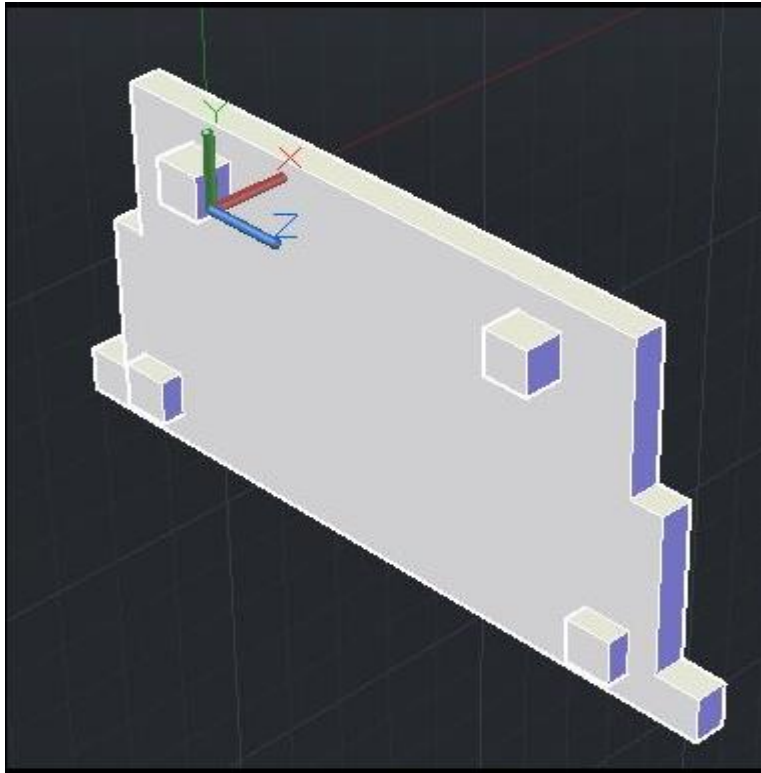


Figura 69. Tapa de la base de las baterías y fuentes de alimentación

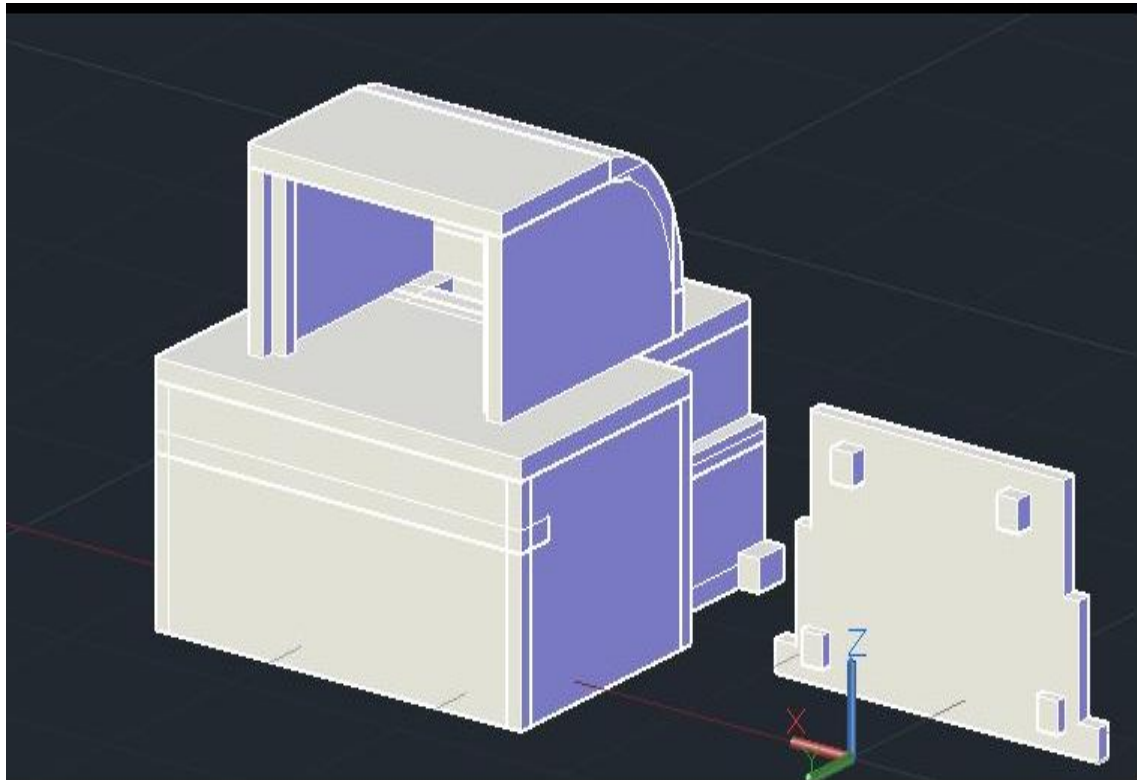


Figura 70. Caja en 3D completa y tapa para fuentes de alimentación

2.7. Interfaz Gráfica

La interfaz gráfica se diseña para la interpretación de resultados, el análisis de cada uno de los gases facilita la interacción del medio con el usuario en un software fácil de manejar.

2.7.1 Guía de Usuario de la Interfaz

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

1. Se abre el programa Sensores de Ambiente con el programa Visual Studio 2017.
2. Se selecciona la parte de Control Sensores para establecer comunicación con el siguiente acceso.
3. Se busca el puerto configurado en la PC, que está conectado al módulo Zigbee Explorer como coordinador.
4. Se selecciona la opción conectar, Iniciar y el Control se torna verde ya que inicializa el proceso, se genera la petición al Nodo 1, paso de 2 segundos y se genera otra petición al Nodo 2 y al Nodo 3 que se detecta en el medio.
5. Los sensores empiezan a funcionar y captan medidas inmediatas.

Una de las características de nuestro sistema es mostrar el proceso de paso de alertas desde que se genera hasta la activación inmediata de alarmas en el prototipo, con el programa desarrollado Sensores de Ambiente lo permite.



Figura 70. Pantalla de Inicio del Programa

Para la muestra de resultados en el prototipo se realizó en el programa Csharp una interfaz con dos elementos principales para inicializarse:

2.7.2 Sensores

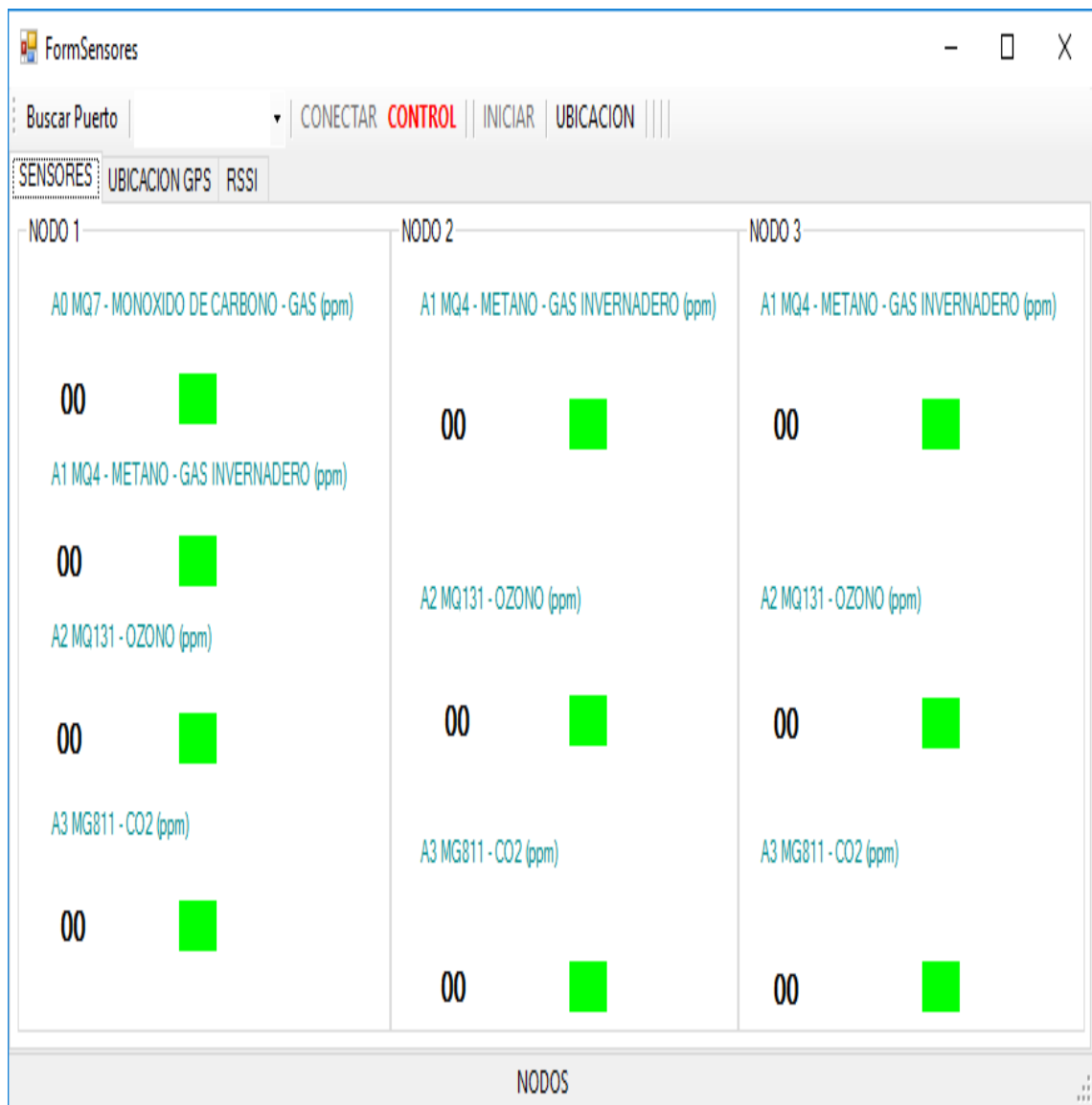


Figura 71. Control y Monitoreo de Nodos

Esta opción nos permite realizar el monitoreo general de los sensores, está compuesta de tres nodos diferentes para mayor alcance, el nodo uno está formado con los gases: ozono, metano, dióxido de carbono y monóxido de carbono, el nodo dos lo conforman los gases metano, dióxido de carbono y monóxido de carbono y

en el Nodo 3 se encuentra de prueba de conexión para muestreo de la información.

2.7.2.1 Ubicación GPS

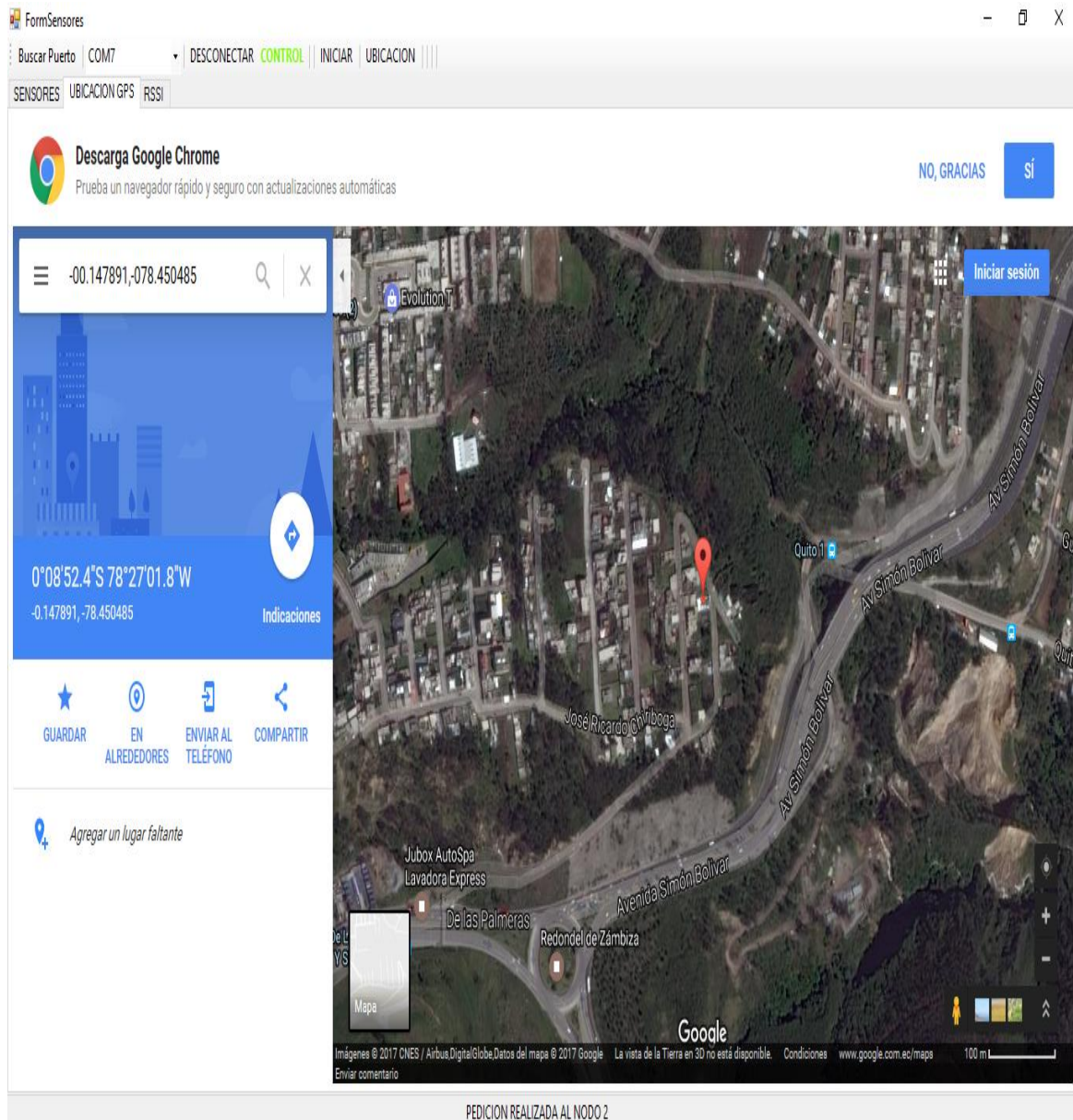


Figura 72. Ubicación por Georeferenciación de Satélite

Tomado de. Google Maps, 2017

Dentro de esta opción podemos encontrar la ubicación exacta del Nodo principal. Está determinada por una medida de longitud y latitud que por medio del dispositivo GPS nos permite encontrarla.

2.7.2.2 RSSI

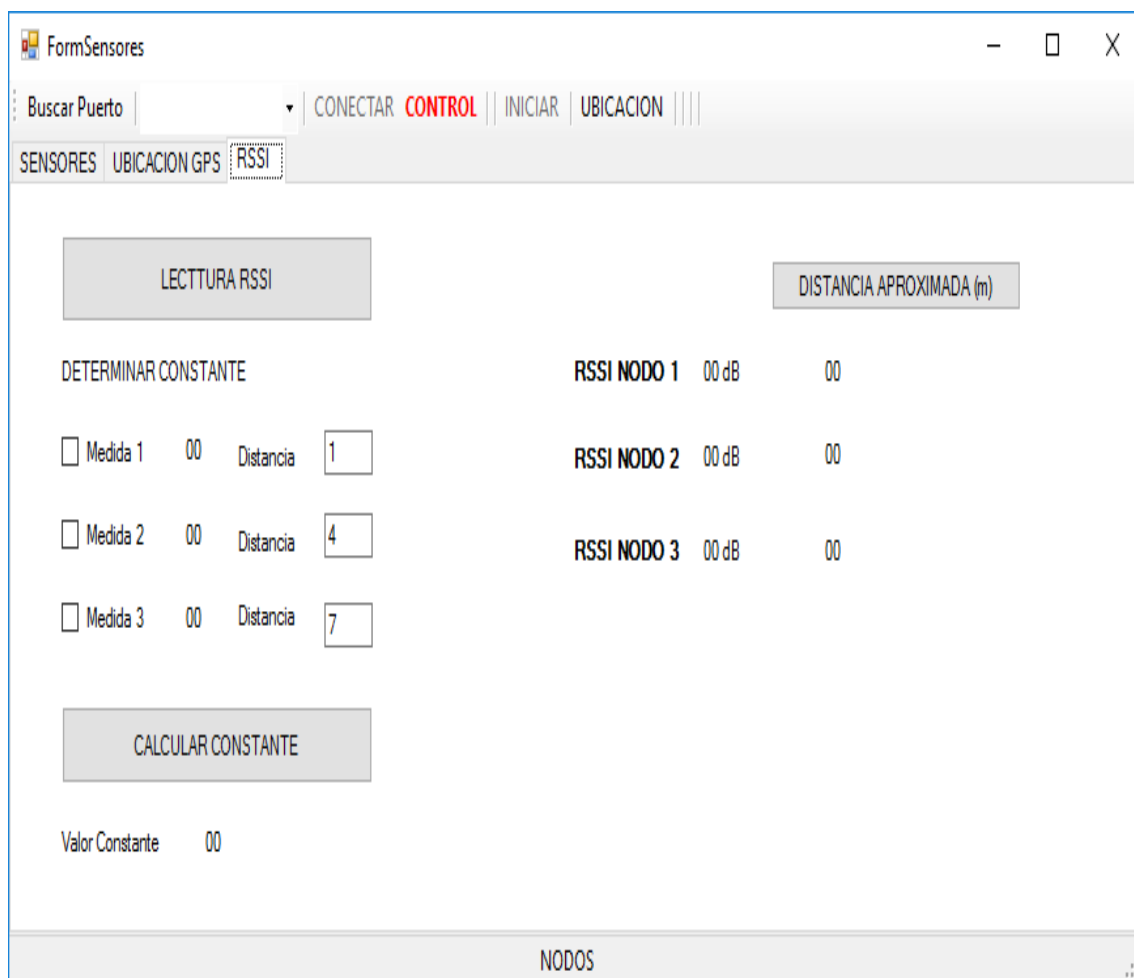


Figura 73. Pantalla Principal de RSSI

Otra de las opciones que se encuentran en la interfaz gráfica es localizar el RSSI para determinar las distancias, tomando como referencia la ubicación del nodo 1 (nodo principal) Para determinar el RSSI se toman medidas en rangos próximos al elemento a comparar. Esto se explicará más adelante en pruebas del prototipo.

En la opción Buscar Puerto, el módulo Zigbee identificará al dispositivo para su conexión en el medio. Podemos definir algunos puertos en la PC, el cuál será identificado en el programa XCTU.

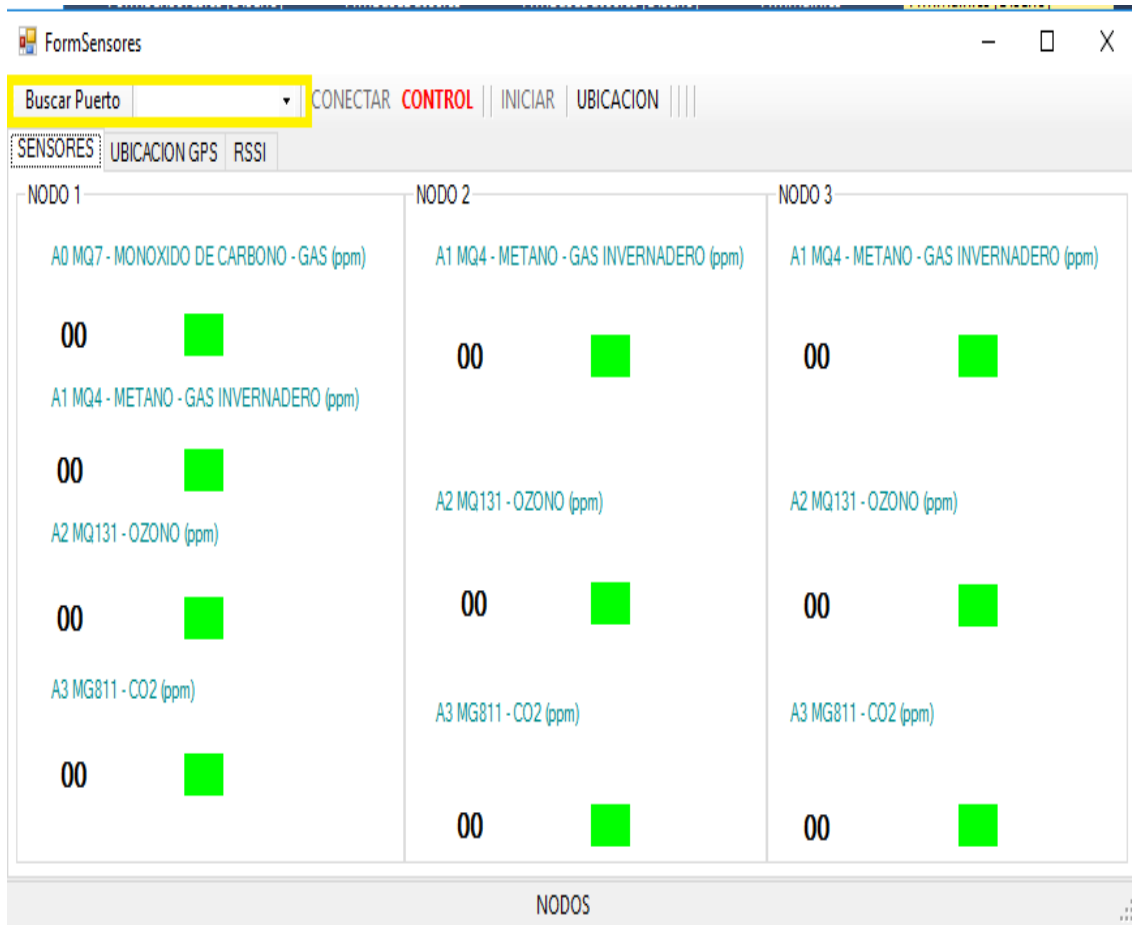


Figura 74. Buscar puerto de conexión

2.7.3 Base de Datos

La base de datos se realiza con el programa SQL Server 2014, la versión más actualizada del software.

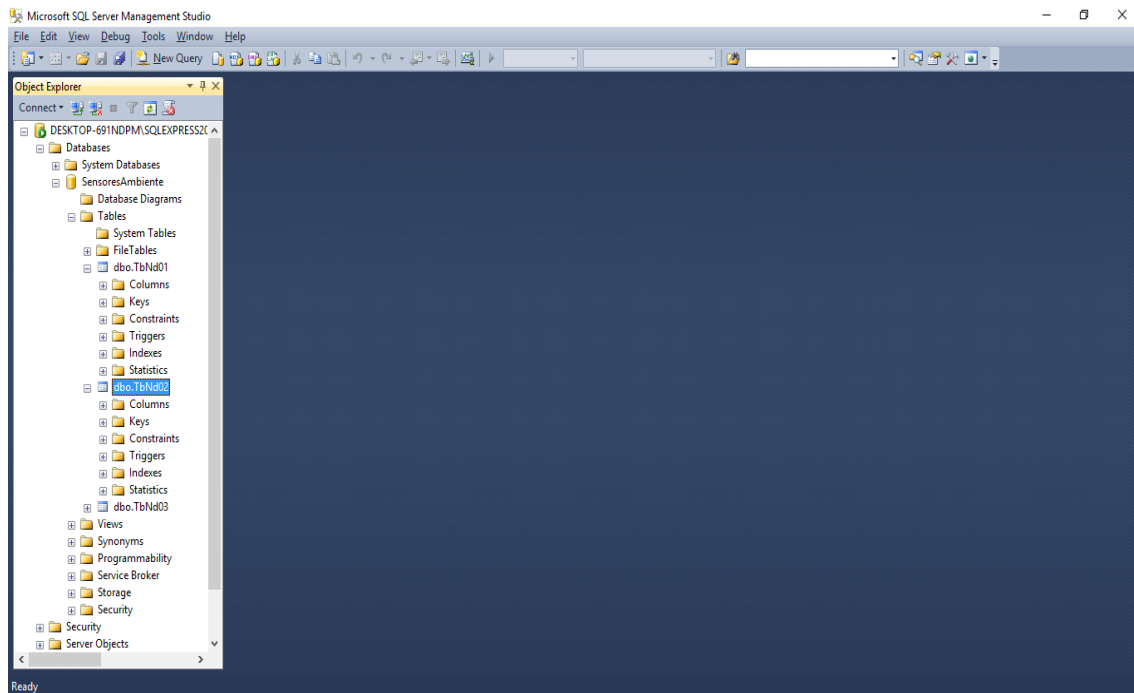


Figura 75. Ejecución de Sql Server 2014

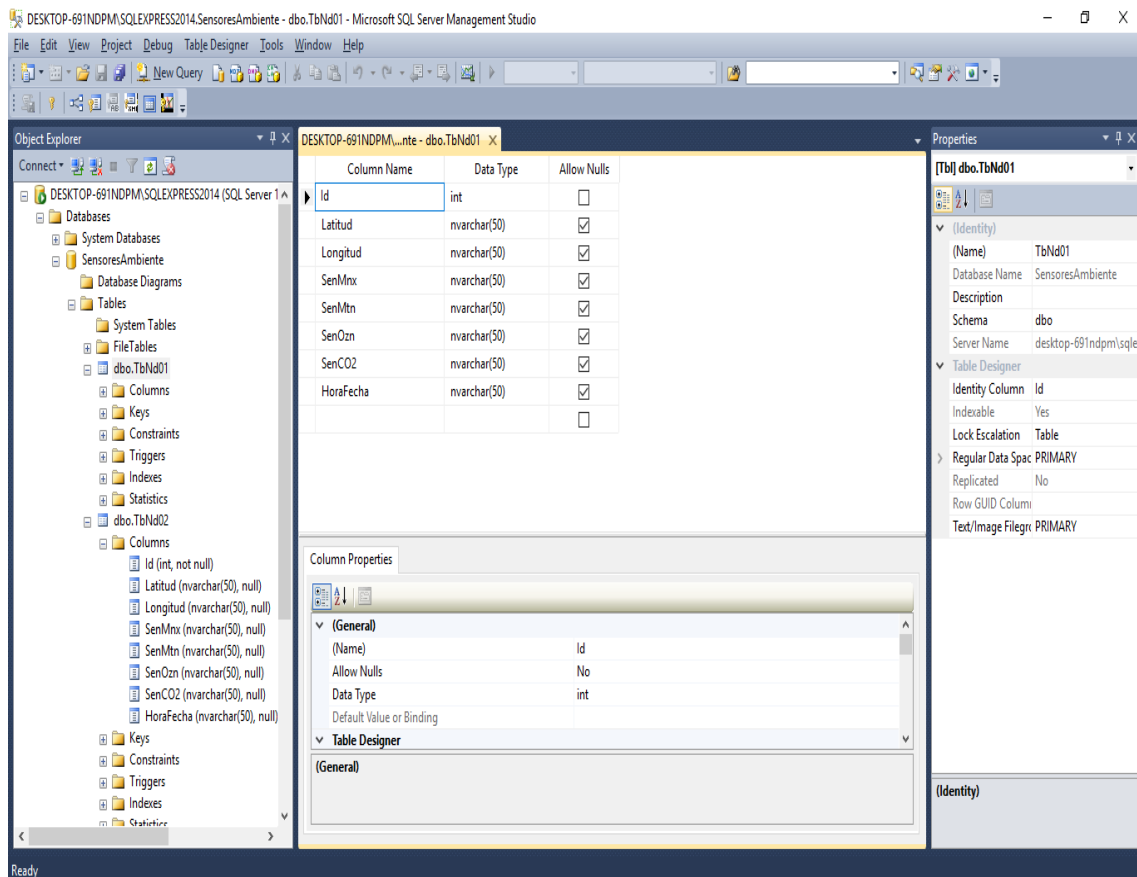


Figura 76. Creación de la Base de datos y tablas almacenadas

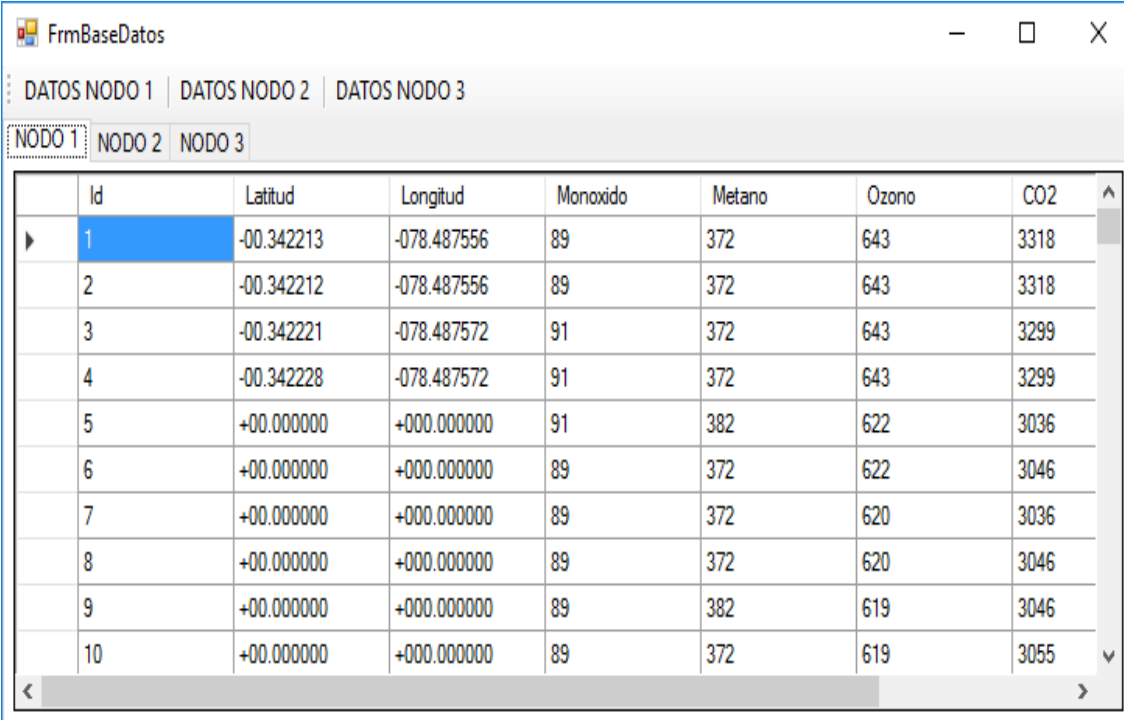
La base de datos se denomina “Sensores Ambiente”, está formado por tres tablas que contiene las entidades: Latitud, Longitud, los sensores que integran los nodos; ozono, metano, dióxido de carbono y monóxido de carbono.

Se integra la fecha y hora para que se almacenen todas las medidas. El tipo de datos usado va a ser Varchar y no hay campos nulos dentro de las tablas.

Se crearon tres tablas, una para cada nodo, las cuáles mantienen la misma información.

Enlace de C Sharp y Sql Server 2014

Para guardar los datos en la Framework denominada Sensores, el principio de funcionamiento está estableciéndose cada dos segundos entre nodo y nodo.



	Id	Latitud	Longitud	Monoxido	Metano	Ozono	CO2
▶	1	-00.342213	-078.487556	89	372	643	3318
	2	-00.342212	-078.487556	89	372	643	3318
	3	-00.342221	-078.487572	91	372	643	3299
	4	-00.342228	-078.487572	91	372	643	3299
	5	+00.000000	+000.000000	91	382	622	3036
	6	+00.000000	+000.000000	89	372	622	3046
	7	+00.000000	+000.000000	89	372	620	3036
	8	+00.000000	+000.000000	89	372	620	3046
	9	+00.000000	+000.000000	89	382	619	3046
	10	+00.000000	+000.000000	89	372	619	3055

Figura 77. Almacenamiento de Datos

En la interfaz principal aparece otra opción que se denomina “Datos Recolectados”, la cual permite visualizar los tres Nodos que conforman el proyecto, sus datos guardados y relacionar cada medida almacenada para establecer si hubo alerta de incendio en el monitoreo efectuado.

2.8 Calibración de Sensores

Cada uno de los sensores utilizados en el proyecto, vienen calibrados de fábrica, y según las pruebas que se realizaron fueron cambiando.

Luego de estos procesos, los sensores se calibran en el programa C Sharp de acuerdo con la constante que se halla en el datasheet de cada sensor, y nos permiten valores más precisos.

A nivel de las fórmulas aplicadas para realizar la calibración de cada uno de los sensores, citamos el de ozono (MQ7) en la que se toma la constante del rango a partir del máximo valor que nos proporciona el datasheet, en este caso sería 2000 ppm (partes por millón) y el valor de 1023 que relacionamos con el máximo valor análogo en el sensor.

Se genera la fórmula:

Constante = $Kts_MQ7 = 1,93548$; en donde $(2000 - 20) / 1023$

El valor obtenido es el medido que multiplicamos por la constante y se calibra al sensor de ozono.

```

namespace Gases_Ambientales
{
    public partial class FormSensores : Form
    {
        //-----
        const double Kts_MQ7 = 1.93548; //((2000 - 20)/1023);
        const double Kts_MQ4 = 9.5796; //((10000 - 200)/1023);
        const double Kts_MQ131 = 0.9677; //((1000 - 10)/1023);
        const double Kts_MG811 = 9.3841; //((10000 - 400)/1023);

        //-----
        const double Cts_MQ7 = 600;
        const double Cts_MQ4 = 1000;
        const double Cts_MQ1 = 200;
        const double Cts_MG8 = 1000;

        //-----
        private delegate void AccessFormMarshalDelegate(string action);
        private string StrBufferIn;
        private bool ExistenPuertos;
        StringBuilder MyStringBuilder = new StringBuilder();
    }
}

```

Figura 78. Constantes de calibración en C Sharp

Los límites que se toman en cuenta para efectuar la calibración de los sensores están basados en las mediciones de las concentraciones de los contaminantes comunes del aire realizadas por los analizadores automáticos de las estaciones remotas de la Red de Monitoreo se convierten a los valores del IQCA (Siglas de Índice Quiteño de la Calidad del Aire) utilizando relaciones lineales para cada contaminante, según se muestra en las tablas mostradas. El manejo del medio ambiente está asignado al Ministerio del Ambiente, en coordinación con la Alcaldía de cada ciudad y se emiten informes anuales sobre el índice de calidad del aire, en este caso de Quito en el cual nos enfocamos para obtener los resultados.

Tabla 9.

Expresiones matemáticas para el cálculo del IQCA

Contaminante	Expresiones matemáticas para cada rango de concentración			
CO, concentración máxima de promedio de 8 horas, mg/m ³	0 < Ci ≤ 10	10 < Ci ≤ 15	15 < Ci ≤ 30	30 < Ci
	IQCA = 10Ci	IQCA = 20Ci - 100.00	IQCA = 6.67Ci + 100.00	IQCA = 10Ci
O ₃ , concentración máxima de promedios de 8 horas, µg/m ³	0 < Ci ≤ 100	100 < Ci ≤ 200	200 < Ci ≤ 600	600 < Ci
	IQCA = Ci	IQCA = Ci	IQCA = 0.5Ci + 100.00	IQCA = 0.5Ci + 100.00
NO ₂ , concentración máxima en 1 hora, µg/m ³	0 < Ci ≤ 200	200 < Ci ≤ 1 000	1 000 < Ci ≤ 3 000	3 000 < Ci
	IQCA = 0.50Ci	IQCA = 0.125Ci + 75.00	IQCA = 0.1Ci + 100	IQCA = 0.1Ci + 100
SO ₂ , promedio en 24 horas, µg/m ³	0 < Ci ≤ 62.5	62.5 < Ci ≤ 125	125 < Ci ≤ 200	200 < Ci
	IQCA = 0.8Ci	IQCA = 1.333Ci - 66.667	IQCA = 0.125Ci + 175.00	IQCA = 0.125Ci + 175.00
PM _{2.5} , promedio en 24 horas, µg/m ³	0 < Ci ≤ 50	50 < Ci ≤ 250	250 < Ci	
	IQCA = 2.00Ci	IQCA = Ci + 50	IQCA = Ci + 50.00	
PM ₁₀ , promedio en 24 horas, µg/m ³	0 < Ci ≤ 100	100 < Ci ≤ 250	250 < Ci ≤ 400	400 < Ci
	IQCA = Ci	IQCA = 0.6667Ci + 33.333	IQCA = 0.6667Ci + 33.33	IQCA = Ci - 100

Ci: Concentración de un determinado contaminante.

Tomado de: Red de monitoreo atmosférico, 2017

La Tabla 10 presenta las categorías del IQCA y sus valores límites, para cada contaminante común de la atmósfera, junto con el código de colores a ser utilizado.

Tabla 10.

Límites numéricos de cada categoría del IQCA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Rango	Categoría	CO ^a	O ₃ ^b	NO ₂ ^c	SO ₂ ^d	PM _{2.5} ^e	PM ₁₀ ^f
0–50	Nivel deseable u óptimo	0–5000	0–50	0–100	0–62.5	0–25	0–50
51–100	Nivel aceptable o bueno	5001–10000	51–100	101–200	63.5–125	26–50	51–100
101–200	Nivel de precaución	10001–15000	101–200	201–1000	126–200	51–150	101–250
201–300	Nivel de alerta	15001–30000	201–400	1001–2000	201–1000	151–250	251–400
301–400	Nivel de alarma	30001–40000	401–600	2001–3000	1001–1800	251–350	401–500
401–500	Nivel de emergencia	>40000	>600	>3000	>1800	>350	>500

Notas: a, concentración máxima de promedio en 8 horas; b, concentración máxima de promedio de 8 horas; c, concentración máxima en 1 hora; d, concentración promedio en 24 horas; e, concentración promedio en 24 horas; f, concentración promedio en 24 horas

Tomado de: Red de monitoreo atmosférico, 2017

La Tabla 10 incluye el significado para cada categoría en relación a la salud pública y un código de colores que posibilita una rápida asimilación del mensaje que se pretende comunicar.

Tabla 11.

Rangos, significados y colores de las categorías del IQCA

Rangos	Condición desde el punto de vista de la salud	Color de identificación
0– 50	Óptima.	Blanco
50– 100	Buena.	Verde
100 –200	No saludable para individuos extremadamente sensibles (enfermos crónicos y convalecientes).	Gris
200 –300	No saludable para individuos sensibles (enfermos).	Amarillo
300 –400	No saludable para la mayoría de la población y peligrosa para individuos sensibles.	Naranja
400 –500	Peligrosa para toda la población.	Rojo

Tomado de: Red de Monitoreo Atmosférico, 2017

El término “individuos sensibles” que se utiliza en la Tabla 11, se detalla en la Tabla 12. Esta información ha sido elaborada sobre la base de investigaciones realizadas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

Tabla 12.

Identificación de individuos sensibles por tipo de contaminante del aire

Contaminante	Individuos Sensibles
Ozono	Niños que pasan tiempo en exteriores, adultos que realizan actividad física significativa en exteriores e individuos con enfermedades respiratorias como el
Material particulado	Personas que presentan enfermedades de los pulmones o el corazón, tales como asma, obstrucción pulmonar crónica, congestiones cardíacas o similares. Niños,
Monóxido de carbono	Personas con enfermedades cardiovasculares, tales como angina o aquellas con afectaciones que comprometen a los sistemas cardiovascular y respiratorio (por ejemplo, fallas congestivas del corazón, enfermedades cerebro vasculares, anemia, obstrucción crónica del pulmón), las mujeres embarazadas, los bebés en gestación y recién nacidos.
Dióxido de azufre	Niños, adultos con asma u otras enfermedades respiratorias crónicas y personas que realizan actividades físicas en exteriores.
Dióxido de nitrógeno	Niños y adultos con enfermedades respiratorias como el asma.

Tomado de: Secretaría de ambiente, 2017

Esta importante información fue compartida por personal de Ingeniería Ambiental de la Universidad de las Américas.

3. CAPÍTULO III. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

En este capítulo se realizará los análisis de los diferentes resultados obtenidos por medio de la implementación del prototipo de detección de incendios forestales propuesto en este proyecto, basado en lo siguiente:

- Establecimiento de una hoja de ruta

Las pruebas están establecidas en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental, en el Parque Metropolitano Guanguiltagua de Quito, como referencia a uno de los más grandes de la ciudad de Quito y en sitios cerrados para almacenar gases en una combustión.

- Planificación estratégica

Los equipos que se requieren deben ser calibrados para su operación, se establecen tiempos de una hora a dos, en el monitoreo en diferentes ambientes y condiciones: lluvia, sol, neblina.

- Diseño inicial

El prototipo construido se va modificando según avanza la implementación, en el caso del hardware principalmente, ya que se hay elementos que cambiaron como el caso de la placa del circuito electrónico que se realiza tres veces para minimizar espacios.

- Definición de requerimientos técnicos

Las características del prototipo se mantienen en las diferentes etapas de desarrollo, desde la construcción del nodo Coordinador, nodo principal y nodos secundarios hasta la aplicación técnica.

3.1 Escenario de pruebas

Dentro de las pruebas realizadas se tomaron tres puntos para la verificación y ejecución del prototipo construido y del sistema.

3.1.1. Pruebas realizadas en la Biblioteca del campus Query

En la biblioteca del campus Query, se arma y se configura el prototipo de sensores WSN para detectar incendios forestales, el objetivo principal es realizar la verificación de la red en modo API en el sistema desarrollado.



Figura 79. Montaje de red WSN

Al realizar la búsqueda del Coordinador, está detectado en el puerto COM 7, se realiza la verificación de los nodos disponibles a conectar y se encuentran redes conocidas, y una desconocida, se inicializa la configuración y verificación de la red y se ejecuta comandos en el programa XCTU, en la seguridad y variando el canal. El dispositivo conectado estaba identificado con la Mac Address 0012A2004086E5DC y se denominaba NODO 1.

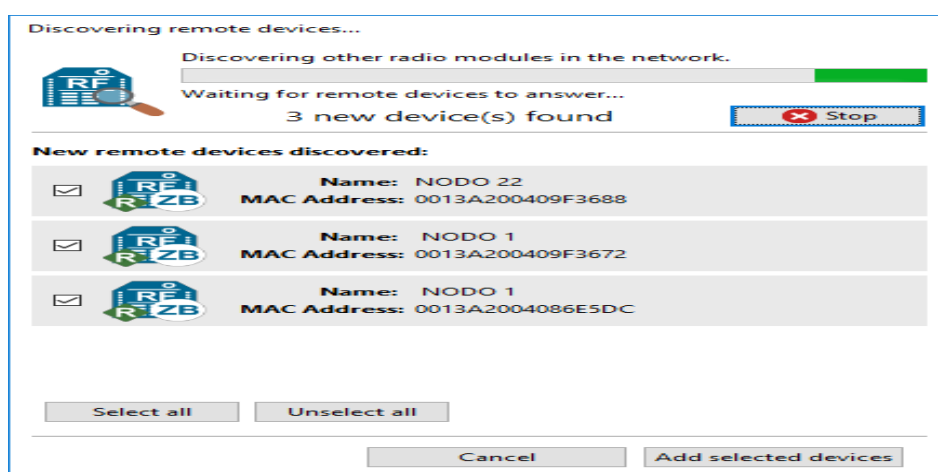


Figura 80. Búsqueda de Módulos Zigbee detectados

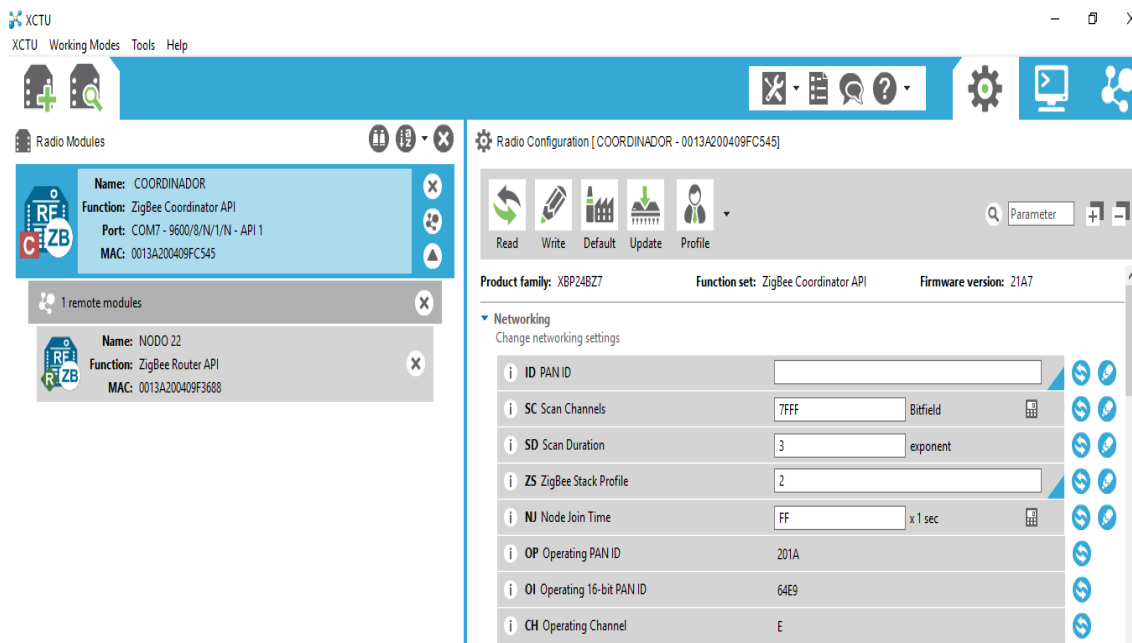


Figura 81. Revisión de ID PAN en cada router de la red

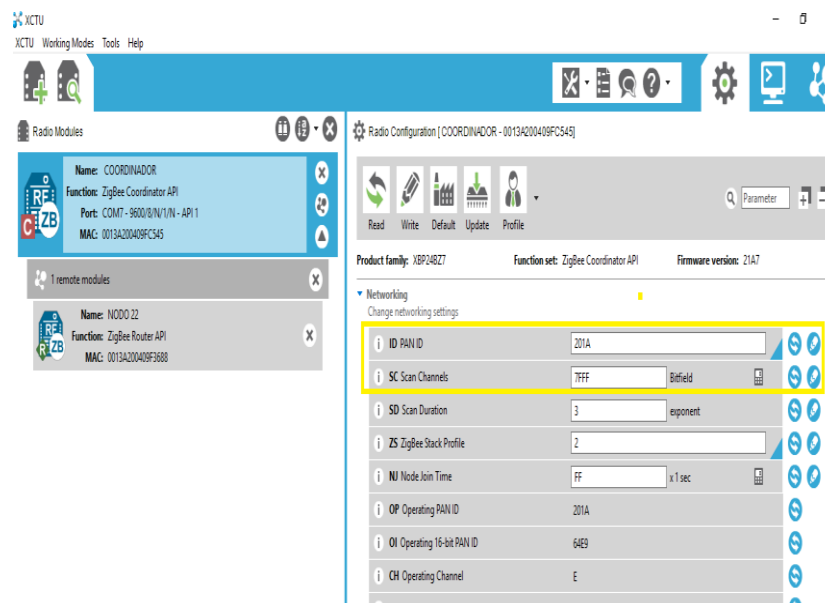


Figura 82. Configuración de Seguridades en cada módulo Zigbee

Al verificar cada dispositivo, se registra su configuración y en la red se guarda el canal 7FFF y el identificador PAN de mi red de sensores inalámbricos es 201A, de esta manera permite la conexión de mis dispositivos y que se bloqueen accesos externos.

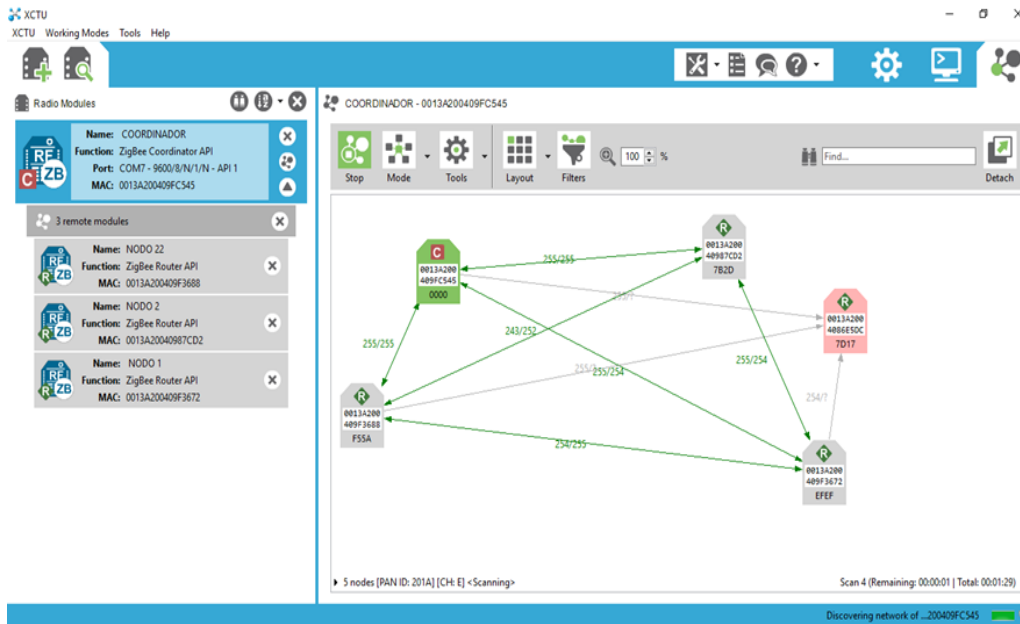


Figura 83. Simulaciones

3.2 Pruebas realizadas en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental

En el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de las Américas, perteneciente a la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias, ubicado en el Bloque 5 del Campus Query se realizan pruebas de conexión con dos equipos.

IBRID MX6

IBRID Mx6 es un equipo que nos permitió detectar los niveles de dióxido de carbono en la emisión a temperaturas nominales dentro del laboratorio. Antes se realizó la calibración del equipo.



Figura 84. Medición con el equipo IBIX



Figura 85. Calibración de Equipos en Laboratorio

Como se observa en las imágenes, el equipo marca 151 mg y lleva el 58% en su proceso de calibración.

Testo

El equipo Testo que se encuentra en el laboratorio nos permite realizar mediciones precisas de CO₂ precisas, la posibilidad de medir a largo plazo gracias al uso del valor máximo y cálculo del promedio. Contiene un sensor de infrarrojos. (<http://ww.testo.com>)



Figura 86. Equipo Testo en pruebas

Al revisar los datos encontrados en el equipo podemos definir los siguientes valores:

Tabla 13.

Comparación de resultados en las mediciones en relación a los equipos y los sensores calibrados

TABLA COMPARATIVA		
Sensor Gas	Equipo IBRID MX6	Equipo Testo
CO 374 ppm	40 ppm	1 ppm
CO2 20 ppm	0 ppm	0 ppm

MH4	320 ppm	0 ppm	0 ppm
O3	5 ppm	4,8 ppm	0 ppm

Podemos concluir que los sensores se encuentran calibrados al momento de la medición, al realizar pruebas en el laboratorio a temperatura ambiente se formaron valores exactos. Es necesario indicar que cada uno de los sensores tienen rango de medidas y los equipos que se usan son para emisión de gases, los sensores que se ocupan son para medir la calidad del aire.

Tabla 14.

Valores de medición de los gases

Sensor	Medida (partes por millón)
Sensor CO (monóxido de carbono)	350 – 400 ppm
Sensor CO ₂ (dióxido de carbono):	20 – 2000 ppm
Sensor MH4 (metano):	300-10000 ppm
Sensor O ₃ (ozono):	10-1000 ppm

Los valores medidos de los sensores de monóxido de carbono y dióxido de carbono los podemos determinar con los equipos antes vistos, dentro de las mediciones realizadas otro gas que se integra es el Oxígeno que se captó las medidas adicionalmente. Lo que no ocurre con los valores de ozono y metano, ya que no están presentes siempre en el ambiente, en estos casos se revisa la página (www.quitoambiente.gob.ec), perteneciente a la Secretaría de Ambiente, se elige la opción Red de Monitoreo Atmosférico.

Figura 87. Página de la Red de Monitoreo Atmosférico

Tomado de: (Secretaría de Ambiente, 2017)

Link	Description
Reporte Mensual Datos CO (mg/m3)	Reporte Mensual Datos CO (mg/m3)
Reporte Mensual Datos Horarios NO2 (ug/m3)	Reporte Mensual de Datos Horarios de Dioxido Nitrógeno NO2 (ug/m3)
Reporte Mensual Datos Horarios O3 (ug/m3)	Reporte Mensual de Datos Horarios de Ozono (ug/m3)
Reporte Mensual Datos Horarios PM10 (ug/m3)	Reporte Mensual de Datos Horarios de Partículas Menores 10 Micrómetros (ug/m3)

Figura 88. Página de la Red de Monitoreo Atmosférico

Adaptado de: (Secretaría de ambiente, 2017)

Seleccionamos la estación Belisario para el monitoreo del ozono ya que en esta zona se encuentra el parque Metropolitano “Guanguiltagua”, eje del presente proyecto. Se usa el Reporte Mensual de Datos Horarios PM 10 (ug/m3).

En las mediciones anteriores, el reporte del gas ozono viene en mg/m3, se procede a transformar la medida correspondiente 51,92 mg/m3 obtenida a las

14h00 del Viernes 19 de Mayo del presente año, a ppm para la comparación con el sensor del prototipo con personal del laboratorio de Ingeniería Ambiental.

Fórmula PV = nRT en donde:

P= Presión Absoluta (atmósferas)

v= Volumen (litros)

n= moles de gas ozono

R= constante

T= temperatura absoluta

$$\frac{51,92 \times 10^{-6} \text{ g}}{48 \text{ g/mol}} \cdot 0,082 \frac{\text{at.l}}{\text{mol.Pe}} \cdot 298 \text{ g/mol}$$

$$V = \frac{\quad}{1 \text{ atm}}$$

$$V = \text{l/m}^3$$

$$V = 2,64 \times 10^{-5} \text{ l/m}^3 \text{ ppm}$$

En la medición del sensor de ozono, mantenemos 25 ppm y en el monitoreo de la Red de Monitoreo Ambiental hay 26 ppm, lo que muestra que las medidas son exactas.

Tabla 15.

Mediciones de gas ozono (O3) en el mes de mayo de 2017

Current Date: 24/05/2017 22:52		Monthly Report														Avg Interval: 1 hour		Units: ug/m3 001		Method:							
Site Name: Belisario		May 2017																									
Parameter: OZONO_ug 44201		Hours																									
Day	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total General		
																									Max	Avg	RDS
01	16.21	13.55	16.37	17.02	16.80	14.84	9.09	8.32	12.04	21.57	35.52	48.57	47.87	49.25	24.39	18.75	27.39	24.48	13.82	5.85	1.99	3.91	2.32	1.15	49.25	18.78	24
02		.93	1.80	2.39	2.74	3.05	6.52	7.80	10.78	22.02	28.38	34.81	37.38	38.10	37.31	29.95	26.30	12.78	5.29	1.51	1.10	2.16	1.92	5.00	38.10	13.91	23
03	6.51	7.03	8.58	9.18	12.91	4.89	2.06	5.12	10.22	16.73	27.53	43.14	45.38	51.41	44.11	36.62	24.85	10.33	1.40	1.45	.95	.97	.93	1.01	51.41	15.54	24
04		5.42	16.64	22.43	14.73	13.21	4.81	4.32	9.80	15.20	31.05	43.62	49.82	44.40	33.47	31.41	20.38	6.35	2.15	4.02	3.39	9.14	15.27	8.09	49.82	17.74	23
05	7.83	9.85	11.06	3.23	13.57	3.22	1.80	4.11	8.35	15.91	26.80	29.79	28.72	23.70	21.26	12.54	10.43	3.71	1.24	2.11	2.20	1.07	1.71	9.45	29.79	10.56	24
06		9.77	9.85	11.08	12.17	9.28	8.48	8.80	12.60	11.89	23.66	26.94	32.05	30.30	26.34	20.67	13.03	8.84	1.98	1.28	2.00	7.24	7.24	4.45	32.05	13.05	23
07	9.71	11.81	11.55	6.84	13.41	13.30	5.82	8.68	13.12	14.49	25.91	37.00	48.88	39.09	30.87	27.08	14.80	9.65	2.10	1.71	1.24	3.93	2.97	9.84	48.88	15.15	24
08		15.96	17.73	16.69	18.02	9.88	3.29	2.66	3.00	4.20	5.91	8.59	11.81	13.34	9.57	6.46	5.07	2.90	1.28	1.14	.88	.92	.97	4.19	19.69	7.27	23
09	1.00	1.88	6.56	7.03	8.01	4.36	3.31	4.79	9.16	8.61	12.35	16.93	31.09	28.44	24.81	21.49	10.78	5.39	2.23	1.00	.97	1.45	1.23	1.84	31.09	8.93	24
10		6.20	10.07	10.85	11.32	7.95	2.64	2.20	2.84	4.10	3.99	4.81	4.57	10.18	17.27	31.61	17.99	4.65	1.27	1.02	1.15	1.02	1.11	2.52	31.61	7.01	23
11	5.05	6.19	13.41	14.21	12.42	10.44	4.71	2.62	2.89	3.85	7.82	18.75	23.50	34.67	34.67	22.33	12.70	3.76	7.34	1.46	1.52	1.23	.85	1.05	34.67	10.31	24
12		4.76	6.99	4.03	6.54	5.97	2.99	3.48	5.52	14.36	20.80	24.34	38.19	33.64	16.63	6.45	3.07	1.84	2.15	1.73	1.84	2.26	1.59	2.56	38.19	9.07	23
13	2.50	5.42	4.71	8.61	6.01	9.38	5.89	7.03	9.70	17.10	20.38	26.33	31.13	30.08	18.38	10.38	3.33	8.00	5.92	1.38	1.18	.94	.97	1.20	31.13	9.95	24
14		1.28	1.21	1.14	2.72	1.68	1.42	2.59	3.79	7.57	19.98	35.18	34.37	32.65	30.11	26.07	23.84	16.78	7.74	1.51	1.65	.96	1.11	1.03	35.18	11.14	23
15	1.10	1.02	1.07	1.00	1.00	1.99	1.88	3.25	5.90	13.44	21.91	19.95	25.56	12.97	7.67	4.85		1.89	1.36	1.28	1.01	.78	1.02	.89	25.56	5.75	23
16		2.83	3.57	4.27	1.27	1.13	1.85	3.37	6.34	11.63	25.88	40.69	47.83	52.80	32.65	15.67	6.01	7.15	2.24	1.72	1.18	1.04	.93	.80	52.80	11.86	23
17	1.05	1.38	1.30	1.96	2.03	1.25	1.80	3.56	7.71	13.84	32.48	56.04	62.54	50.85	34.82	11.10	7.37	3.14	1.35	1.77	1.06	1.14	1.14	1.10	62.54	12.67	24
18		1.15	.99	.99	.84	.89	1.34	4.04	4.82	9.10	9.57	15.06	39.66	54.10	60.84	48.80	28.90	25.36	4.95	.97	1.28	1.51	1.17	.96	60.84	13.78	23
19	2.88	1.35	2.02	2.11	2.05	1.17	2.44	4.53	10.70	25.87	40.00	43.04	48.92	55.88	51.92			26.83	3.65	1.30	1.21	.90	.97	1.37	55.88	15.02	22
20		1.15	.98	1.00	1.05	.99	1.96	5.83	14.66	25.03	32.07	28.97	43.25	48.29	42.55	32.71	34.43	25.04	10.40	10.61	9.96	6.12	4.90	1.22	48.29	16.66	23
21	1.92	1.59	1.00	7.49	13.21	5.83	6.00	6.75	19.77	27.81	37.35	50.76	53.18	44.85	38.96	41.31	33.66	22.11	6.78	2.97	6.62	2.90	6.78	12.62	53.18	18.95	24
22		25.68	20.48	12.68	8.35	5.25	2.08	4.57	6.17	17.79	31.25	44.56	48.10	48.24	42.02	28.78	17.37	14.63	3.73	2.01	1.38	.96	3.30	1.36	48.24	17.11	23
23	1.88	2.20	2.44	2.03	1.10	1.35	2.20	4.29	8.29	23.90	29.72	34.72	33.88	34.13	27.82	23.85	21.48	11.45	2.19	2.00	1.40	1.78	3.76	7.00	34.72	11.84	24
24		17.49	7.14	2.58	1.79	1.72	1.81	4.11	10.39	23.18	23.56	31.64	37.84	36.47	39.39	30.07	22.31	11.06	8.46	5.46	4.96	4.14		39.39	15.40	21	
Max	16.21	25.68	20.48	22.43	18.02	14.84	9.09	9.75	19.77	27.81	40.00	56.04	62.54	55.88	60.84	48.80	34.43	26.83	13.82	10.61	9.96	9.14	15.27	12.62	62.54		
Avg	4.75	6.49	7.35	7.24	7.75	5.53	3.57	4.99	8.81	15.36	23.89	31.96	37.72	37.40	31.08	23.38	17.51	11.16	4.11	2.38	2.17	2.43	2.78	3.60		12.81	

Adaptado de: (Secretaría de Ambiente, 2017)

Entrevista realizada a la Dra. Rasa Zalakeviliute, experta en Metrología en Contaminación Ambiental de la Dirección de Investigación, ubicación de la Oficina Bloque 8 Planta Baja Campus Query Universidad de las Américas.

Dentro de la presente investigación, se consulta a una especialista en gestión ambiental, la misma que nos presenta información relevante para nuestro proyecto.

En los procesos de contaminación, existen contaminantes orgánicos volátiles, como ejemplos tenemos asbesto, monóxido, formándose como precursores de contaminantes regulados para la industria, tóxicos peligrosos y distribuidos en el aire.

En el Ambiente hallamos gases de Efecto Invernadero como el metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), otros como N₂O que no son regulados.

Otra clasificación es la de contaminantes con criterios críticos, que tienen como característica dañar la salud como el ozono (O₃), SO₂ y NO₂. En los Estados Unidos encontramos también el plomo en este grupo. Los gases formados por benzenos son regulados ya que tienen material particulado, micropartículas y uno de los que se forman es C₆H₆ Pb.

Una fórmula para determinar la concentración del ozono es:

$$\frac{70 \text{ O}_3}{1000000000} = 10^{12} = 10^9 \text{ aire}$$

El ozono es dañino si sobrepasa 70 partes por billón. La concentración del ozono es elevada en la mañana y disminuye según avanza el día.

Entidad de regulación del Ministerio de Ambiente

Dentro de la entidad pública existe la Red de Monitoreo de Calidad de Aire, compuesta de 9 estaciones, en la que nos permite encontrar valiosa información de la composición de los gases, y donde estarán escalados por todos los días del mes y las 24 horas del día. En el capítulo 3 se procede a realizar comparaciones de las mediciones asignadas por el prototipo y las monitoreadas.

Combustión

La combustión depende directamente de la temperatura. Podemos mantener combustión alta la cuál puede ser completa e incompleta. Una característica importante del fuego es que se puede definir ciertas características por el color y la eficiencia de combustión.

3.2.1 Pruebas realizadas en campo abierto

Las pruebas que se ejecutaron son para analizar el funcionamiento del prototipo en un incendio real, se queman hojas de papel y secas. Se realiza el almacenamiento de gas doméstico en una botella, el mismo que es medido alertando en el software Sistema de Alertas de Incendios cambiando su color de verde a rojo. Estos datos también fueron almacenados en la base de datos.

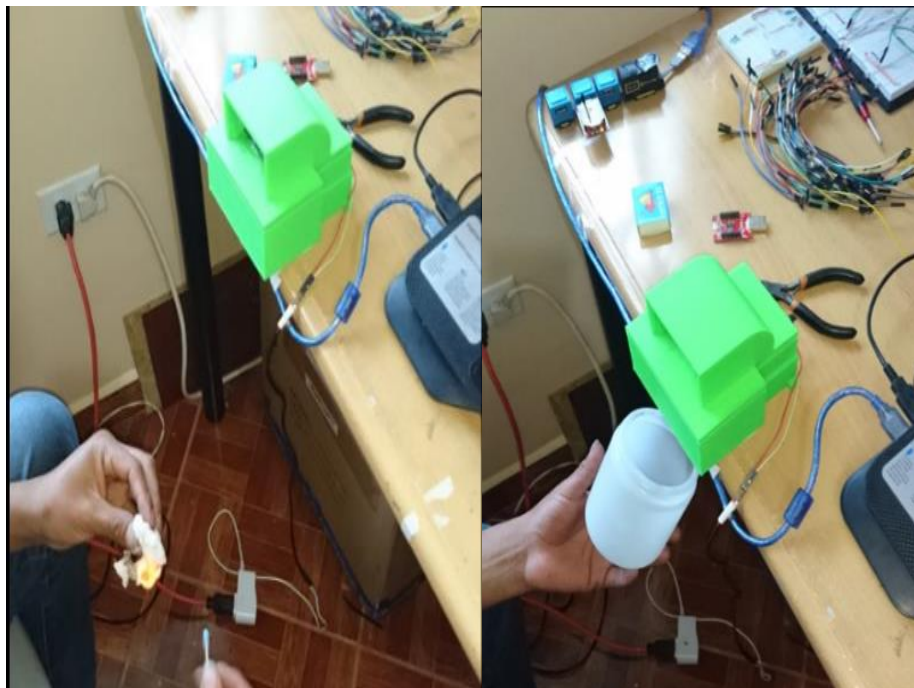


Figura 89. Pruebas con gas y quema de elementos para combustión

Luego de realizar estos procedimientos, se procedió a capturar las medidas y la alerta generada por la interfaz gráfica.

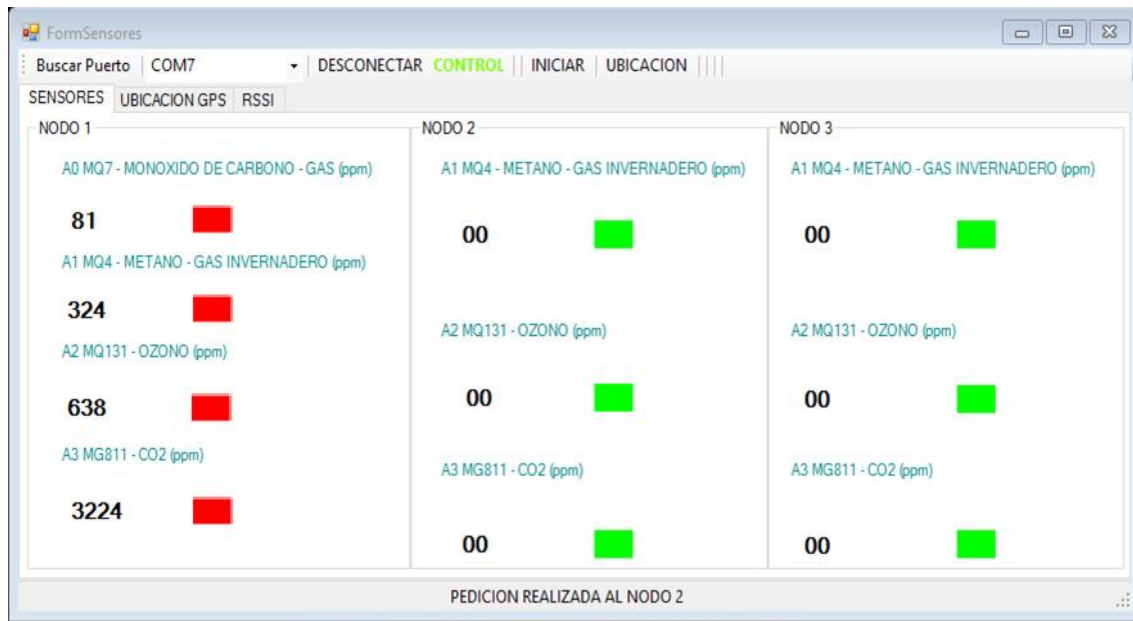


Figura 90. Nodo generando alerta de incendio

Como se observa en la figura, los valores desplegados se encuentran alarmados por la alerta iniciada.

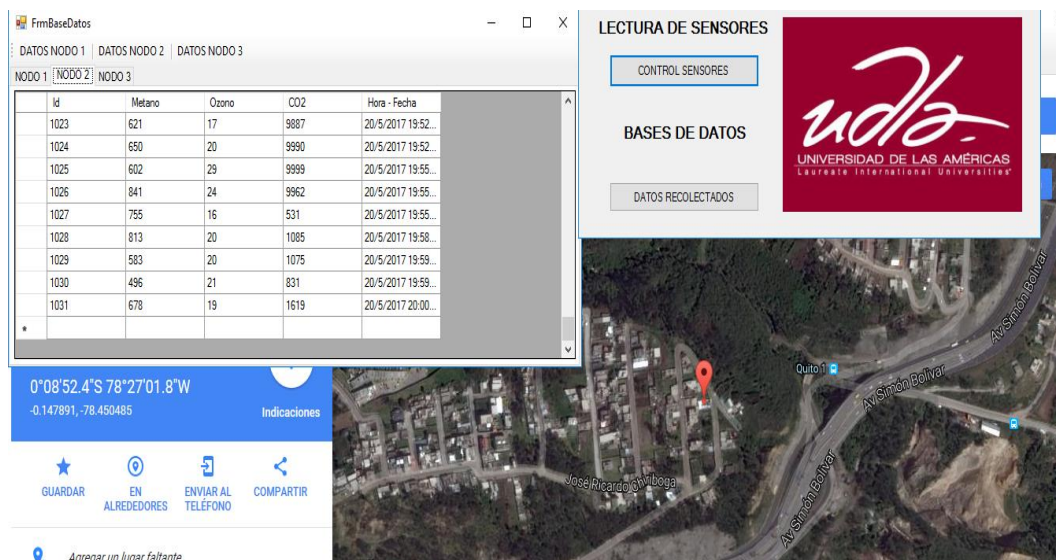


Figura 91 Almacenamiento de mediciones, módulo GPS desplegado e interfaz

3.2.2. Pruebas de la red tipo Mesh

Las pruebas realizadas permiten mostrar que el coordinador al comunicarse con el nodo principal y los dos nodos secundarios cumplen su funcionalidad de trabajar

en red tipo malla, ya que al caerse uno de los nodos seguía comunicándose por medio del siguiente y mantenía la transmisión de la red.

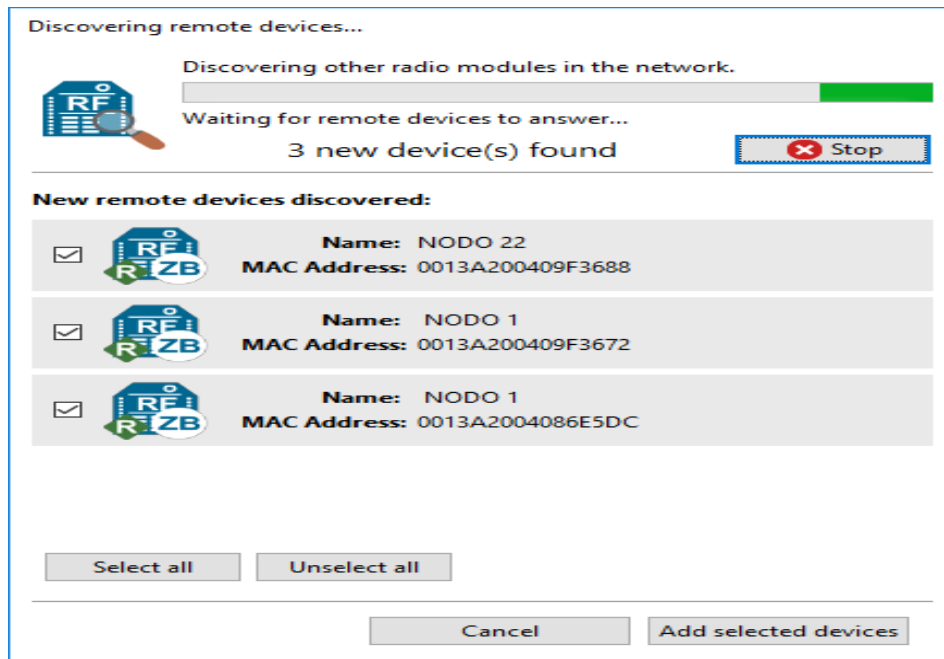


Figura 92. Búsqueda de nodo principal y secundarios desde coordinador

En el siguiente gráfico mostramos la red establecida por los nodos principal y secundarios, desde el software XCTU.

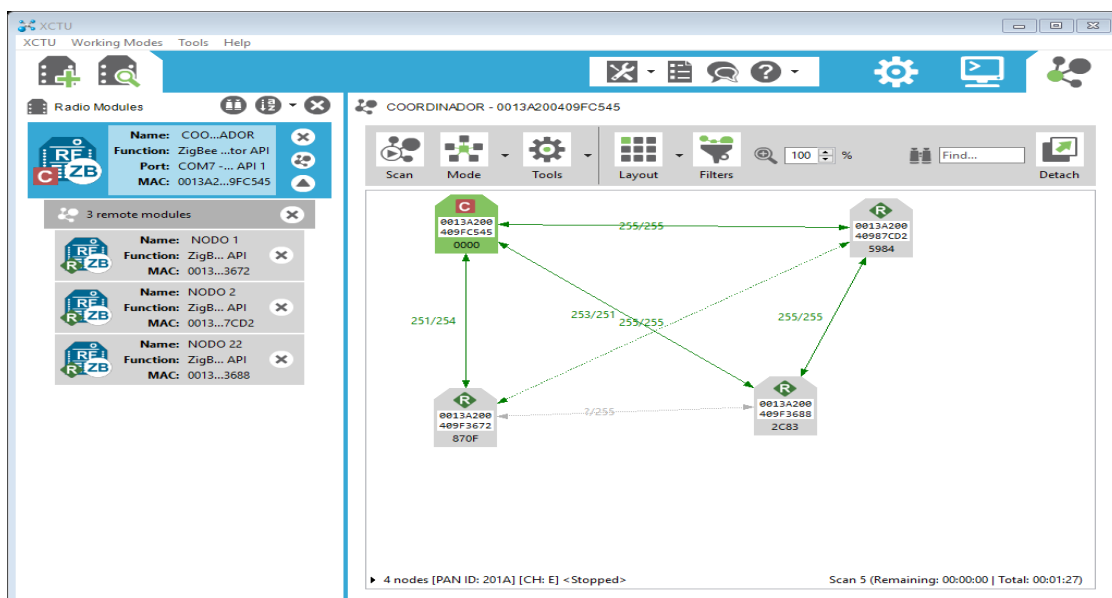


Figura 93 Establecimiento de la red y su ubicación

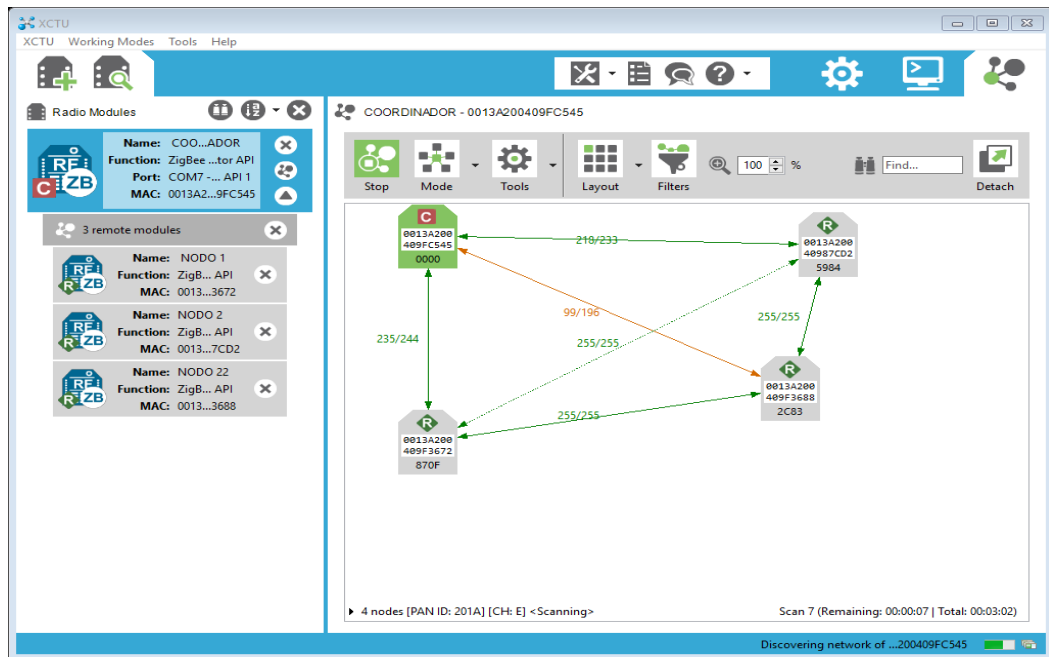


Figura 94. Nodo Secundario 22 conectado en malla

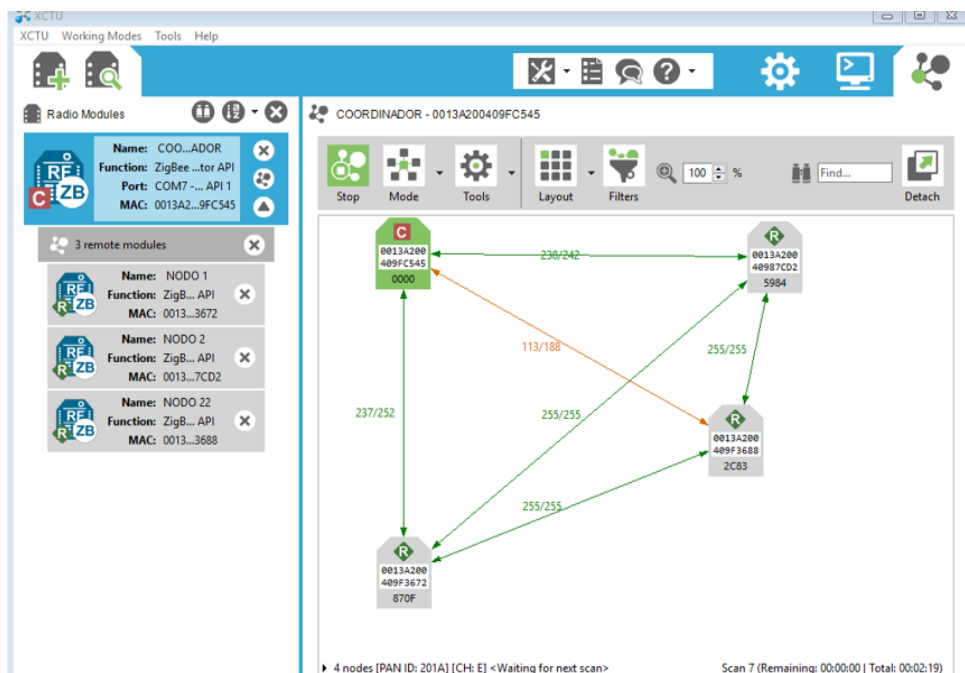


Figura 95. Topología Mesh en sensores WSN y niveles de potencia

En la imagen se muestra los niveles de potencia a los que se puede trabajar, la red establece que para funcionar debemos estar desde en la escala de 130 a 250.

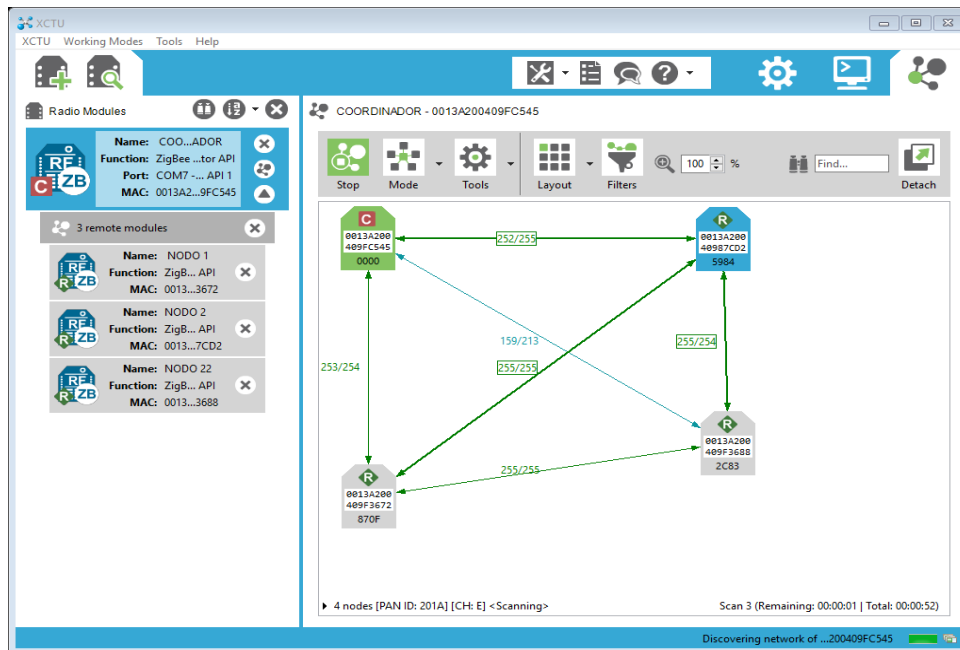


Figura 96. Red WSN tipo Mesh en funcionamiento

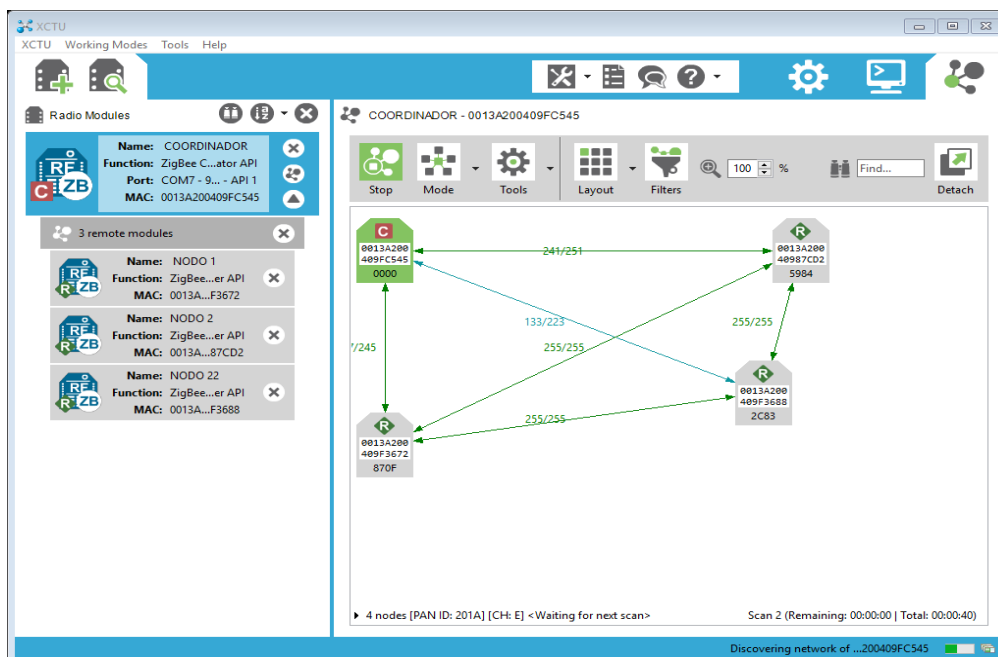


Figura 97. Red WSN sin caídas ni pérdida de potencia

La red se encuentra conectada según la intensidad de los colores de la malla, se aprecia que la intensidad verde es la conectada directamente, la café es la señal de que la red está en la topología indicada, pero hay la caída de algún nodo y azul es con la potencia media.

3.2.3 Pruebas en segmento RSSI

El segmento RSSI se realizó ubicando a los nodos en diferentes posiciones, y con diferentes rangos de distancia en referencia al coordinador.



Figura 98. Elementos de la Red ejecutando pruebas

En la imagen, se realizan pruebas con distancias de los nodos principal tomándolo como referencia y secundarios a 7, 20 y 30 metros, nos muestra la constante y la distancia aproximada, como se observa hay una variación de 5 metros que es aceptable entre medidas.

The screenshot shows the 'FormSensores' application window. The 'RSSI' tab is active, displaying a table of test results. The table has two columns: 'LECTURA RSSI' and 'DISTANCIA APROXIMADA (m)'. The data is as follows:

LECTURA RSSI		DISTANCIA APROXIMADA (m)	
DETERMINAR CONSTANTE			
<input type="checkbox"/> Medida 1	49	Distancia	20
<input checked="" type="checkbox"/> Medida 2	74	Distancia	30
<input type="checkbox"/> Medida 3	00	Distancia	7
RSSI NODO 1 -74 dB 00 RSSI NODO 2 -73 dB 00 RSSI NODO 3 -57 dB 00			
Valor Constante 00			

At the bottom of the window, a status bar indicates: 'PEDICION REALIZADA AL NODO 2'.

Figura 99. Elementos de la Red ejecutando pruebas distancias 1

En la imagen, se realizan pruebas con distancias de los nodos principal tomándolo como referencia y secundarios a 20, 30 y 40 metros, nos muestra la constante y la distancia aproximada, como se observa hay una variación de 5 metros que es aceptable entre medidas.

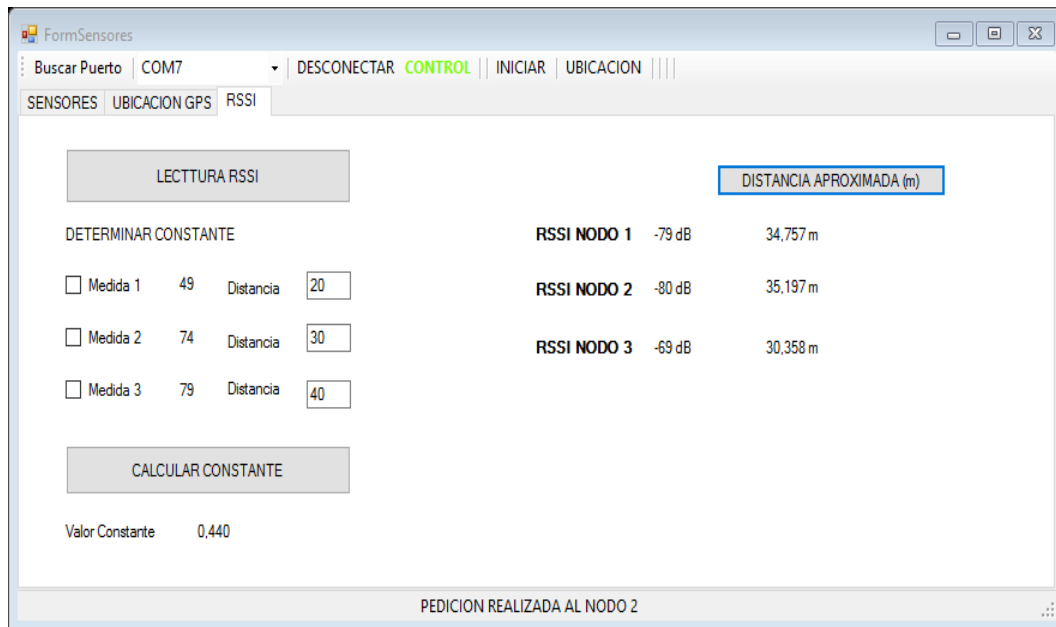


Figura 100. Elementos de la Red ejecutando pruebas distancias 2

En la imagen, se realizan pruebas con distancias de los nodos principal tomándolo como referencia y secundarios a 30, 40 y 50 metros, nos muestra la constante y la distancia aproximada, como se observa hay una variación de 5 metros que es aceptable entre medidas.

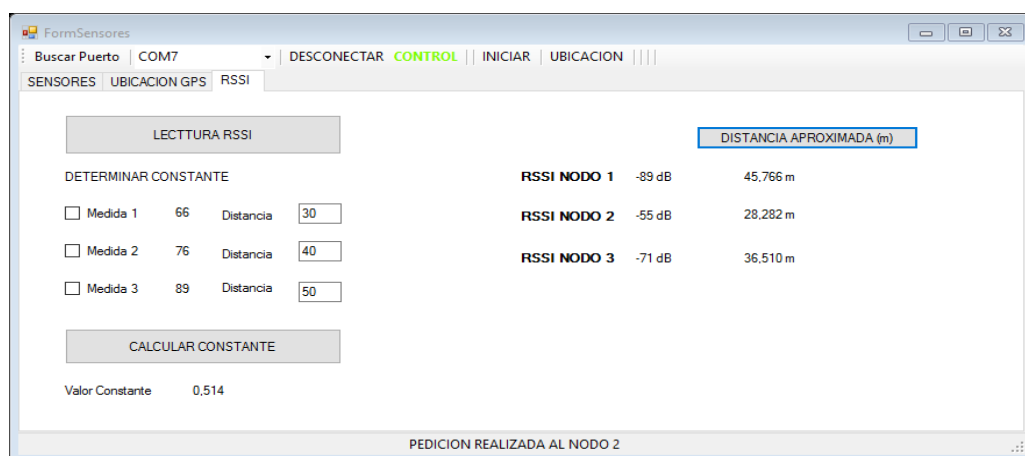


Figura 101 Elementos de la Red ejecutando pruebas distancias 3

Al realizar las pruebas en diferentes distancias se visualizan resultados de las mediciones y monitoreo por los nodos, los cuáles para demostración se encontraban variando sus medidas sin calibración.



Figura 102. Pruebas de Nodos

Al realizar las mediciones se verifican que los sensores detectan gases en el sector a distancias cercanas, se guardan en la base de datos durante el monitoreo de cuarenta minutos que se realizaron.

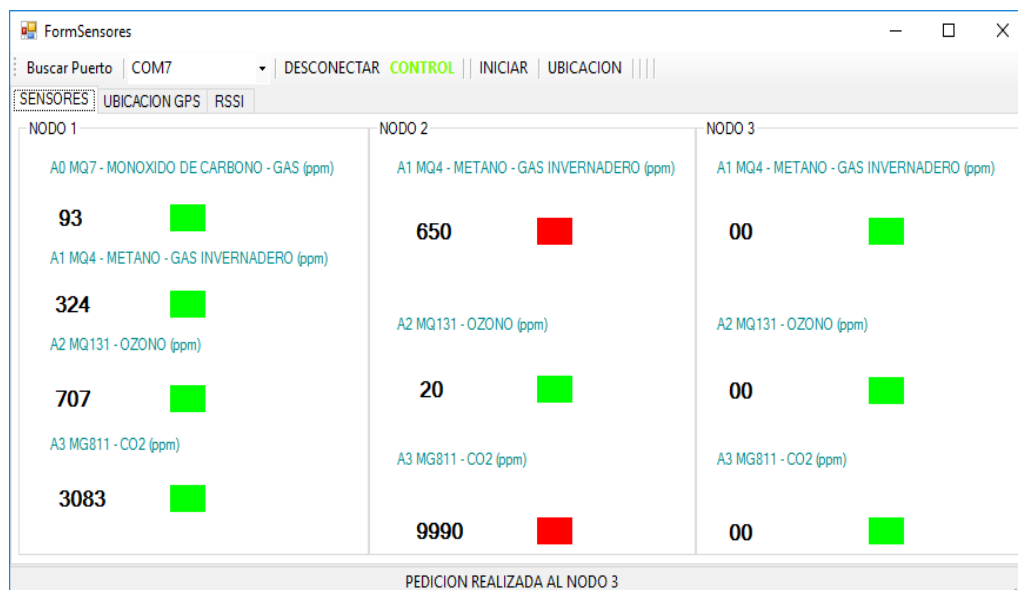


Figura 103. Monitoreo y captura de gases

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

4.1 Costos Materiales:

Tabla 16.

Elementos del Proyecto

COMPONENTES ELECTRÓNICOS			
Elementos	Cantidad	Costo Unitario USD	Costo Total
Arduino Pro	2	10	20
Xbee Pro S2	3	71	213
Xbee Arduino Shield	3	14	28
Xbee Explorer USB	1	15	15
Andoer Neo6m- Gps Module Antenna	1	27	27
ZZTDM 2 Pcs 18650 3.7V-4.2 V 5000 MAH	6	3.5	21
Mini Pro	1	5	5
Sensor CO	1	9	9
Sensor CO2	2	70	140
Sensor Metano	2	10	20
Sensor Ozono	2	40	80
Baquelita	2	3	6
Funda de Ácido	3	1	3
Papel Transfer Negro	2	0,5	1
Regulador	2	1	1
Capacitores Electrolíticos	3	15	0,45
Resistencias	2	0,5	1
Bornera	2	1	2
Caja en 3D	1	40	40
		TOTAL	\$632,45

Entre los elementos, hubo algunos que se importaron de Estados Unidos, principalmente los módulos Zigbee y los sensores, que se esperaron alrededor de un mes.

4.2 Costo del Diseño:

Tiempo de desarrollo de diseño: 1,5 meses

Trabajo diario: 5 horas

Costo por hora: 8 dólares.

Costo por día = $5 \times 8 = 40$ dólares

Total costo diseño = 40 días x 40 dólares = 1600 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: 6 horas

Por día $6 \times 8 = 48$ dólares diarios.

Total = 48 dólares x 10 días = 480 dólares.

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

Costo Materiales = \$632,45

Costo Diseño = \$1600.00

Total Programación = \$480.00

Total Costo = \$2712.45

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Luego de realizar la construcción, configuración, programación, desarrollo de la interfaz gráfica en los diferentes entornos y las pruebas correspondientes, se puede validar que el prototipo funciona a la capacidad requerida, en un rango del 80 al 100% de precisión, en cualquier clima y ambiente (lluvia, sol, neblina), en donde fue probado, sin que esto afecte su funcionamiento. Los objetivos planteados son cumplidos a cabalidad.

El prototipo construido nos permite conocer cada valor con exactitud, esto se fundamenta en el rango de mediciones realizadas cuando se efectuó pruebas con los equipos calibrados Testo e Ibrid MX6 en el que la variación es reducida. Estas medidas determinan que el prototipo sirve para funcionar en cualquier condición y permiten valores precisos en caso de un incendio.

En comparación a otros prototipos, se optimiza espacios en la PCB (printed circuit board), se incluye un tipo de cámara para almacenamiento de los gases y mejoramiento del sistema de medición.

En el sistema desarrollado se considera al elemento ozono como parte fundamental en una combustión, por lo que se considera para la implementación, se encuentra dentro de la combustión incompleta o completa y se puede hallar en mínimas o grandes cantidades al evaluarlo. El prototipo realizado al encontrarse en modo API nos permite expandir la zona de cobertura de detección y monitoreo. Al estar formado de dos nodos secundarios y uno principal, se forma la red tipo mesh que nos permite mantener la seguridad de la red y respaldar la comunicación entre nodo y nodo, si surge alguna caída del prototipo.

Al realizar la conexión entre las partes, esta se basa en la lectura de los pines analógicos para detectar cada elemento, en el caso de los sensores se lo utiliza para la calibración y la capacidad de lectura sensorial, mientras que los pines

digitales se pueden usar para generar pulsos. Al realizar la programación sobre la trama, el tamaño de la misma viene definida para enviar 4 caracteres desde 0 a 1023, este rango se determina a la llegada, cuyos caracteres muestran el inicio y el fin y permitir conocer si la trama llega a su destino.

El indicador de señal recibida (RSSI) nos permitió localizar la ubicación de los nodos y la potencia directamente en el software XCTU y la interfaz gráfica.

La interfaz gráfica, y la base de datos, son herramientas que permiten que la información de los nodos y sensores sean analizados, almacenados, modificados, expandidos y controlados. El monitoreo y la detección es inmediata al activarse cualquier efecto anormal en el medio.

La solución tecnológica mostrada en este proyecto es muy útil para el Distrito Metropolitano de Quito, el benemérito Cuerpo de Bomberos de la Ciudad y actualmente para el ECU 911, como entes de seguridad y control de los incendios forestales. Cada año, principalmente en el verano los incendios causan todo tipo de daños sin que hasta el momento haya un dispositivo capaz de detectar o alertar directamente a los organismos de socorro.

5.2 Recomendaciones

En el indicador de la señal recibida (RSSI), si se emplea un estudio mucho más complejo y profundo sobre la relación de la potencia y factores externos como la humedad, la altura, el tipo de suelo, etc. en el diseño se podría mejorar la amplitud y aprovechar esta característica en todos los nodos de la red.

A nivel de la batería, es recomendable que se implemente una batería de 12 volts 5000 miliamperios, ya que la de 3,7 volts permite la conexión en los nodos de alrededor de una hora y se va descargando, sobre todo en el nodo principal que está formado del módulo GPS y los cuatro sensores que forman el proyecto. En el prototipo también se implementa la conexión de energía eléctrica a un adaptador o fuente de 110 volts, para que se conecte directamente en sitios cerrados, dependiendo de las características del sitio.

La caja en 3D, es de material plástico y permanece generalmente en la intemperie. Este aspecto se puede mejorar si usamos material acrílico y sellado herméticamente.

Dependiendo de la aplicación, se deben elegir los módulos Zigbee para su configuración, en este caso se requiere PROS2B para una distancia Indoor de hasta 90 metros y línea de vista de hasta 3,2 kms. Si se requiere mayores alcances se implementan con otros, estos dependen de la velocidad de transmisión, uno es el Zigbee3B.

REFERENCIAS

- Arellano, A. Ávila, D. Erazo, J. y Hervas, C. (2014). Evaluación de una red de Sensores Inalámbrica para detección de Incendios Forestales. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH).
- Anónimo. (2009). *DIGI INTERNATIONAL, EEUU., XBee/XBee-PRO RF Modules, Product Manual v1.xEx - 802.15.4 Protocol*. Minnesota: Digital ed.
- Conferencias_wsn (s.f.). Recuperado el 11 de Junio de 2017 de: <http://www.mfbarcell.es/conferencias/wsn.pdf>
- Días, M. (2006). *Wireless Sensor Network*. Recuperado el 20 de Enero de 2015, de http://arcos.inf.uc3m.es/~sescolar/index_files/presentacion/wsn.pdf
- DIGI, (2017). *Received signal strength indicator (RSSI)*. Recuperado el 20 de mayo de 2017 de <http://docs.digi.com/pages/viewpage.actio?pagelId = 2626044>
- Duarte, A. (2010). Arduino y Xbee. Recuperado el 25 de Mayo de 2017, de <http://www.andresduarte.com/arduino-y-xbee>.
- El Telégrafo, (2016), Reducción de incendios forestales en Quito, Ecuador, Quito Recuperado el 16 de Junio de 2017 de http://ecuadorinmediato.com/index.php?module=Noticias&func=wap_news_view&id=2818807504
- Erazo, J. y Hervas, C. (2014) “Sistema de detección de incendios forestales mediante redes sensoriales inalámbricas (Zigbee)”. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Escolar, M. (2006). *Wireless sensor network*. Recuperado el 30 de Marzo de 2016, de: http://www.arcos.inf.uc3m.es/~sescolar/index_files/presentacion/wsn.pdf.
- García, A (2015) ¿Qué es arduino y para qué se utiliza? Recuperado de: <http://panamahitek.com/que-es-arduino-y-para-que-se-utiliza/>

- Galindo, G. (2014). Los incendios forestales en Ecuador. Ministerio del Ambiente, Dirección Nacional Forestal. Quito: Ministerio del Ambiente.
- Glen, M., & Moreno, J. (2016). *ZIGBEE*. Recuperado el 28 de Abril de 2016, de <https://sx-de-tx.wikispaces.com/ZIGBEE>
- González, J. (2007). Obtenido de El lenguaje de programación: <http://dis.um.es/~bmoros/privado/bibliografia/LibroCsharp.pdf>
- Kahn, J. (1999). *Next Century Challenges: Mobile Networking*. Manhattan: Smart Dust.
- Mecn, (2010) Áreas Naturales del Distrito Metropolitano de Quito: Diagnóstico Bioecológico y Socioambiental. Reporte Técnico, N° 1. Serie de Publicaciones del Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales (1 a. ed). Quito-Ecuador, Imprenta Nuevo Arte
- Ministerio de Agricultura (2015), *Combate*, detección de incendios forestales, Chile. Recuperado de <http://www.conaf.cl/incendios-forestales/combate-de-incendios-forestales/deteccion-de-incendios-forestales/>
- Networks, W. S. (2004). Introducción a las redes de sensores inalámbricas. Recuperado el 17 de Marzo de 2016, de <http://www.mfbarcell.es/es/conferencias/wsn.pdf>
- Ublock. (2015). *Modules Data Sheet*. Recuperado el 16 de Mayo de 2017, de http://botscience.net/store/index.php?route=product/product&product_id=73
- Weissberguer, M. (1981). *An initial critical summary of models for predicting the attenuation of radio waves by foliage, ESD-TR-81-101*. Annapolis: Electromagnetic Compatibility Analysis Center.
- Zigbee, (2017). *XBee & XBee – Pro*. Recuperado el 10 de Julio de 2017 de https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/ds_xbeezbmodules.pdf

ANEXOS

TECHNICAL DATA**MQ-7 GAS SENSOR****FEATURES**

- * High sensitivity to carbon monoxide
- * Stable and long life

APPLICATION

They are used in gas detecting equipment for carbon monoxide(CO) in family and industry or car.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remark
Vc	circuit voltage	5V ± 0.1	Ac or Dc
VH (H)	Heating voltage (high)	5V ± 0.1	Ac or Dc
VH (L)	Heating voltage (low)	1.4V ± 0.1	Ac or Dc
RL	Load resistance	Can adjust	
RH	Heating resistance	33 Ω ± 5%	Room temperature
TH (H)	Heating time (high)	60 ± 1 seconds	
TH (L)	Heating time (low)	90 ± 1 seconds	
PH	Heating consumption	About 350mW	

b. Environment conditions

Symbol	Parameters	Technical conditions	Remark
Tao	Using temperature	-20°C-50°C	
Tas	Storage temperature	-20°C-50°C	Advice using scope
RH	Relative humidity	Less than 95%RH	
O ₂	Oxygen concentration	21%(stand condition) the oxygen concentration can affect the sensitivity characteristic	Minimum value is over 2%

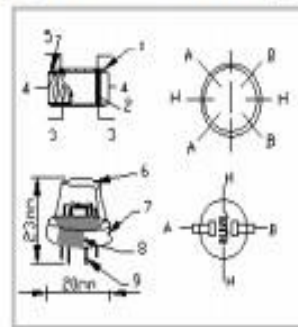
c. Sensitivity characteristic

symbol	Parameters	Technical parameters	Remark
Rs	Surface resistance Of sensitive body	2-20k	In 100ppm Carbon Monoxide
α (300/100ppm)	Concentration slope rate	Less than 0.5	Rs (300ppm)/Rs(100ppm)
Standard working condition	Temperature -20°C ± 2°C Vc:5V ± 0.1V VH:5V ± 0.1V VH:1.4V ± 0.1V	relative humidity 65% ± 5%	RL:10K Ω ± 5%
Preheat time	No less than 48 hours	Detecting range: 20ppm-2000ppm carbon monoxide	

D. Structure and configuration, basic measuring circuit

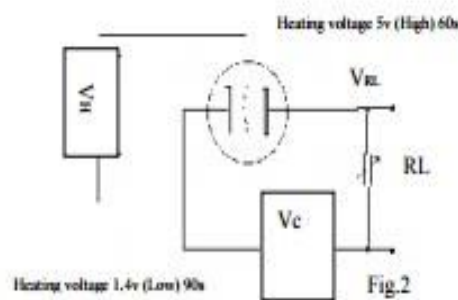
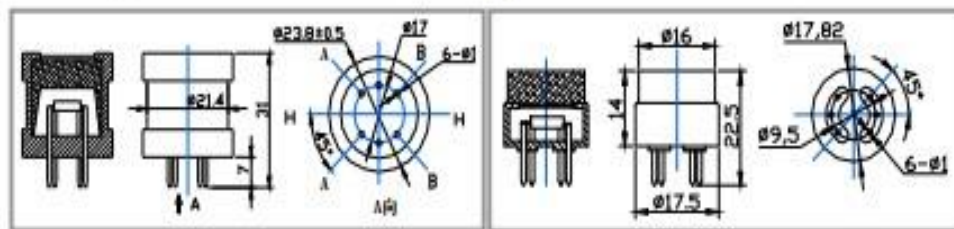
Structure and configuration of MQ-7 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro AL₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-7 have

6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.



Parts	Materials
1 Gas sensing layer	SnO ₂
2 Electrode	Au
3 Electrode line	Pt
4 Heater coil	Ni-Cr alloy
5 Tubular ceramic	Al ₂ O ₃
6 Anti-explosion network	Stainless steel gauze (SUS316 100-mesh)
7 Clamp ring	Copper plating Ni
8 Resin base	Bakelite
9 Tube Pin	Copper plating Ni

Fig.1



Standard circuit:

As shown in Fig 2, standard measuring circuit of MQ-7 sensitive components consists of 2 parts. one is heating circuit having time control function (the high voltage and the low voltage work circularly). The second is the signal output circuit, it can accurately respond changes of surface resistance of the sensor.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

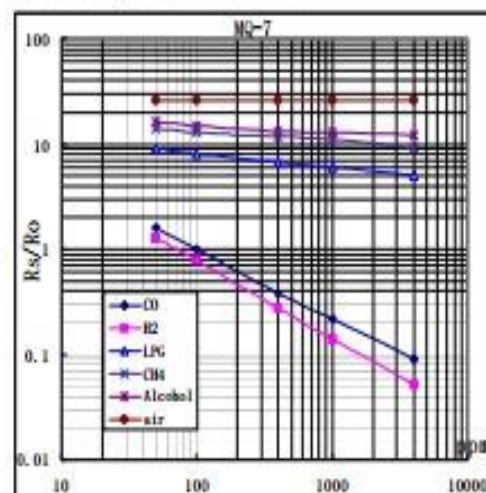


Fig.3 sensitivity characteristics of the MQ-7

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-7 for several gases.

in their: Temp: 20°C ,
Humidity: 65% ,
O₂ concentration 21%
RL=10k Ω

Ro: sensor resistance at 100ppm CO in the clean air.

Rs: sensor resistance at various concentrations of gases.

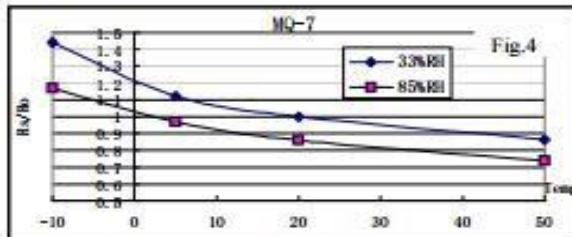


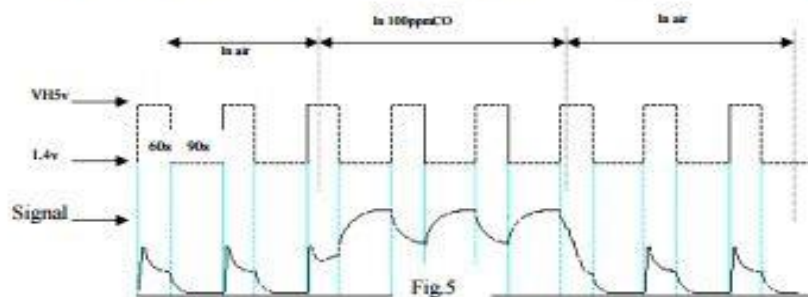
Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-7 on temperature and humidity.
 R_0 : sensor resistance at 100ppm CO in air at 33%RH and 20degree.
 R_s : sensor resistance at 100ppm CO at different temperatures and humidities.

OPERATION PRINCIPLE

The surface resistance of the sensor R_s is obtained through effected voltage signal output of the load resistance R_L which series-wound. The relationship between them is described:

$$R_s R_L = (V_c - V_{RL}) / V_{RL}$$

Fig. 5 shows alterable situation of R_L signal output measured by using Fig. 2 circuit output



signal when the sensor is shifted from clean air to carbon monoxide (CO), output signal measurement is made within one or two complete heating period (2.5 minute from high voltage to low voltage).

Sensitive layer of MQ-7 gas sensitive components is made of SnO_2 with stability, So, it has excellent long term stability. Its service life can reach 5 years under using condition.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-7 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 200ppm CO in air and use value of Load resistance that(R_L) about 10 K Ω (5K Ω to 47 K Ω).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence. The sensitivity adjusting program:

- Connect the sensor to the application circuit.
- Turn on the power, keep preheating through electricity over 48 hours.
- Adjust the load resistance R_L until you get a signal value which is respond to a certain carbon monoxide concentration at the end point of 90 seconds.
- Adjust the another load resistance R_L until you get a signal value which is respond to a CO concentration at the end point of 60 seconds.

[Supplying special IC solutions, More detailed technical information, please contact us.](#)

TECHNICAL DATA

MQ-4 GAS SENSOR

FEATURES

- * High sensitivity to CH₄, Natural gas.
- * Small sensitivity to alcohol, smoke.
- * Fast response .
- * Stable and long life
- * Simple drive circuit

APPLICATION

They are used in gas leakage detecting equipments in family and industry, are suitable for detecting of CH₄, Natural gas, LNG, avoid the noise of alcohol and cooking fumes and cigarette smoke.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _c	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V _H	Heating voltage	5V±0.1	AC OR DC
R _L	Load resistance	20K Ω	
R _H	Heater resistance	33 Ω ± 5%	Room Tem
P _H	Heating consumption	less than 750mw	

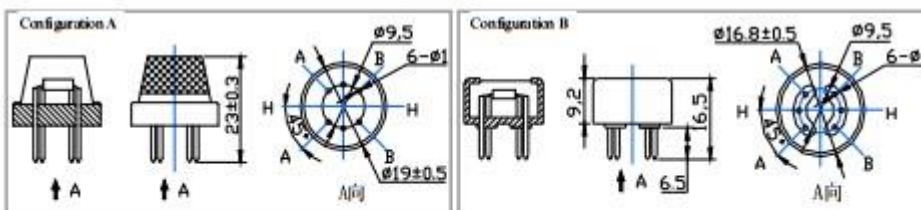
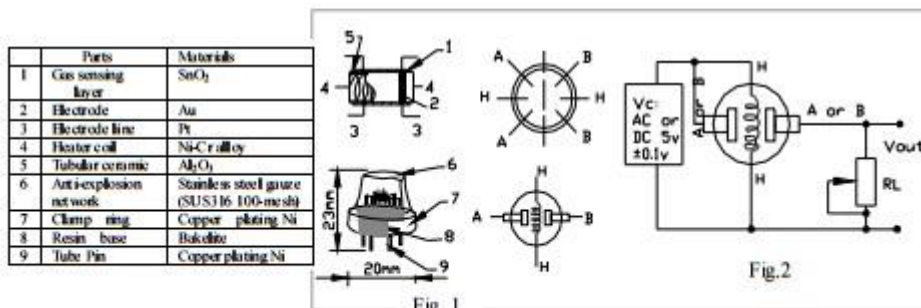
B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T _{ao}	Using Tem	-10℃-50℃	
T _{as}	Storage Tem	-20℃-70℃	
R _H	Related humidity	less than 95%Rh	
O ₂	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remark 2
R _s	Sensing Resistance	10K Ω - 60K Ω (1000ppm CH ₄)	Detecting concentration scope: 200-10000ppm CH ₄ , natural gas
α (1000ppm/ 5000ppm CH ₄)	Concentration slope rate	≤0.6	
Standard detecting condition	Temp: 20℃ ± 2℃ Humidity: 65% ± 5%	V _c : 5V ± 0.1 V _H : 5V ± 0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit



Structure and configuration of MQ-4 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al_2O_3 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-4 have 6 pin, 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2
 E. Sensitivity characteristic curve

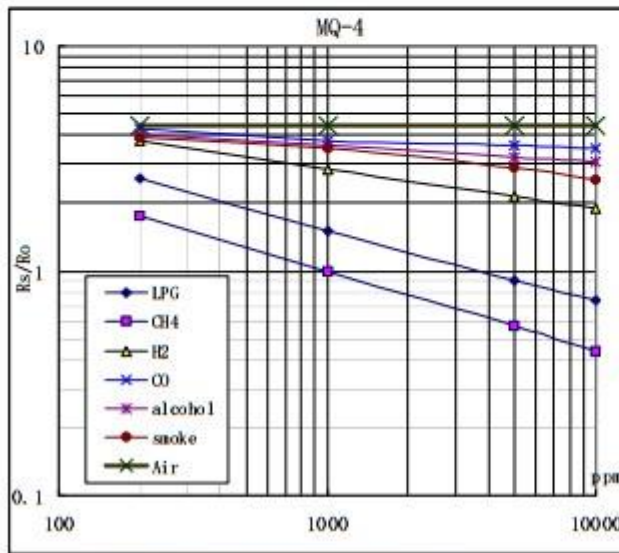


Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-4

Fig.3 shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-4 for several gases. in their: Temp: 20°C, Humidity: 65%, O_2 concentration 21%, $R_L=20k\ \Omega$
 R_0 : sensor resistance at 1000ppm of CH_4 in the clean air.
 R_s : sensor resistance at various concentrations of gases.

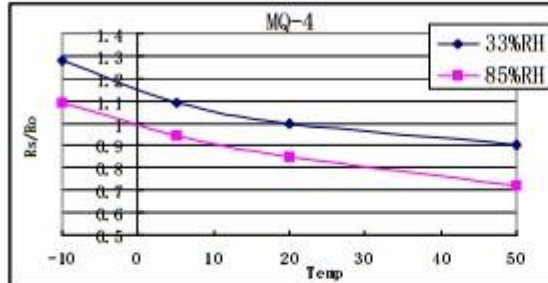


Fig.4 shows the typical dependence of the MQ-4 on temperature and humidity. R_0 : sensor resistance at 1000ppm of CH_4 in air at 33%RH and 20 degree.
 R_s : sensor resistance at 1000ppm of CH_4 in air at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-4 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 5000ppm of CH_4 concentration in air and use value of Load resistance (R_L) about 20K Ω (10K Ω to 47K Ω).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

7.3.1 Datasheet Sensor Co2.

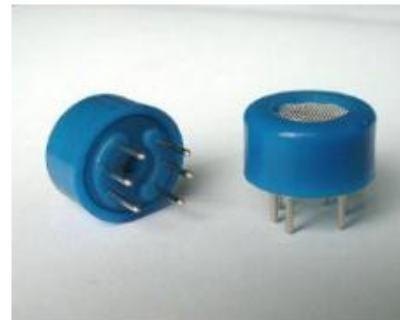
MG811 CO2 Sensor

Features

- Good sensitivity and selectivity to CO₂
- Low humidity and temperature dependency
- Long stability and reproducibility

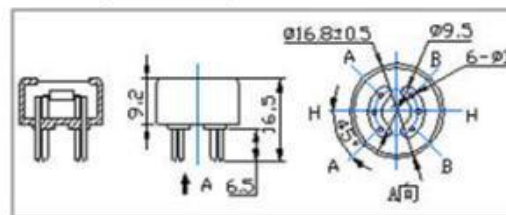
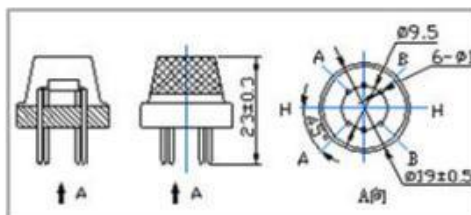
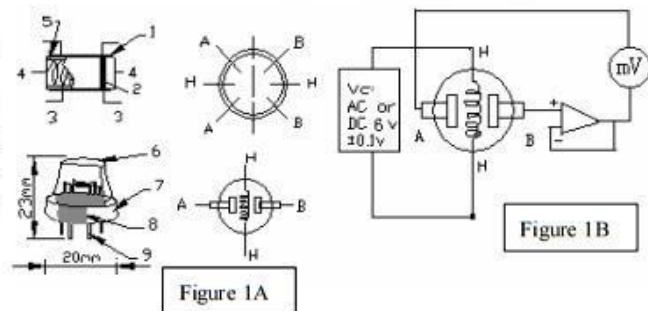
Application

- Air Quality Control
- Ferment Process Control
- Room Temperature CO₂ concentration Detection



Structure and Testing Circuit

Sensor Structure and Testing Circuit as Figure. It composed by solid electrolyte layer (1), Gold electrodes (2), Platinum Lead (3), Heater (4), Porcelain Tube (5), 100m double-layer stainless net (6), Nickel and copper plated ring (7), Bakelite (8), Nickel and copper plated pin (9).



Working Principle

Sensor adopt solid electrolyte cell Principle. It is composed by the following solid cells:

Air, Au|NASICON|| carbonate|Au, air, CO₂

When the sensor exposed to CO₂, the following electrodes reaction occurs:

Cathodic reaction: $2Li + CO_2 + 1/2O_2 + 2e^- = Li_2CO_3$

Anodic reaction: $2Na + 1/2O_2 + 2e^- = Na_2O$

Overall chemical reaction: $Li_2CO_3 + 2Na = Na_2O + 2Li + CO_2$

The Electromotive force (EMF) result from the above electrode reaction, accord with according to Nernst's equation:

$$EMF = E_c - (R \times T) / (2F) \ln (P(CO_2))$$

$P(CO_2)$ —CO₂ partial Pressure E_c —Constant Volume R —Gas Constant volume

T — Absolute Temperature (K) F —Faraday constant

From Figure 1B, Sensor Heating voltage supplied from other circuit, When its surface temperature is high enough, the sensor equals to a cell, its two sides would output voltage signal, and its result accord with Nernst's equation. In sensor testing, the impedance of amplifier should be within 100—1000G Ω , Its testing current should be control below 1pA.

Specifications :

Symbol	Parameter Name	Technical	Remarks
V_H	Heating Voltage	6.0±0.1 V	AC or DC
R_H	Heating Resistor	30.0±5% Ω	Room Temperature
I_H	Heating Current	@200mA	
P_H	Heating Power	@1200mW	
T_{ao}	Operating Temperature	-20—50	
T_{as}	Storage Temperature	-20—70	
E_{EMF}	Output	30—50mV	350—10000ppmCO2

Sensitivity :

Figure 2 Shows gas sensor sensitivity curve. :

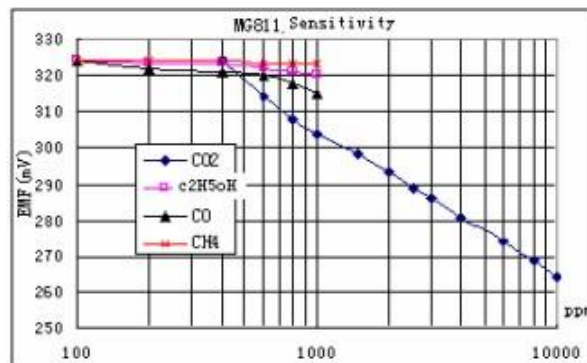
Conditions:

Tem : 28℃、

RH: 65%、

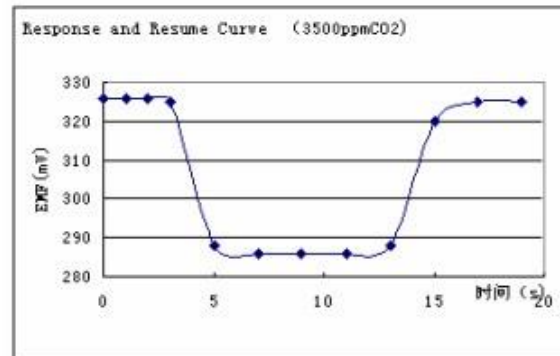
Oxygen : 21%

EMF: sensor EMF under different gas and concentration .

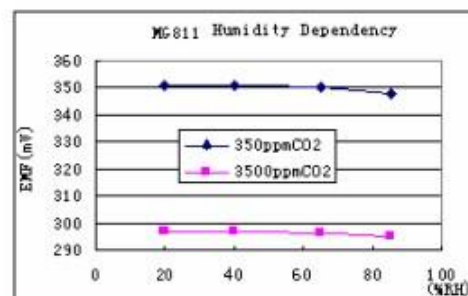
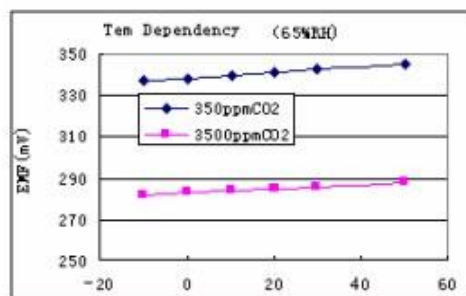


Response and Resume Characteristic :

Figure 3 shows Solid electrolyte sensor response and resume characteristics.



Temperature and Humidity Dependency :



CÁLCULO DE DISTANCIA ENTRE LOS NODOS DE UNA RED INALÁMBRICA ZIGBEE EN FUNCIÓN DEL PARÁMETRO RSSI

Nahuel Vara, German A. Poletto, Dr. Manuel Cáceres, Dr. Arturo J. Busso (*)

RESUMEN: Como respuesta al avance de la radiodifusión de bajo consumo, surge el protocolo Zigbee que permite la implementación de redes inalámbricas de microcontroladores, con topologías avanzadas y el acceso a parámetros involucrados en la comunicación, lo que permite la creación de las llamadas redes inteligentes.

De los parámetros de potencia involucrados en la comunicación se plantea la posibilidad de establecer la ubicación de los nodos de una red a partir de la triangulación, para lo cual es necesario inicialmente estimar la distancia entre ellos. Para este fin, se implementó una red Zigbee punto a punto con dos dispositivos Xbee Serie 2 PRO con el objetivo de verificar la posibilidad de estimar la distancia entre ambos a partir del parámetro RSSI que es un indicador de la

Palabras claves: Zigbee, Xbee, RSSI, Microcontroladores, Red Inalámbrica de Sensores, WSN

INTRODUCCIÓN: Con el avance de la tecnología de comunicación empiezan a notarse las verdaderas ventajas de mantener los elementos de un sistema interconectados entre sí. El mundo de los microcontroladores no es ajeno a esto, y dicha tendencia tuvo como consecuencia el desarrollo de protocolos de comunicaciones y dispositivos pequeños, de bajo costo, inteligentes y lo suficientemente versátiles para adaptarse a las redes actuales.

En particular Zigbee es un protocolo de comunicación que ofrece la posibilidad de interconectar microcontroladores inalámbricamente y que además permite el acceso

potencia percibida en la antena del dispositivo. Para ello se utilizan fórmulas empíricas ampliamente probadas en otras tecnologías inalámbricas como WiFi y Bluetooth.

De las muestras de RSSI obtenidas, se puede verificar que es posible estimar la distancia a partir de la potencia promedio con un error que disminuye a medida que los nodos se alejan, lo que permite obtener el orden de magnitud de la separación entre ambos.

a parámetros muy importantes involucrados en la comunicación. Dicho protocolo es utilizado por los fabricantes de componentes electrónicos para la construcción de módulos de comunicación configurables y programables que permiten facilitar la implementación de una red de sensores (o WSN por sus siglas en inglés), entre otras aplicaciones.

Así, una red de sensores está compuesta por los llamados nodos, que son dispo-

(*) Grupo Energías Renovables - FaCENA - UNNE - Av. Libertad 5470, CP 3400, corrientes, Argentina tel. +54 (0)3783 473931 ext. 116 - e-mail: nahuel.vara@gmail.com

8

EXTENSIONISMO, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA - CLAVES PARA EL DESARROLLO - VOLUMEN 2

sitivos generalmente pequeños, equipados con sensores, microcontroladores y radiotransmisores, por lo que un nodo no

solo tiene la capacidad de medir un parámetro, sino también de procesar información y comunicarse con otros nodos.

Es importante en una red de sensores, conocer la ubicación de los mismos para darle significado a las variables medidas. Si bien en la actualidad existen módulos externos que permitirían la localización de un nodo con una buena precisión, estos resultan costosos y muchas veces el consumo extra que incorporan al nodo resulta en un problema.

Las características y la disponibilidad que ofrece Zigbee de la información que hace a la comunicación, como ser la potencia de recepción y transmisión, establece la posibilidad de estimar la distancia existente entre un nodo y otro, lo que a su vez permitiría incluir la función de localización física de los nodos de una red a partir del cálculo de triangulación.

Con el objetivo de establecer los estudios preliminares para lograr la localización de nodos en una red Zigbee a partir de la triangulación, se verificó la posibilidad de estimar la distancia entre dos nodos en función de la potencia de la señal realizando mediciones de potencia-

que es también utilizado en tecnologías como WiFi y Bluetooth. En el caso particular de los módulos de comunicación

Xbee (fabricados por Digi) que utilizan el protocolo Zigbee, la referencia utilizada es de 1mW y la unidad es el dBm.

De la teoría electromagnética es sabido que la potencia de la señal disminuye con el cuadrado de la distancia según lo indica la ecuación de Friis para transmisión en el espacio libre (C. A. Balanis (2005)). Sin embargo, existen ecuaciones para el parámetro RSSI basadas en datos empíricos (Oguejiofor (2013)) que establecen que la pérdida de propagación de la señal recibida por un nodo a una distancia d_i del nodo transmisor es:

$$P_L(d_i)[dB] = P_L(d_0)[dB] + 10n \log_{10} \frac{d_i}{d_0} \quad (1)$$

Donde $P_L(d_0)$ es la pérdida de propagación a una distancia de referencia conocida d_0 (generalmente $d_0=1m$). n es una constante que depende del medio y de los obstáculos que existan entre los nodos. En el espacio libre $n=2$, sin embargo, en un entorno real la propagación de la señal se ve afectada por fenómenos de reflexión, difracción y dispersión debido a los obstáculos del entorno, por lo que debe ser medida empíricamente.

De la ecuación anterior se tiene que:

distancia y definiendo el error cometido.

EL PARÁMETRO RSSI

Uno de los parámetros que el protocolo Zigbee dispone es el indicador de potencia de señal recibida o RSSI por sus siglas en inglés (Received Signal Strength Indicator) que es una escala de referencia utilizado para medir la potencia en la antena del módulo receptor asociado al último paquete de información recibido. Este parámetro está ampliamente estudiado ya

$$n = \frac{P_L(d_i) - P_L(d_0)}{10 \log_{10} \frac{d_i}{d_0}} \quad (2)$$

Dicha ecuación permite la estimación de la constante n a partir de la medición de potencia en las antenas de los nodos y la distancia que los separa.

Finalmente, la potencia de señal recibida será (E. Lau (2008)):

$$RSSI[dBm] = -10n \log_{10} d + A[dBm] \quad (3)$$

9

Donde n es la constante de pérdida ya mencionada, d es la distancia entre el nodo transmisor y el receptor en metros y A es el valor de RSSI en la antena de un receptor a una distancia de 1 metro del transmisor.

realiza a través de una comunicación por puerto serial. Existen aplicaciones de computadora que permiten configurar, programar y testear los dispositivos Xbee para su caracterización.

Despejando se obtiene:

$$d = 10^{-\frac{RSSI-A}{10n}} \quad (4)$$

Xbee es un módulo de comunicación para interconectar microcontroladores a través del protocolo Zigbee, sin embargo la comunicación entre el módulo y el microcontrolador, o el módulo y el ordenador encargado de configurar el dispositivo se

Para la estimación de la distancia que separa dos módulos a través del parámetro RSSI se utilizó el software XCTU 6.1 desarrollado por Digi para módulos Xbee que incluye una herramienta llamada "Range Test" que facilita la lectura del parámetro RSSI entre dos o más módulos de una red.

Se utilizaron dos módulos Xbee Serie 2 PRO con antena monopolo configurados para una comunicación punto a punto.

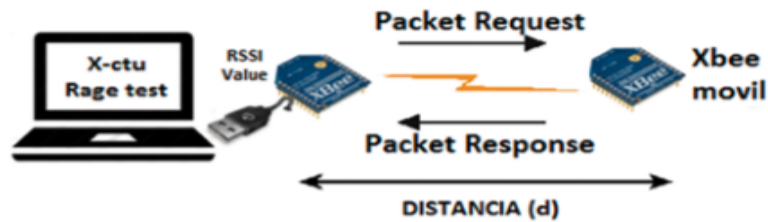


Figura 1: Diagrama de conexiones y enlaces utilizado

El lugar donde se realizaron las mediciones fue la zona de canchas de fútbol del Campus Universitario Deodoro Roca de la UNNE ubicado en la Avenida Libertad 5470 de la Ciudad de Corrientes. Dicho lugar permitió medir la potencia de las señ-

taciones relativas de los módulos para que la polaridad de las antenas fuera la misma en las distintas mediciones, se alejó uno de otro en línea recta. La distancia entre los módulos se midió con una cinta métrica.

les con los fenómenos de reflexión, difracción y dispersión disminuidos debido a la ausencia de obstáculos o elementos donde la señal pudiera reflejarse.

El proceso de medición consistió en fijar uno de los módulos en un sitio conveniente conectado a una computadora encargada de recabar los datos de potencia arrojados por el dispositivo y otro Xbee móvil conectado a una Tablet. Manteniendo fijas las orien-

La tarea del software utilizado consistió en el envío de un paquete de información por parte del módulo conectado a la computadora con destino al módulo ubicado a una distancia conocida, dicho paquete daba la orden a este último de informar al origen, es decir al Xbee conectado al ordenador, el valor de RSSI del último paquete recibido. El ordenador se encargaba de leer constantemente el valor de RSSI informado y de mostrarlo en pantalla en dBm. Además

10

realizaba un gráfico de RSSI en función del tiempo. Así, se registraron 8 valores de RSSI cada 5 metros de distancia entre los módulos a una tasa de 4 muestras por minuto y para una distancia de hasta 50 metros.

RESULTADOS

En primer lugar se midió el valor de RSSI a una distancia de 1 metro, necesario para utilizar la fórmula (2). Como puede verse en la siguiente tabla, $A = -36\text{dBm}$.

Distancia (metros)	RSSI (dBm)							
1	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36

Tabla 1: Medición del parámetro A en dBm

De las mediciones de RSSI realizadas a distintas distancias, se obtuvieron los siguientes resultados:

Distancia (metros)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
RSSI (dBm)	-52	-59	-63	-65	-68	-73	-74	-77	-80	-80
	-51	-60	-61	-64	-69	-71	-78	-79	-77	-82
	-52	-59	-61	-68	-71	-71	-75	-77	-82	-81
	-53	-59	-65	-68	-70	-73	-72	-77	-80	-80
	-53	-60	-59	-68	-68	-75	-77	-80	-79	-82
	-53	-58	-61	-65	-69	-76	-75	-79	-80	-83

Tabla 2: Valores de RSSI medidos para distintas distancias de separación entre nodos

A partir de esta tabla es posible determinar la constante n dado por la ecuación (1). En promedio $n=2,5682$.

Con las constantes calculadas es posible establecer finalmente los valores de distancias en función de los datos de RSSI con la fórmula (3). Se agrega además una fila correspondiente a las potencias promedio medidas que serán las usadas para calcular la distancia teórica y el error absoluto:

Distancia Real	RSSI Medido Promedio	Distancia Teórica	Error absoluto (metros)	Error relativo
5	-52,333	4,591	0,409	0,082
10	-59,167	7,981	2,019	0,202
15	-61,667	9,986	5,014	0,334
20	-66,333	15,174	4,826	0,241
25	-69,167	19,563	5,437	0,217
30	-73,167	28,002	1,998	0,067
35	-75,167	33,501	1,499	0,043
40	-78,167	43,841	3,841	0,096
45	-79,667	50,151	5,151	0,114
50	-81,333	58,234	8,234	0,165

Tabla 3: RSSI medido promedio, distancia teórica y errores calculados a partir de las mediciones realizadas y las ecuaciones mencionadas.

11

1 - Cálculo de distancia entre los nodos de una red... VARA, Nahuel et al

Es posible realizar una mejor comparación entre el valor real de la distancia de separación entre nodos y el teórico obtenido a partir de aplicar la fórmula (3) para los valores de RSSI medidos.

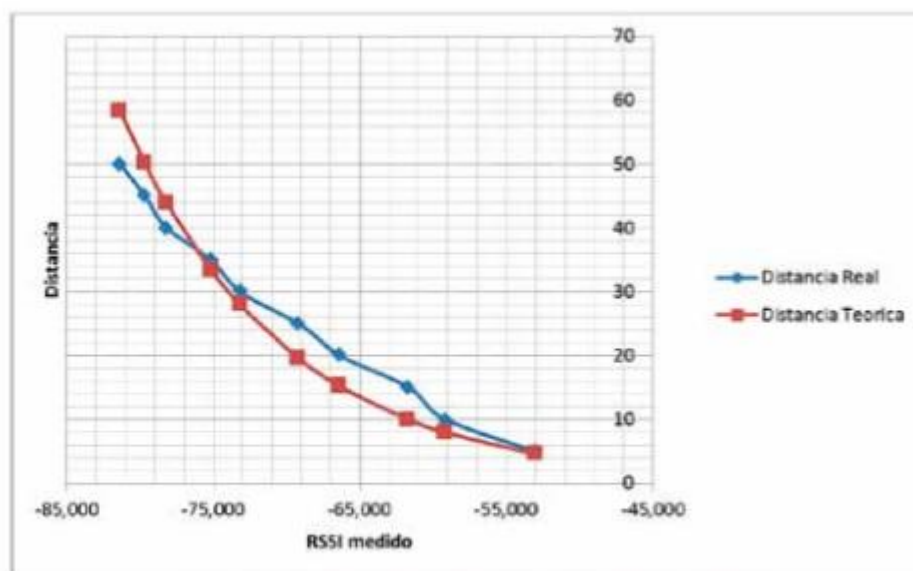


Figura 2: Distancia teórica y real en función del RSSI medido

