FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE RED DE SENSORES INALÁMBRICOS PARA DETECTAR INCENDIOS EN EL PARQUE METROPOLITANO GUANGÜILTAGUA DE QUITO.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos para optar por el título de Ingeniero en Electrónica y Redes de Información.

Profesor Guía
MSc. Jorge Wilson Granda Cantuña

Autor
Dennis Ramiro Bastidas Cevallos

Año
2016

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con las 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
Master en Ingeniería Eléctrica
C.I. 1708594187

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE LAS ESTUDIANTES

“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.”

_____

Dennis Ramiro Bastidas Cevallos

C.I. 1716796774

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por haberme dado las fuerzas para alcanzar cada uno de mis objetivos, en segundo lugar a mi madre Sandra Cevallos porque me brindó su apoyo en cada paso que di a lo largo de mi carrera con su amor y preocupación, también agradezco a mi mejor amiga Lady por la confianza que me brindo, finalmente agradezco a mi tutor el Ing. Jorge Granda por ser perseverante y apoyarme en la culminación de este proyecto.

Dennis Bastidas

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto en primer lugar a Dios porque es el pilar fundamental en mi vida, en segundo lugar a mi madre Sandra Cevallos ya que ella se merece cada uno de mis logros .También dedico a la Unidad de Innovación Tecnología principalmente al Tecnólogo Santiago Solórzano por brindarme su amistad y sabiduría. Finalmente dedico este proyecto a mi mejor amiga Lady ya que ella fue la que me impulso a terminar este proyecto y a perseguir mis sueños.

Dennis B astidas

RESUMEN

La presente investigación trata sobre el diseño e implementación de un prototipo de red WSN para detectar incendios, realizado por los problemas que ha enfrentado la cuidad de Quito – Ecuador. Sólo en el año 2015 exactamente el 16 de septiembre, la cuidad fue declarada en estado de emergencia ya que enfrentaba una ola de incendios que dejó como resultado 3 bomberos fallecidos, 22 heridos y 960 hectáreas de bosque en cenizas. El comunicado fue lanzado para liberar recursos económicos y con el fin de que las Fuerzas Armadas junto con la Policía Nacional puedan intervenir para ayudar a combatir los incendios.

Por esta razón como solución a dicha problemática se pensó en crear un sistema con redes de sensores inalámbricos que nos ayuden a detectar incendios de manera inmediata, para minimizar los impactos que produce el mismo, como: pérdida de vidas humanas, pérdida de grandes áreas forestales, pérdida de dinero.

Se realizó un estudio sobre la tecnología *WSN* para entender su funcionamiento, protocolos, topologías, etc. de tal manera que el diseño del prototipo sea óptimo.

El sistema se basa en medir constantemente tres tipos de gases, los cuales están presentes en una combustión y son el CO2, CO y CH4. Existen muchos más gases pero los mencionados son los principales. También se mide la temperatura y humedad del medio, para que finalmente estos datos viajen inalámbricamente hacia una interfaz gráfica donde serán interpretados.

De esta manera si los niveles de los gases suben a un límite que se lo predetermina, el sistema nos indicará que existe una anomalía desatando una alarma y con ayuda del GPS se podrá identificar el lugar exacto donde ocurre el flagelo.

Para concluir una vez que el prototipo esté listo, se realizará pruebas con los nodos finales, con el objetivo de comprobar que funcione correctamente y que los datos sean reales.

ABSTRACT

This present document deals on the design and implementation of a network prototype WSN to detect fires, performed by the problems that has faced the city of Quito - Ecuador. Just in the year 2015 exactly on 16 September, the city was declared in a state of emergency since it had to deal with a wave of fires that gave as a result of 3 dead firefighters, 22 injured and 960 hectares of forest in ashes.

The statement was launched to release economic resources and with the intent to have a view to the Armed Forces alongside the National Police can intervene to help fight the fires.

For this reason as a solution to this problem was thought a system with wireless sensor networks that help us to detect fires immediately, to minimize the impacts that produces the same, such as: loss of human lives, loss of large forest areas, loss of money.

A study was be conducted on the WSN technology to understand its operation, protocols, topologies, etc. in such a way that the design of the prototype is optimal.

The system is based on measuring constantly three types of gases, which are present in a combustion, the CO2, CO and CH4. There are many more but the above-mentioned gases are the main. There are also going to count the temperature and humidity of the environment, in order to finally allow data travel wirelessly toward a graphical interface where it will be interpreted.

In this way if the levels of the gases rise to a predetermined limit, the system will indicate us that there exists an anomaly unleashing an alarm and with the aid of GPS it will be able to identify the exact place where the flagellum is.

In conclusion once the prototype is ready, tests will be carried out with the final nodes, with the objective of verifying that it works properly and that the data are real.

ÍNDICE

INTRODUCCION 1
Antecedentes 1
Alcance 2
Justificación 4
Objetivo General 4
Objetivos específicos 4
1. MARCO REFERENCIAL 5
1.1 Introducción: 5
1.2 Redes de sensores inalámbricos (WSN) 6
1.2.1 ELEMENTOS DE UNA WSN 7
1.2.2 Nodo Coordinador: 14
1.2.3 *Gateway*: 14
1.2.4 Estación Base: 14
1.2.5 Topologías de las redes de sensores inalámbricas: 15
1.2.6 Comparación de tecnologías inalámbricas (estándares) para las WSN 17
1.2.7 Estándar IEEE 802.15.4 19
1.2.8 Capa Física 19
1.2.9 Capa de Control de Acceso al Medio: 20
1.2.10 Zigbee 21
1.2.11 Procesamiento de señales del Microcontrolador 25
1.2.12 Modelos de Propagación Inalámbrica para áreas Forestales 26
2. DISEÑO DEL PROTORIPO DE RED 28
2.1 Diagrama de red 28
2.1.1 Mota Principal: 28
2.1.2 Mota Secundarias: 29
2.2 Características de los sensores del nodo principal 30

2.2.1 Sensor DHT22: 30
2.2.2 Sensor MG-811 (CO2): 31
2.2.3 Sensor MQ7 (CO): 32
2.2.4 Sensor MQ4 (CH4): 34
2.2.5 GPS Neo-6M: 37
2.2.6 Batería de Lipo: 39
2.2.7 Panel Solar: 40
2.2.8 Lipo Rider PRO: 41
2.2.9 Arduino Mini PRO ATmega328: 43
2.2.10 XBEE S2B PRO: 44
2.3 Programación con Software Arduino 48
2.3.1 Diagrama de flujo de la programación en Arduino. 53
2.4 Configuración de la red WSN (Modo Transparente) 53
2.4.1 Configuración Xbee modo Coordinador en AT: 55
2.4.2 Configuración Dispositivo final en AT: 58
2.5 Diseño del circuito electrónico 61
2.6 Creación de placa 65
2.7 Procedimiento para Soldar: 67
2.8 Diseño de caja 3D 68
2.9 Diseño Interfaz Gráfico: 70
2.9.1 Requerimientos del Interfaz Gráfico: 70
2.9.2 Diseño base de datos SQL. 75
2.9.3 Diagrama de bloques del sistema de detección de Incendios. ... 76
3. IMPLEMENTACIÓN Y PRESENTACIÓN DE DATOS. 77
3.1 CALIBRACION DE SENSORES: 77
3.1.1 La derivación de la concentración de CO a partir de la medida del sensor: 79
3.2 Validación de Datos: 79

3.2.1 Definición de niveles Críticos para los gases de los sensores..... 81
3.3 Funcionamiento del Prototipo:..... 84
3.4 Pruebas 87
4. ANÁLISIS DEL COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE RED INALÁMBRICA:..... 92
4.1 Costos Materiales: 92
4.2 Costo del Diseño:..... 93
4.3 Costo de Programación:..... 93
4.4 Total Costo del prototipo de red WSN con su respectiva interfaz Gráfica:..... 93
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 94
5.1 CONCLUSIONES: 94
5.2 RECOMENDACIONES..... 94
REFERENCIAS 96
ANEXOS 99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Arquitectura mota. 7
Figura 2. Elementos de red de sensores inalámbricos. 14
Figura 3. Tipos de topología de una red *Wireless Sensor Network*..... 15
Figura 4. Arquitectura Zigbee 22
Figura 5. Aplicaciones donde se aplica Zigbee. 24
Figura 6. ADC de 4 bits. 25
Figura 7. Diagrama de prototipo de red. 28
Figura 8. Diagrama de mota principal 29
Figura 9. Mota secundaria 29
Figura 10. Sensor DHT22 30
Figura 11. Función de pines del sensor DHT22 31
Figura 12. Sensor de CO2 MG-811 31
Figura 13. Modelo de conexión sensor MG811 32
Figura 14. Sensor de CO MQ7 33
Figura 15. Modelo de conexión Sensor MQ7 34
Figura 16. Sensor MQ4 (CH4) 35
Figura 17. Modelo de conexión MQ4. 36
Figura 18. GPS Neo-6M. 37
Figura 19. Modelo de conexión GPS NEO-6M. 39
Figura 20. Batería de Lipo de 3.7 Volts. 40
Figura 21. Panel Solar. 41
Figura 22. Conexión Lipo Rider PRO con panel Solar. 42
Figura 23. Arduino Mini Pro ATmega328. 43
Figura 24. Xbee S2B PRO. 44
Figura 25. Comparación Xbee vs Xbee PRO 45
Figura 26: Descripción de pines Xbee S2b Pro. 46
Figura 27: Sentencia visualización de puertos para Xbee 47
Figura 28. Xbee conexión con Arduino 47
Figura 29. PC conectado con Arduino. 48
Figura 30. Software Arduino. 49
Figura 31. Software Arduino opción File (*Examples*). 49

Figura 32. Software Arduino opción Edit. 50
Figura 33: Software Arduino opción Sketch. 50
Figura 34. Software Arduino opción Tools. 51
Figura 35. Software Arduino menú gráfico. 51
Figura 36. Software Arduino función Setup y Loop. 52
Figura 37. Librerías y Variables Arduino 52
Figura 38. Diagrama de Flujo de Programación Arduino 53
Figura 39. Software XCTU 53
Figura 40. Pantalla Principal XCTU 54
Figura 41. Conexión Xbee con PC mediante USB. 55
Figura 42. XCTU agregando Modulo Xbee. 55
Figura 43. XCTU configuración de parámetros. 56
Figura 44. XCTU actualización a coordinador AT. 56
Figura 45. XCTU configuración Coordinador modo AT 57
Figura 46. XCTU datos del nodo configurado. 58
Figura 47. XCTU Actualización de Firmware para Dispositivo Final AT. 59
Figura 48. XCTU Configuración parámetros para Dispositivo Final AT. 60
Figura 49. XCTU Datos del nodo Configurado. 60
Figura 50. Etapas de Diseño con Proteus 8. 61
Figura 51. Conexión de Elementos Electrónicos (Simulación). 62
Figura 52. Conexión de dispositivos en el protoboard. 63
Figura 53: Creación de pistas del circuito electrónico. 64
Figura 54. Modelo 3D del diseño de placa electrónica. 64
Figura 55. Baquelita con papel transfer azul. 65
Figura 56. Baquelita con pistas. 66
Figura 57. Baquelita después del ácido. 66
Figura 58. Baquelita perforada. 67
Figura 59. Soldando baquelita. 67
Figura 60. Baquelita con elementos soldados. 68
Figura 61. Diseño de caja de 3D en AutoCAD. 69
Figura 62. Impresora MAKERBOT y caja 3D. 69
Figura 63. Diseño de red con Zigbee Estándar (IEEE 802.15.4) 70
Figura 64. Pantalla Principal Interfaz Gráfico. 71

Figura 65. Pantalla de Gestión de Sistema. 72
Figura 66. Pantalla Visualización de Datos 73
Figura 67. Pantalla Modo Transparente. 73
Figura 68. Modelo base de datos SQL 75
Figura 69. Diagrama de bloques del sistema de detección de incendios. 76
Figura 70. Características de sensibilidad del sensor Mq7. 79
Figura 71. Kit IBRID MX6. 80
Figura 72. Evidencia Comparación sensores 81
Figura 73. Nodo Principal Armado 84
Figura 74. Aplicación con datos de los sensores. 85
Figura 75. Aplicación modo transparente (datos a tiempo real). 86
Figura 76. Aplicación (demostración niveles críticos). 87
Figura 77. Pruebas en el laboratorio (UITEC) 88
Figura 78. Evidencia de Alarma en el sistema de Incendios 89
Figura 79. Datos obtenidos en las pruebas 89
Figura 80. Datos obtenidos en las pruebas 91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tecnologías inalámbricas. 3
Tabla 2. Plataformas de RSI existentes en el mercado. 3
Tabla 3. Comparación entre sensores DHT11 Y DHT22 8
Tabla 4. Comparación de sensores de CO2 9
Tabla 5. Comparación de sensores MQ7 y ME2-CO 9
Tabla 6. Comparación de sensores NDIR y MQ4 10
Tabla 7. Comparación entre módulos Xbee. 11
Tabla 8. Comparación Arduino uno vs Arduino Mini PRO. 13
Tabla 9. Ventajas y Desventajas Topologías WSN. 16
Tabla 10. Comparación entre Wifi, Bluetooth y Zigbee 18
Tabla 11. Bandas de frecuencia para WSN. 20
Tabla 12. Comparación de Modelos de propagación en bosques. 26
Tabla 13. Características técnicas del sensor DHT22. 30
Tabla 14. Características técnicas del sensor MG-811 CO2. 32
Tabla 15. Características técnicas del sensor MQ7 33
Tabla 16. Características técnicas de sensor MQ4. 35
Tabla 17. Especificaciones técnicas GPS Neo–6m. 37
Tabla 18. Cálculo de corriente del circuito 39
Tabla 19. Características técnicas del panel solar. 41
Tabla 20. Características de Lipo Rider PRO. 42
Tabla 21. Características del Arduino Mini Pro ATmega328 43
Tabla 22. Características técnicas Xbee-PRO S2B. 46
Tabla 23. Comparación Prototipo Vrs Mx6 81
Tabla 24. Niveles de gas vrs Salud. 82
Tabla 25. Límites máximos permitidos de los gases. 83
Tabla 26. Datos recolectados en las pruebas de incendios 90
Tabla 27. Costos de materiales 92

INTRODUCCION

Antecedentes

En la presente investigación se observa que en el año 2012 la cuidad de Quito tuvo que afrontar 1990 incendios en el lapso de 3 meses, esta cantidad de flagelos superó por más de 3 veces a los reportados en el año 2009. Estos siniestros son producto de los secos y abundantes veranos, los fuertes vientos y personas inconscientes que provocaron los incendios forestales.

Gran parte del parque Metropolitano Guangüiltagua de Quito se consumió el día jueves 23 de agosto del 2012, por un incendio de 6 horas de duración que afortunadamente el equipo de bomberos logró controlar. Sin embargo el 22 de septiembre hubo otro incendio en el mismo parque que duró aproximadamente 2 días. Esto es debido a que en el verano el clima es muy fuerte y caluroso, el cual provoca que los árboles, plantas y pastizales se vuelvan secos, aumentando el riesgo de incendio y una mínima chispa podría causar que estos se vuelvan incontrolables (El Universo, s.f.)

Por esta razón el Gobierno en conjunto con el Cuerpo de Bomberos ha implementado campañas para concienciar a la población sobre este problema que afecta a todos los habitantes. Se ha utilizado publicidad masiva a través de todos los medios de comunicación, invirtiendo 425 mil dólares americanos; incluso las leyes se han endurecido con los infractores ya que el 95 % de los incendios son provocados, por eso debemos estar conscientes que al perder nuestros bosques, estamos expuestos a la contaminación y a muchas enfermedades pulmonares (Explored, s.f.).

Los investigadores de la Universidad Politécnica de Madrid, utilizando las redes de sensores inalámbricos, han desarrollado un modelo de monitorización para parques forestales con el fin de minimizar los riesgos de incendios. Este sistema pretende determinar el lugar y el momento donde se pueda producir un foco de incendio.

Dichos investigadores se han interesado mucho por la tecnología de sensores inalámbricos, ya que estos son autónomos, pequeños, ligeros, con gran capacidad de energía y auto-configurables, lo cual los hace adecuados para ser instalados en ambientes hostiles y donde es imposible desplegar una red cableada. Además este tipo de sistemas se los puede integrar a muchas aplicaciones no solo para el beneficio del medio ambiente sino también podría implementarse en la agricultura, medicina, desastres naturales, entre otros (Explored, s.f.).

Alcance

El alcance de este proyecto es implementar una de red de sensores inalámbricos que sean capaces de detectar incendios por medio de mediciones de temperatura, humedad y nivel de humo en el parque Metropolitano Guangüiltagua de la ciudad de Quito, enviando periódicamente los datos a un servidor o host, con el fin de monitorizar el parque para reducir los tiempos de detección y localización de un foco de incendio, utilizando la tecnología *WSN* (*Wireless Sensor Network*).

Según Ortiz (2008, pp. 12-13), este tipo de red está caracterizada por la facilidad en el despliegue y por ser auto configurable, lo cual permite en cualquier instante convertirse en emisor y receptor. Adicionalmente ofrece servicios entre nodos sin que necesariamente tengan línea de vista directa, además esta red gestiona eficientemente la energía aumentando la operatividad por su propia autonomía.

La tecnología inalámbrica que se va a utilizar en este proyecto no está definida ya que en el proceso de la investigación se determinará la más adecuada. En la tabla 1 se observa las posibles alternativas de tecnologías inalámbricas.

Tabla 1. Tecnologías inalámbricas.

TECNOLOGIA	TRANSFERENCIA	COBERTURA
WI-FI	54 Mbps	50 – 100 m
BLUETOOTH	700 Kbps	10 m
ZIGBEE	250 Kbps	40 m (interiores) hasta 1500 (exteriores)

Adaptado de: (Universidad de La Rioja, s.f.)

Para la configuración y programación de los sensores se puede utilizar una de las siguientes plataformas que se presentan en la tabla 2, ya que de igual manera se determinará en el desarrollo del proyecto.

Tabla 2. Plataformas de RSI existentes en el mercado.

EMPRESA	PLATAFORMA	APLICACIONES
ARDUINO	Arduino	Prototipado RSI – tiempo real.
LIBELIUM	Waspmote, Waspmote Plug & Sensse	RSI – distribuidas Aplicaciones industriales

Adaptado de: (Universidad de La Rioja, s.f.)

Para la fase del desarrollo de software se tendrá en cuenta los siguientes lenguajes de programación:

- Java
- C#
- C++

Finalmente esta aplicación servirá para recibir los datos de los sensores inalámbricos como las mediciones de temperatura, humedad y humo, además enviará alertas en caso de que los niveles normales suban precipitadamente, con el fin de detectar un posible incendio.

Justificación

Este proyecto busca ayudar al medio ambiente, ya que la red de sensores inalámbricos podrá monitorizar el parque metropolitano de Quito constantemente, con el fin de prevenir incendios, actuar de manera inmediata si llegara a desatarse una alerta y por supuesto poderlos ubicar con mayor facilidad.

El sistema de red de sensores inalámbricos es una gran alternativa, ya que son pensados para ser implantados en lugares de duras condiciones ambientales, con mediciones constantes, y así poder conservar el parque metropolitano de Quito, considerado uno de los principales parques de la cuidad.

El gobierno tiene un presupuesto de 2.3 millones de dólares para combatir los incendios, y dichos recursos podrían ser eficientemente utilizados con la implementación de este proyecto que se caracteriza en mejorar el tiempo de respuesta, reducción de costos, y localización inmediata de un foco de incendio.

Objetivo General

Implementar un prototipo de red de sensores inalámbricos para detectar incendios en el parque Metropolitano Guangüiltagua de Quito.

Objetivos específicos

- Analizar los protocolos para implementar en una red WSN.
- Diseñar la red WSN para el prototipo de detección de incendios.
- Implementar el prototipo de la red WSN.
- Realizar pruebas y analizar los datos.
- Analizar Costos de la implementación de red.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Introducción:

Hace pocos años atrás las conexiones de red eran implementadas solo con cables. Estas redes cableadas tienen como ventajas: ninguna limitación energética, ya que pueden poseer una o dos líneas de suministro energético; excelentes niveles de seguridad, porque la obtención de información de la red necesita un acceso físico al canal; además poseen un gran rendimiento y altas tasas de velocidad. Sin embargo estas redes cableadas también sufren de algunas limitaciones graves como la dificultad de despliegue en zonas hostiles, el alto costo que un cableado estructurado conlleva, además este tipo de redes son denominadas rígidas, es decir que resulta difícil implementar nuevos nodos a la red o modificar según nuestra necesidad la posición de los sensores existentes.

Por otro lado tenemos las redes *wireless*, las cuales permiten desplegar la red sin la necesidad de una conexión directa con cables. En los últimos años estas redes han abierto escenarios muy innovadores, por eso las mismas se han difundido rápidamente, debido a que ofrecen una serie de innegables ventajas, como la movilidad que permite a los terminales moverse, la flexibilidad y los bajos costos de implementación.

Si bien los beneficios son muy importantes, aún deben afrontar algunos problemas. Uno de ellos es sin duda, la capacidad del medio transmitivo, debido a la existencia de un único canal que limita necesariamente el número máximo de usuarios que pueden beneficiarse del servicio simultáneamente, y del mismo modo, la presencia de más usuarios determina una reducción de velocidad de transmisión. En cuanto a la capacidad del canal transmitivo debe ser dividida con todos los que estén haciendo uso de la red. Otro problema es la seguridad, en ausencia de controles específicos, resulta fácil para un atacante interceptar la información que viaja en el aire o lograr acceder a un servicio sin ninguna autorización. También hay que tomar en cuenta que la

calidad de la comunicación inalámbrica puede ser influenciada por factores externos como la interferencia electromagnética y los obstáculos en movimiento.

Para muchos de estos problemas existen soluciones eficaces, sin embargo por cada solución se debe siempre tomar en consideración el aumento de la complejidad proyectada y el relativo aumento de los costos de implementación Beltrame (2008, pp. 5-6)

1.2 Redes de sensores inalámbricos (WSN)

Este tipo de redes están compuestas por una agrupación de nodos distribuidos en el espacio, que están interconectados por un medio inalámbrico, para transmitir información o datos determinados. Es decir los nodos de la red recogen información específica y la transmiten a un nodo central llamado nodo coordinador, el cual envía la información al *gateway* (puerta de enlace) que a su vez envía los datos a la estación base o hacia una red TCP/IP.

Las principales aplicaciones para las redes *WSN* son: medicina, seguridad, agricultura, industria y medio ambiente. Lo cual se puede dar usando sensores y estos permiten obtener datos, ya sea temperatura, CO2, humedad, presión, ruido, vibración, condiciones de iluminación, entre otros.

Las WSN ofrecen algunos beneficios, como el bajo consumo de energía, es decir, cada nodo es alimentado por una batería independiente y la red gestiona eficientemente la energía haciendo que los nodos por lo general pasen la mayor parte del tiempo en modo *sleep* (bajo consumo de potencia). También tenemos la facilidad para desplegar la red, por ser terminales inalámbricos de tamaño pequeño. Además por ser autoconfigurable permite al nodo en cualquier instante convertirse en emisor y receptor. Otros de sus beneficios son los bajos costos de implementación y que no necesariamente deben estar en línea de vista directa para poder comunicarse entre sí.

Cuando se decide implementar una red inalámbrica de bajo costo, con baja transmisión de información, un consumo mínimo de energía, pero con una gran área de cobertura, definitivamente las WSN son la mejor alternativa, ya que fueron creadas justamente con el fin de cumplir con esos objetivos, es decir para ese tipo de escenarios. (Cují y Pazmiño, 2015, p, 28-31).

1.2.1 ELEMENTOS DE UNA WSN

1.2.1.1 Motas:

Las motas o más conocidos como nodos sensoriales poseen un sistema de obtención de datos, el cual se realiza mediante sensores, tomando los datos del medio y transformándolos en señales eléctricas. Tiene además una unidad de procesamiento, que consiste en un circuito microcontrolador que se ocupa de procesar los datos. Así como la unidad de transmisión inalámbrica, que se encarga de la comunicación entre los nodos; y una fuente de energía autónoma, es decir una batería independiente, como muestra la figura 1.

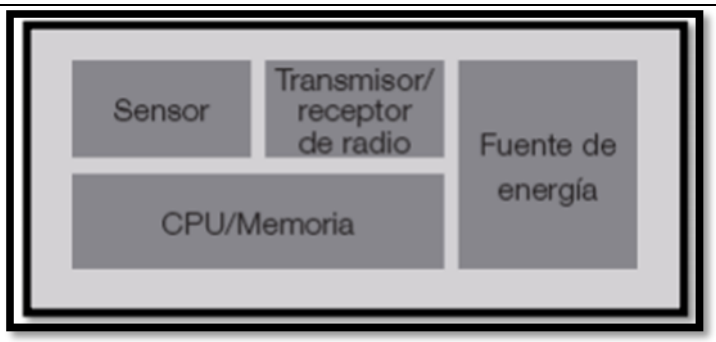


Figura 1. Arquitectura mota.
Tomado de (Wireless Sensor Network, s.f.)

Dentro de las motas se encuentran los siguientes elementos:

1.2.1.2 Sensores:

Son los que obtienen los datos del medio y los transforman en señales eléctricas. Para el proyecto que se va a implementar se mostrara las opciones de los sensores con los que se desea trabajar para el prototipo de la red inalámbrica (Escolar, 2006).

Sensores de Temperatura y humedad:

Tabla 3. Comparación entre sensores DHT11 Y DHT22

Nombre	DHT11	DHT22
RANGO DE TEMPERATURA	0 – 50 °C / ± 2 °C	-40 – 125 °C / ± 0.5 °C
RANGO DE HUMEDAD	20 – 80 % / ± 5 %	0 – 100 % / ± 2 - 5 %
TASA DE MUESTREO	1 Hz (Una lectura cada segundo)	0.5 Hz (una lectura cada 2 segundos)
TAMAÑO	15.5 mm * 12 mm * 5.5 mm	15.1 mm * 25 mm * 7.7 mm
VOLTAJE OPERACIÓN	3 – 5 V	3 – 5 V
CORRIENTE MÁXIMA DURANTE LA MEDICIÓN	2.5 mA	2.5 mA

Adaptado de: (Mechatronics, s.f.)

En la tabla 3 se observó que el sensor DHT22 tiene mayor sensibilidad, y mayor rango de medición, por lo cual se decide utilizar el DHT22 en el nodo principal y en los secundarios los sensores DHT11.

Sensores de CO2:

Tabla 4. Comparación de sensores de CO2

Nombre	Mod CO2 DC FLTH	Sensor MG-811
FABRICANTE	Amphenol advanced sensors	Dfroboot
VOLTAJE OPERATIVO	5 V	5 V
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	0°C a 50°C	-20°C a 50°C
RANGO DE MEDICIÓN	0 a 50.000 (ppm)	350 a 10.000 (ppm)
COSTO	$ 196.75	$ 58.55

Al comparar las dos opciones que presenta la tabla 4, se escoge el Sensor de CO2 con el modulo MG-811, ya que para el prototipo a implementar no se necesita que su rango de medición sea muy grande, además que el precio es más conveniente.

Sensores de CO:

Tabla 5. Comparación de sensores MQ7 y ME2-CO

Nombre	ME2-CO	Sensor MQ7
Fabricante	Shenzhen Week Technology Ldt.	SainSmart
Voltaje Operativo	5 V	5 V
Temperatura de Operación	0°C a 50°C	-20°C a 50°C
Rango de Medición	0 a 1000 ppm	20 – 2000 ppm
Costo	$ 28.00	$ 8.00

Para implementar el prototipo se escoge el sensor MQ7 ya que tiene mayor sensibilidad y es compatible con Arduino, también el precio es conveniente y es sobre todo fácil de instalar.

Sensores de CH4:

Tabla 6. Comparación de sensores NDIR y MQ4

Nombre	Detector de gas / de metano / NDIR / de alta precisión	Sensor MQ4
Fabricante	Amphenol advanced sensors	SainSmart
Voltaje Operativo	5 V	5 V
Temperatura de Operación	-40 – 70°C	-20 - 50°C
Rango de Medición	0 – 50000 ppm	300 a 10.000 (ppm)
Costo	$ 80.00	$ 11.00

Para implementar en el prototipo se escoge en Sensor MQ4, por su bajo costo, es fácil de instalar y es compatible con Arduino.

1.2.1.3 Transmisor y receptor de radio:

En la parte de la comunicación inalámbrica se tiene los módulos Xbee, ellos fueron implementados gracias a la firma Alliance en el año de 1998. Dentro de estos módulos existen algunos modelos y es a partir del año 2003 que los módulos Xbee se basan en el protocolo Zigbee 802.15.4 (estándar IEEE), desde ese momento empieza a desarrollarse su propia forma de comunicación inalámbrica con sus propias características, trayendo con si muchos beneficios, tales como el menor consumo de energía, menor costo y facilidad de implementación haciendo uso de bandas de radio libres, sobre todo no se necesita licencias para operar y la red puede llegar a ser tan grande como deseemos. (Xbee, s.f.)

Tabla 7. Comparación entre módulos Xbee.

ESPECIFICACIÓN	Xbee	Xbee - PRO	Xbee - PRO S2B
Cobertura (interiores)	40 m	60 – 90 m	60 – 90 m
Cobertura (exteriores)	120 m	3200 – 1500 m	3200 – 1500 m
Potencia de salida	2 mW (+ 3dBm) en modo de impuso habilitado. 1.25 mW (+ 1dBm) en modo de impulso deshabilitado.	50 mW (+17 dBm). 10 mW (+10 dBm) variante internacional.	63 mW (+18 dBm). 10 mW (+10 dBm) variante internacional.
Velocidad de Datos	250.000 bps	250.000 bps	250.000 bps
Velocidad de datos de interfaz en serie	1200 bps – 1Mbps	1200 bps – 1Mbps	1200 bps – 1Mbps
Receptor sensible	-96 dBm en modo de impulso habilitado. -95dBm en modo de impulso deshabilitado.	-102 dBm	-102 dBm

Adaptado de: (Digi International Inc, s.f.)

Haciendo la comparación entre los diferentes tipos de módulos Xbee, se escoge el Xbee-PRO S2B, ya que nos permite alcanzar mayores distancias, tanto en puertas cerradas como abiertas y sobre todo en exteriores en línea de vista directa, además su potencia de transmisión es mayor y no afecta al

consumo de energía ya que estos módulos fueron creados para ahorrar energía.

1.2.1.4 Fuente de energía:

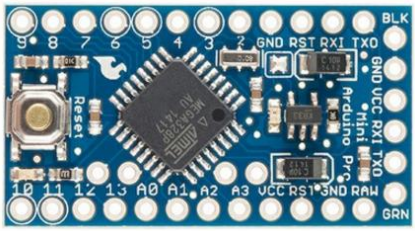
La fuente de energía permite alimentar al circuito electrónico para su funcionamiento, por lo general para este tipo de proyectos se utiliza baterías de lipo, ya que son las más resistentes y confiables, luego se realizara el cálculo del consumo del circuito electrónico para determinar los valores de la batería.

1.2.1.5 CPU/Memoria:

Es la parte de procesamiento de la información, aquí los datos que se obtiene con los sensores son interpretados y analizados. Para el procesamiento se toma en cuenta Arduino, ya que es una plataforma muy sencilla de utilizar, su *software* se puede ejecutar en *Windows*, *Macintosh*, *Linux* y demás. Los precios de sus placas son bastante económicos, pero sin duda lo más importante es que es un *software* y *hardware* libre de código abierto, muy útil para personas que sean principiantes o expertos en programación, su lenguaje está basado en C++ (Arduino, s.f.).

Existen un gran número de placas de Arduino, diferentes tipos de microcontroladores, entonces depende de la necesidad del proyecto para escoger una. A continuación se presenta dos tipos de microcontrolador.

Tabla 8. Comparación Arduino uno vs Arduino Mini PRO.

Modelo	Características
Arduino uno	**Microcontrolador:** ATmega328 **Voltaje de funcionamiento:** 5 V **Pines I/O digitales:** 14 (de los cuales 6 proveen salida PWM) **Pines de entradas análogas:** 6 **Corriente DC por cada pin I/O:** 40 mA **Corriente DC en el pin de 3.3 V**: 50 mA **Memoria Flash:** 32 KB (ATmega328) de los cuales 0.5 KB son utilizados por el bootloader **SRAM:** 2 KB (ATmega328) **EEPROM:** 1 KB (ATmega328) **Velocidad de reloj:** 16 MHz
Arduino Mini PRO 	**Microcontrolador:** Atmega328 **Voltaje de funcionamiento:** 3.3V o 5V (dependiendo el modelo) **Pines I/O digitales**: 14 (de los cuales 6 proveen salida PWM) **Pines de entradas análogas:** 6 **Corriente DC por cada pin I/O:** 40 mA **Memoria Flash:** 32 KB de los cuales 0.5 KB son utilizados por el bootloader **SRAM:** 2 KB **EEPROM:** 1 KB **Velocidad de reloj:** 16 MHz

Adaptado de: (Ingeniería Electrónica, s.f.)

Prácticamente son iguales, en sus características, lo que los diferencia es su tamaño, el Arduino Uno mide de ancho 54mm y de largo 69mm, mientras que el Arduino mini pro mide de ancho 18mm y de largo 33.8mm. Para el proyecto a implementar se necesita que su tamaño sea reducido para que los nodos no sean tan grandes y puedan pasar desapercibidos. Más adelante se explicará el funcionamiento del software de Arduino.

1.2.2 Nodo Coordinador:

La función de estos nodos es recibir los datos enviados por cada uno de los nodos sensoriales de toda la red WSN por comunicación inalámbrica, para enviarla al gateway o estación base. Requiere más memoria en general.

1.2.3 *Gateway*:

Permite la comunicación de la red WSN con una red TCP/IP. Este nodo no posee ningún sensor ya que su función es la de actuar como un puente, es decir une dos redes de diferente tipo.

1.2.4 Estación Base:

Aquí se recolecta toda la información de la red WSN para ser interpretada, es decir la información se dirige a un computador o sistema para ser procesada y presentada (Wireless Sensor Network, s.f.).

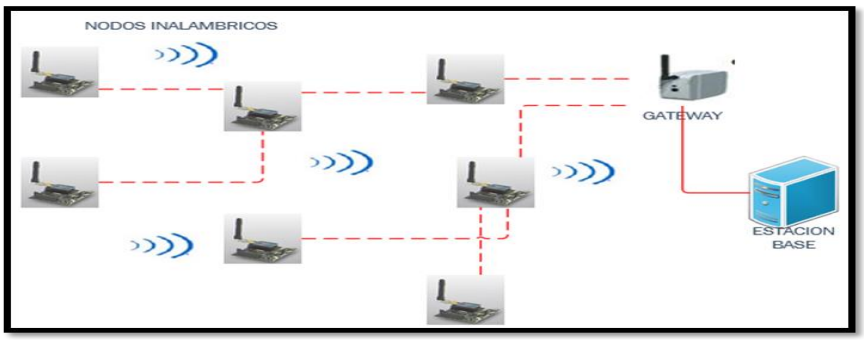


Figura 2. Elementos de red de sensores inalámbricos.

1.2.5 Topologías de las redes de sensores inalámbricas:

Una red de sensores puede ser desplegada en 3 tipos diferentes de topologías. Con el término topología se indica la modalidad en el cual los diferentes dispositivos de la red vendrán configurados, y particularmente, las conexiones físicas y lógicas que permitirán que la red se comunique.

Las tres principales estructuras de topologías son:

- Estrella
- Malla
- *Clúster*

Como muestra la figura 5:

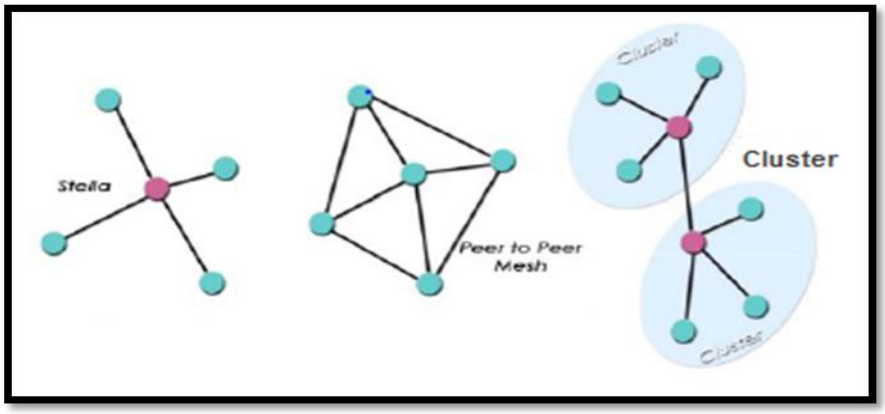


Figura 3. Tipos de topología de una red *Wireless Sensor Network*.
Tomado de (Beltrame, p. 8-9)

1.2.5.1 Topología de Estrella

Es la topología más simple. Requiere que un único nodo se comporte como nodo coordinador y los demás son conectados directamente al coordinador en un enlace de comunicación uno a uno. Los nodos finales no pueden compartir información, pero usan al *gateway* para realizar esa función si es que lo necesitan. El problema de este tipo de topología es que la distancia es limitada entre los nodos finales y la puerta de enlace, y no posee otra ruta alternativa de

comunicación, por lo tanto si algún nodo es obstruido o tiene alguna falla, la información se perdería.

1.2.5.2 Topología de malla

Esta topología es formada por nodos sensoriales que se interconectan entre ellos, cada nodo tiene el mismo nivel de jerarquía, son iguales, se comunican usando un método de multisalto, donde son capaces de recibir y enviar los datos de otro nodo hacia el *gateway*. La ventaja de esta topología es que los nodos si pueden enviarse mensajes entre sí. La información viaja de nodo en nodo lo cual permite que la distancia entre nodo final y puerta de enlace sea enorme, además que si algún nodo llegara a fallar, los datos no se pierden porque pueden elegir diferentes caminos hacia el *gateway*. Es una topología muy confiable.

1.2.5.3 Topología de *Clúster* o Árbol

Esta topología es la mezcla de la topología en malla con la topología en estrella, se divide en áreas, las cuales son formadas de nodos finales y con un solo nodo coordinador. Los nodos finales solo pueden comunicarse con el nodo coordinador de su propia área, mientras que los nodos coordinadores son los encargados de llevar la información hacia el *gateway*, y también pueden comunicarse entre sí (Faludi, 2010, p. 27-28).

Tabla 9. Ventajas y Desventajas Topologías WSN.

TOPOLOGIA	VENTAJAS	INCONVENIENTES
ESTRELLA	Baja latencia Topología muy robusta. Fiabilidad muy alta. Sencillo y rápido en desarrollo. Fácil de desplegar:	No siempre es posible desplegar una topología de este tipo. Escalabilidad baja. Posibles problemas de colisiones cuando

	Gasto energético homogéneo.	aumenta el número de ZEDs. Si falla el nodo central cae toda la red.
ARBOL	Mantiene todas las ventajas de la topología Estrella. Alta escalabilidad. Menor porcentaje de colisiones.	La inclusión de *routers* puede encarecer significativamente la solución final. Puede caer una parte significativa de la red al caer un *router*. Costoso y difícil de desarrollar el algoritmo de enrutado dinámico. Baja fiabilidad de los algoritmos de enrutamiento.
MALLA	Menor coste: no es necesaria una cantidad tan grande de routers para alcanzar una gran escalabilidad. Pueden caer uno o varios nodos que la información seguirá obteniéndose, al existir rutas alternativas.	Complejidad del sistema alta. Alta cantidad de colisiones. Empeora la latencia de la red. Significativas diferencias entre las pruebas en laboratorio y el despliegue real, con lo que se obtienen despliegues muy costosos.

Adaptado de (Longares, 2013).

1.2.6 Comparación de tecnologías inalámbricas (estándares) para las WSN

La siguiente tabla permitirá tomar una decisión sobre qué tipo de tecnología se acopla a las necesidades del proyecto a implementar, tomando a consideración parámetros técnicos.

Tabla 10. Comparación entre Wifi, Bluetooth y Zigbee

	Wifi (IEEE 802.11G)	**Blueetooth (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
N de nodos por master	32	7	64.000
Latencia	*Up to* 3 s	*Up to* 10 s	30 ms
Tipo de datos	Video, audio, gráficos, película, ficheros	Audio, gráficos, películas, ficheros	Pequeños paquetes de datos
Alcance	100 m	10 m	70- 100 m
Expansión	Si	No	SI
Duración Batería	12 a 48 Horas	1 Semana	100 – 1000 Días
Complejidad	Complejo	Muy Complejo	Sencillo
Aplicación Principal	Wlan	Wpan	Control y Monitorización
Memoria Necesaria	1 MB	250 KB	4 – 32KB
Parámetros más importantes	Velocidad y flexibilidad	Costes y perfiles de aplicación	Fiabilidad, bajo consumo y bajo coste

Adaptado de (Pérez, 2013)

Tomando en cuenta los datos de la tabla 10, la mejor opción para el escenario del proyecto, que es “Diseñar un prototipo de red de sensores inalámbricos para detectar incendios forestales”, es sin duda, la tecnología Zigbee con el estándar IEEE 802.15.4, sobre todo por su fiabilidad, bajo consumo energético,

bajo coste de implementación, debido a que el mismo fue diseñado específicamente para aplicaciones de control y monitoreo.

1.2.7 Estándar IEEE 802.15.4

El estándar IEEE 802.15.4 fue creado específicamente para las redes WSN. Define el nivel 1 (capa física) y nivel 2 (capa de control de acceso al medio), los dispositivos de la red pueden estar en dos diferentes modalidades: *Reduced Function Device* (RFD) y *Full Function Device* (FFD). FFD tiene la función de coordinador y puede operar en cualquier topología de la red, mientras que el RFD es utilizado únicamente en la topología de estrella, no puede ser coordinador de la red.

La posibilidad que ofrece el protocolo a los dispositivos de poder crear un enlace con los otros dispositivos adyacentes, permite construir redes de grandes dimensiones y muy complejas, pasando de estructuras de tipo estrella a estructuras formadas de clúster (Beltrame, 2008, p. 17-18).

1.2.8 Capa Física

Los servicios que este nivel físico ofrece, intervienen sobre el sistema de apagado y encendido del módulo de radio. Esta operación permite al sistema que ahorre energía. También elige el canal de comunicación, calculando un estimado sobre la ocupación del canal y analiza la relación señal/ruido del canal para elegir el mejor, disminuyendo la posibilidad de error al transmitir. Además modula y demodula las señales en recepción y transmisión (Beltrame, 2008, p. 18-19).

Tabla 11. Bandas de frecuencia para WSN.

PHY (MHz)	Banda de Frecuencia (MHz)	Extensión de los parámetros		Parámetros de datos.		
		Chip rate (Kchip/s)	Modulación	Velocidad del bit (Kb/s)	Velocidad del símbolo (Ksymbol/s)	Símbolos
868/915	868-868.6	300	BPSK	20	20	Binario
	902-928	600	BPSK	40	40	Binario
868/915 (opcional)	868-868.6	400	ASK	250	12.5	20–bit PSSS
	902-928	1600	ASK	250	50	5–bit PSSS
868/915 (opcional)	868-868.6	400	O-QPSK	100	25	16-ary ortogonal
	902-928	1000	O-QPSK	250	62.5	16-ary ortogonal
2450	2400-2483.5	2000	O-QPSK	250	62.5	16-ary ortogonal

Adaptado de (Beltrame, 2008, p.17)

1.2.9 Capa de Control de Acceso al Medio:

El Segundo nivel es la capa de control de acceso al medio, ofrece servicios tales como, la posibilidad de crear una red PAN *(Personal Area Network)*, la transmisión de balizas y el acceso al canal vía el protocolo CSMA/CA. Este nivel soporta algoritmos de cifrado basados en AES-128 para la seguridad de los datos. Gestiona también el *handshake*, es decir, el reconocimiento para la retransmisión de los datos en caso de fallo o de recepción errónea. Calcula y verifica la integridad de la PDU. La red puede soportar hasta un máximo de

65536 nodos porque utiliza un direccionamiento de hasta de 16 bits (Beltrame, 2008, pp. 17-18).

1.2.10 Zigbee

Zigbee Alliance creó el protocolo Zigbee, que es una agrupación de protocolos de alto nivel para las comunicaciones inalámbricas que se basa en el estándar IEEE 802.15.4. Pensada para redes que necesiten transmitir pequeños paquetes de datos, que tenga el menor desgaste de energía y con el menor costo de implementación. Con esta tecnología se puede crear redes de enlace punto a punto, multipunto e incluso ad-hoc, lo cual permite a los dispositivos de la red comunicarse de manera inalámbrica, realizando una tarea específica, que es recolectar información del medio con sensores en entornos agrícolas, médicos, industriales, domóticos, entre otros.

Zigbee opera principalmente en la banda de 2.4 MHz que es una banda libre y sin licencia. Poseen hasta 16 canales, con un ancho de banda de 5 MHz y mediante esta frecuencia realiza las comunicaciones inalámbricas. Su alcance viene dado según la potencia de transmisión y del tipo de antena que se utilice. Si se utiliza una antena dipolo con una potencia de 1mW en espacios exteriores, su alcance es de 100 m y en interiores de 30 m, su velocidad de transmisión es de 256 Kbps (Martínez, 2014, p. 10- 13)

Otro punto importante es la cantidad de nodos que este protocolo puede controlar que son teóricamente 65535. El grupo Digi es el encargado del hardware de Zigbee. Ellos generan los dispositivos Xbee que sirven para la comunicación inalámbrica. Existe gran variedad de este tipo de módulos Xbee que ofrecen diferentes tipos de soluciones dependiendo de los requisitos de la red a poner en funcionamiento (Domodesk, s.f.)

¿Por qué usar Zigbee?

- Bajo costo.
- Fácil despliegue.
- Larga vida de las baterías.
- Seguro.
- Escalable.
- Gran número de nodos.
- Puede ser usado Globalmente.

Especificaciones técnicas:

- Velocidad 0.01 – 0.1 Mps.
- Banda 2.4 GHz, 16 canales, y una tasa de 250 Kpbs.
- Banda 902 – 928 MHz, 10 canales, y una tasa de 40 Kps.(América Y Pacifico).
- Banda 868 – 870 MHz, tasa de 20 Kps (Europa).
- Acceso al canal mediante CSMA/CA (acceso múltiple por detección de portadora con evasión de colisiones).

1.2.10.1 Arquitectura:

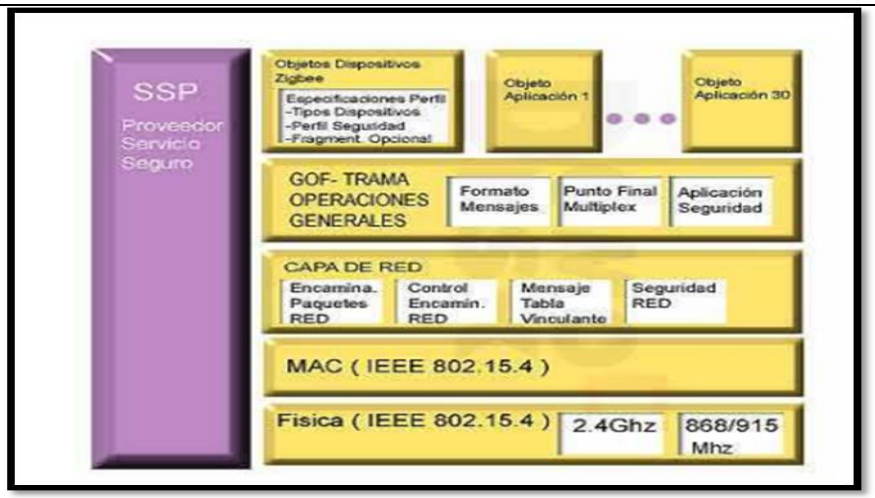


Figura 4. Arquitectura Zigbee

Tomado de (Moreno, 2012)

Esta arquitectura sigue como referencia el modelo OSI (*Open System Interconnection*), constituido por diferentes capas. Como se mencionó Zigbee se basa en el estándar IEEE 802.15.4, el cual hace referencia a la capa física PHY (*Physical Layer)* y la capa de acceso MAC, (*Medium Access Control*).

Zigbee Alliance establece las capas superiores y la seguridad del protocolo, por último, la capa de aplicación viene dado por cada fabricante, es importante decir que Zigbee es inmune al ruido, comparándolo con *Bluetooth* o *Wifi.*

Entonces Zigbee extiende el estándar IEEE 802.15.4 contribuyendo con una capa de red (*Nwk, Network Layer*) de aplicación que posee los perfiles de uso, de seguridad y mensajería. La capa de red se encarga del correcto uso de la capa MAC y de brindar una interfaz para el uso de los niveles superiores, también del enrutamiento de los nodos sensoriales. La entidad de datos se encarga de crear y dirigir los datos a raíz del *payload* del nivel de aplicación y lo enruta según la topología que mantiene la red.

Las funciones de control en cambio configuran a los nuevos dispositivos y establecen nuevas redes. Deciden si el dispositivo colindante pertenece a la red y reconoce vecinos y nuevos *routers*, además localiza receptores que facilitan la sincronización y la comunicación directa a nivel MAC. De esta manera, Zigbee junto al estándar IEEE 802.15.4, forman una pila de protocolos que facilita la comunicación de los dispositivos de una manera sencilla y eficiente (Glen y Moreno, 2012).

1.2.10.2 Enrutamiento

Los principales puntos que se deben tomar en cuenta son el algoritmo implementado en la capa de red, el cual debe tener un balance entre gasto por unidad, gasto de energía y la complejidad del despliegue. Para de este modo obtener la relación costo/beneficio conveniente para la aplicación.

AODV (*Ad hoc On Demand Distance Vector)* es un algoritmo muy sencillo, sobre todo tiene baja demanda de procesamiento, en el cual los nodos conservan una tabla de enrutamiento de las direcciones conocidas. En el inicio de la tabla que se presenta a continuación se encuentran sus vecinos, y la misma se expande si encuentra algún nodo con camino desconocido, enviando mensajes de descubrimiento que viajan por los nodos hasta situarse en el destino, y desde el destino hace lo contrario, viaja hasta situarse en el nodo origen, y los demás nodos actualizan sus tablas.

1.2.10.3 Aplicaciones en las que se puede aplicar Zigbee

	Agricultura y ganadería	**Medio Ambiente**	**Salud**	**Conectividad**	**Seguridad y emergencias**	**Procesos industriales**
	Condiciones óptimas de cada cultivo. Cuidado del crecimiento animales	Detectar y prevenir incendios forestales. Controlar contaminación	Atención y control constante	Conectividad en una empresa, hospital, centro comercial, universidad ...	Detectar intrusos y enviar alarmas	Emisiones y escapes de gases. Condiciones en laboratorios.
Sensores	Humedad, temperatura, luminosidad	Infrarrojos, ultravioleta Acústicos Temperatura etc	Medición de parámetros biométricos .ambientales.		Infrarrojos, ultrasonidos, vibración	De medición de diferentes gases, radiaciones…
Topología	malla		Estrella	malla		
# nodos	< 100 Distancia entre nodos 10-100m	< 100	Desde 1 a 5	Depende del centro	Depende del edificio	Desde 1 a 5 nodos por laboratorio
Interferencias	La vegetación podría ser un obstáculo	Sí, debido a las grandes distancias entre nodos	Obstáculos líquidos en el interior de un cuerpo humano	Paredes. Atenúan de manera insignificante la señal	No	Productos químicos que puedan atenuar la señal
Indoor	Sí	No	Sí			
Outdoor	Sí		No		Sí	
Baterías	Portátil. Duración mínima de 6 meses	Portátil Duración de años	Portátil Dimensión pequeña Duración días, meses o años	Fija Duración indefinida		
Pérdida paquetes	Depende de la batería y las interferencias			Depende de las interferencias		

Figura 5. Aplicaciones donde se aplica Zigbee.

Tomado de (Glen y Moreno, 2012)

1.2.11 Procesamiento de señales del Microcontrolador

Las señales se procesan, es decir si son analógicas se las convierte en digitales. El proceso consiste en que la señal analógica ingrese a un dispositivo electrónico el cual tiene una salida digitalizada binaria, este dispositivo se llama Conversor Analógico – Digital (CAD), el cual consta de una entrada para la señal analógica, y su salida depende del número de bits que se van a utilizar como muestra la figura 6:

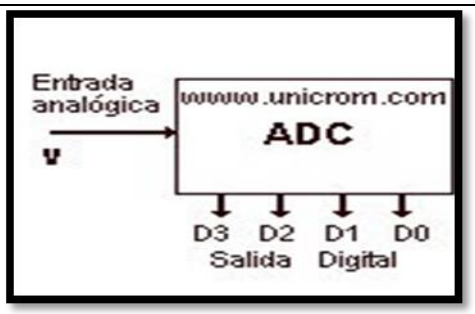


Figura 6. ADC de 4 bits.
Tomado de (Microcontroladores, s.f.)

Los pasos que realiza son:

- **Muestreo**: Toma muestras de la señal análoga en intervalos designados, lo cual toma el nombre de frecuencia de muestreo. Son las muestras que se toman por segundo.
- **Retención:** La señal se dirige a un circuito retenedor que guarda la señal un tiempo como para que el ADC haga la fase de cuantificación.
- **Cuantificación:** Mide el valor de todas las muestras y fija el margen de valor a la salida del nivel determinado.
- **Codificación:** Traslada los valores conseguidos en el paso anterior a código binario, es decir, es la señal ya digitalizada (Hurican, 2007).

1.2.12 Modelos de Propagación Inalámbrica para áreas Forestales

Para implementar el prototipo en un área forestal hay que tomar en cuenta que existen varios modelos de propagación inalámbrica dentro de un bosque. Para seleccionar uno de ellos, primero se debe conocer aspectos como: densidad de los árboles, la irregularidad del terreno y difracciones que pueden presentarse por los obstáculos que existan dentro del área.

Los modelos son los siguientes:

- Modelo de Weissberger
- Modelo de ITU Recomendación (ITU-R)
- Modelo de Cost 235(ITU-R)

Tabla 12. Comparación de Modelos de propagación en bosques.

	Weissberger	**ITU-R**	**COST235**
Cálculo de Pérdidas	En base a la frecuencia del enlace, altura de los árboles y densidad de hojas	En base a la frecuencia y distancia del enlace	En base a la frecuencia y distancia del enlace
Distancia máxima de cálculo	no se basa en la distancia	< 400 metros	< 200 metros
Frecuencias de operación	UHF 230 MHz hasta 95 GHz	UHF	de 9.6GHz hasta 57.6GHz

Adaptado de (Arellano, Ávila, Erazo y Hervas, 2015, p. 117-120)

El 80 % de la vegetación del parque metropolitano de Quito es de árboles de eucalipto, con una altura promedio de 15m, este tipo de árbol siempre se encuentra con hojas. El parque tiene una extensión de 560 hectáreas ubicado al norte de la capital desde la Avenida Eloy Alfaro subiendo por la calle Guangüiltagua.

Tomando en cuenta los datos del tipo de vegetación existente y la información de la tabla 12, el modelo que se adapta para el parque Metropolitano de Quito es Modelo de Weissberger.

Entonces para calcular la perdida de potencia en decibelios por la existencia de la vegetación del bosque tenemos dos ecuaciones

1. Lw (dB) = 1,33f ^0,284 d^0,588 14m < d ≤ 400m (Ecuación 1)

2. Lw (dB) = 0,45f^ 0,284^d 0m < d ≤ 14m (Ecuación 2)

Donde:

- Lw = es la perdida de potencia en decibelios por la vegetación.
- f = es la frecuencia expresada en GHz.
- d = es la distancia de separación desde el ingreso de la señal en la vegetación hasta el dispositivo receptor.

Otra perdida de potencia es por la densidad de las hojas que afecta a la trayectoria de la señal que tiene un valor aproximado de 3 a 5 dB (Arellano, Ávila, Erazo y Hervas, 2015, p. 117-120).

2. DISEÑO DEL PROTORIPO DE RED

2.1 Diagrama de red

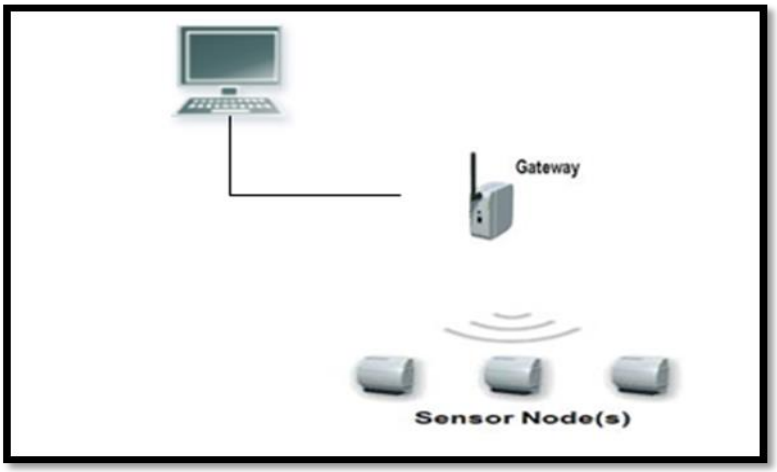


Figura 7. Diagrama de prototipo de red.

Para el proyecto se tomará en cuenta los sensores mencionados en el capítulo anterior, la red de sensores inalámbricos estará compuesta de 3 nodos y un gateway, como muestra la figura 10. Cada mota está compuesta de lo siguiente:

2.1.1 Mota Principal:

- Sensor de temperatura y Humedad DHTT22.
- Sensor de CO2 (Dióxido de carbón) MG-811.
- Sensor de CO (Monóxido de carbón) MQ7.
- Sensor de CH4 (Metano) MQ4.
- GPS NEO-6M.
- Batería de Lipo
- Panel solar
- Nano ATmega328P Arduino
- Xbee S2B PRO

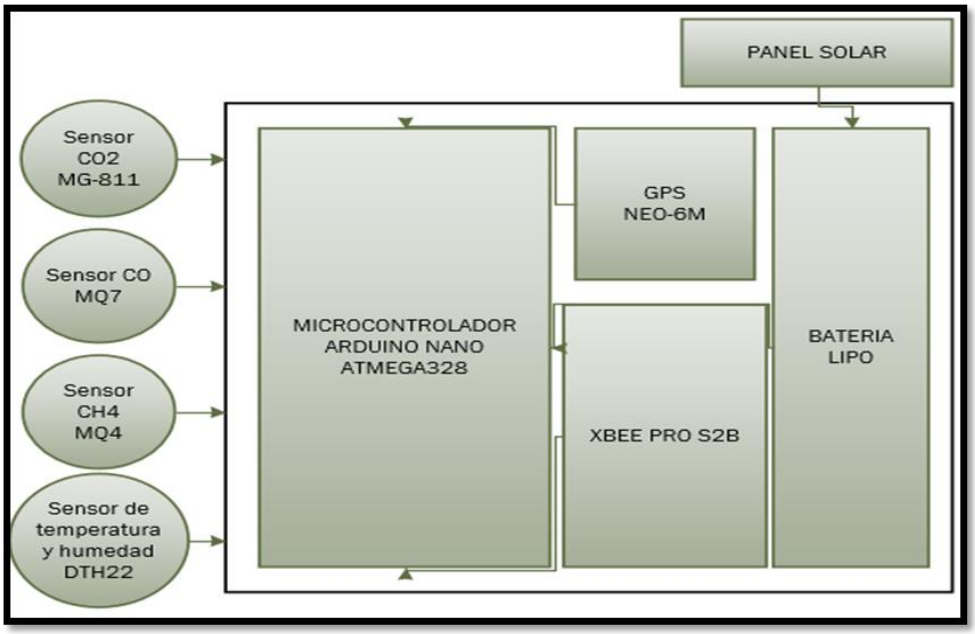


Figura 8. Diagrama de mota principal

2.1.2 Mota Secundarias:

- Sensor de temperatura y humedad DHTT11
- Nano Atmega328P Arduino
- Xbee S2B PRO
- Batería de Lipo

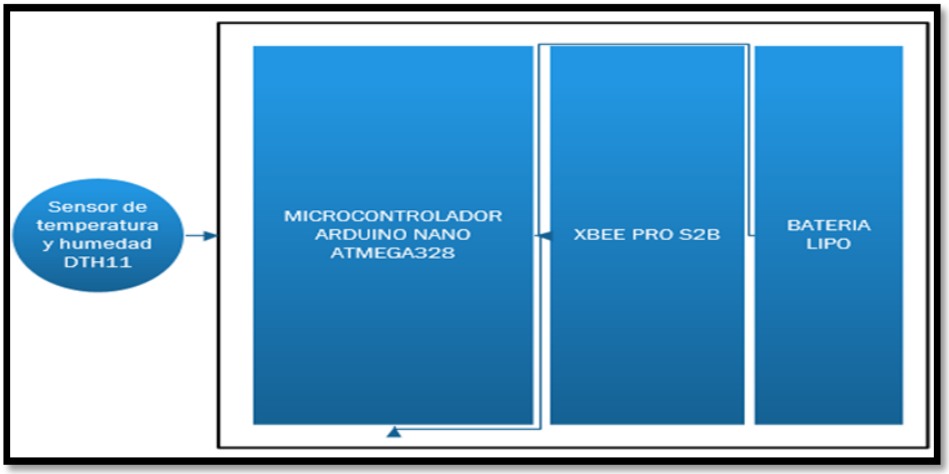


Figura 9. Mota secundaria

2.2 Características de los sensores del nodo principal

2.2.1 Sensor DHT22:

El sensor DHT22 es capaz de medir la temperatura mediante un termistor, y la humedad mediante un sensor de humedad capacitivo, además tiene un conversor análogo-digital para que la señal de salida sea digital. Este sensor permitirá obtener la temperatura y humedad del ambiente a monitorear, censándola constantemente. (Erazo y Hervas, 2014, p, 7)

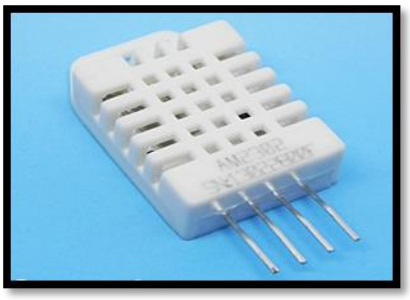


Figura 10. Sensor DHT22

Tomado de: (ElectronicLab, s.f.)

2.2.1.1 Características técnicas:

Tabla 13. Características técnicas del sensor DHT22.

SENSOR DHT22	
Alimentación	3.3 a 5 V
Corriente máxima durante la conversión	2.5 mA
Lectura de humedad	± 2 % a 5% de precisión
Lectura de temperatura	± 0.5 °C de precisión
Capaz de medir humedad	0% a 100%
Capaz de medir temperatura	-40 a 80 °C
Velocidad de muestreo	0.5 Hz (una vez cada 2 segundos)
Dimensiones	15.1mm * 25mm * 7.7mm

Adaptado de: (ElectronicLab, s.f.)

Conexión:

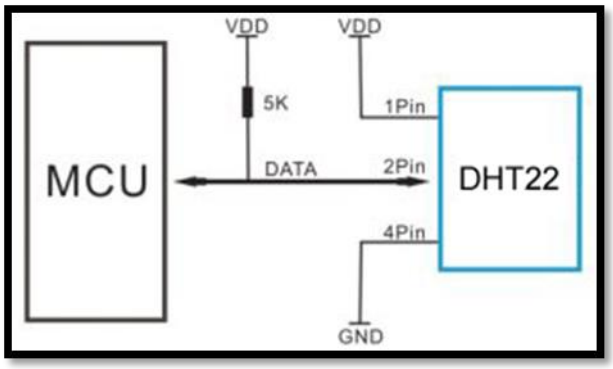


Figura 11. Función de pines del sensor DHT22

Tomada de: (Mechatronics, s.f.)

2.2.2 Sensor MG-811 (CO2):

El sensor está compuesto de un módulo MG-811 que es altamente sensible al gas de CO2. Este tipo de gas está presente en el aire, por lo general en el ambiente su valor es de 350 a 400 ppm (partículas por millón). Además está presente cuando existe una combustión, es decir cuando está ocurriendo un incendio, por esa razón se lo toma en cuenta para ser implementado en el prototipo de red, ya que se encargará de medir la cantidad de ppm existentes en el ambiente a monitorear.

Figura 12. Sensor de CO2 MG-811

Tomado de: (Dfroboot, s.f.)

2.2.2.1 Características técnicas:

Tabla 14. Características técnicas del sensor MG-811 CO2.

SENSOR MG-811 CO2	
Alimentación	5 V
Interfaz	Analógico
Salida digital	1
Temperatura de operación	-20°C +50°C.
Corriente de operación	200 mA
Rango de detección	350 – 10000 ppm
A bordo	Circuito de calefacción
Conector	De alta calidad

Adaptado de: (Dfroboot, s.f.)

Conexión:

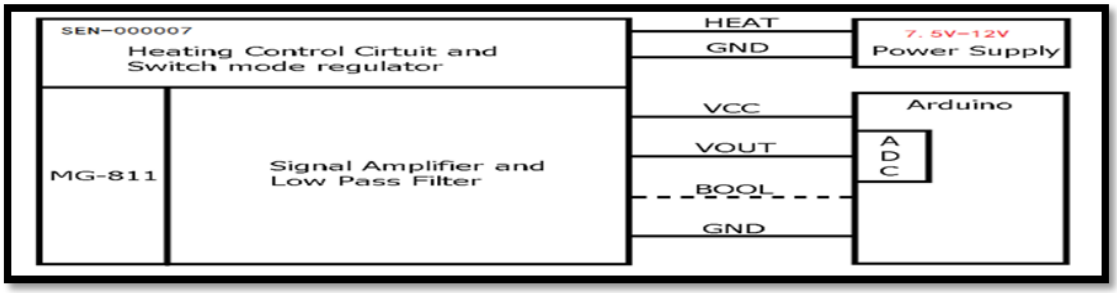


Figura 13. Modelo de conexión sensor MG811

Tomado de: (Becerra, 2016)

2.2.3 Sensor MQ7 (CO):

El sensor MQ7 permitirá obtener mediciones sobre la cantidad de monóxido de carbono que existe en el aire. Es capaz de medir de 20 a 2000 ppm (partículas por millón) de CO, además altamente sensible y su respuesta es rápida.

Figura 14. Sensor de CO MQ7

2.2.3.1 Características técnicas:

Tabla 15. Características técnicas del sensor MQ7

SÍMBOLO	NOMBRE DEL PARÁMETRO	CONDICIÓN TÉCNICA	OBSERVACIÓN
Vc	Voltaje del circuito	5V ± 0.1	AC o DC
VH(H)	Voltaje de calentamiento (alto)	5V ± 0.1	AC o DC
VH(L)	Voltaje de calentamiento (bajo)	1.4V ± 0.1	AC o DC
RL	Resistencia de carga	Se puede ajustar	
TH(H)	Tiempo de calentamiento (alto)	60 ± 1 segundos	
TH(L)	Tiempo de calentamiento (bajo)	90 ± 1 segundos	

Tao	Temperatura de uso	-20°C -50°C	
RH	Humedad relativa	Menor a 95%RH	
Rs	Resistencia de la superficie sensible	2 – 20KΩ	En 100ppm de monóxido de carbono
	Rango de detección	20ppm-2000ppm de monóxido de carbono	

Adaptado de (Futerlec, s.f.)

Conexión:

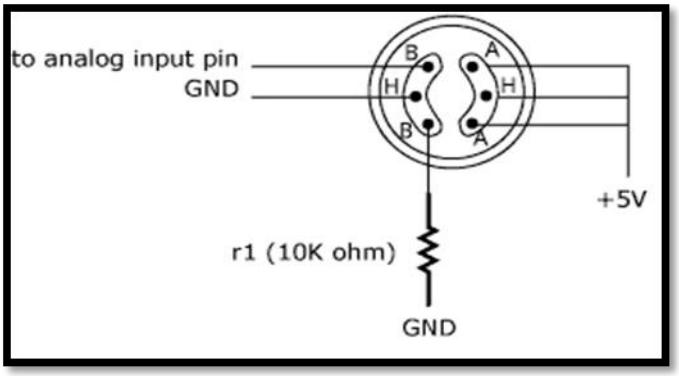


Figura 15. Modelo de conexión Sensor MQ7
Tomado de (MQ7 datasheet s.f.)

2.2.4 Sensor MQ4 (CH4):

El sensor MQ4 permite obtener la concentración de gas metano (CH4), su rango de detección es de 300 ppm a 10000 ppm, igual que el sensor MQ7 es altamente sensible y su respuesta es rápida.

Figura 16. Sensor MQ4 (CH4)

2.2.4.1 Características Técnicas:

Tabla 16. 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	≤24V DC
	Tensión temperatura	VH	5.0V ± 0.2V AC o DC
	Resistencia de carga	RL	Ajustable
	Resistencia del calentador	RH	31Ω ± 3Ω
	Consumo	PH	≤ 900mW

Carácter	Resistencia de detección	RS	2KΩ-20KΩ(5000ppm CH_4)
	Sensibilidad	S	Rs(in air)/Rs(5000ppmCH4) isobutano ≥5
	Pendiente	α	≤0.6(R5000ppm/R3000ppm CH4)
Condiciones de operación	Temperatura Humedad		20°C ± 2°C；65% ± 5% RH
	Circuito de prueba estándar		Vc:5.0V±0.1V ; VH: 5.0V±0.1V
	Tiempo de precalentamiento		Más de 48 horas

Adaptado de (MQ4 datasheet, s.f.)

Conexión:

Este sensor se conecta de igual manera que el sensor MQ7.

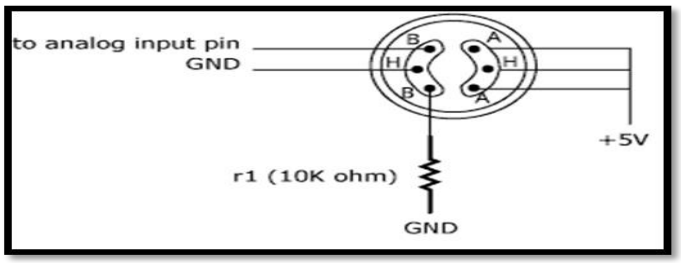


Figura 17. Modelo de conexión MQ4.

Tomado de (MQ4 datasheet, s.f.)

2.2.5 GPS Neo-6M:

El modulo GPS de marca Ublox Neo-6M viene lista para operar, su tamaño es reducido, por lo cual es perfecta para implementarse en proyectos inalámbricos, además ya viene con una antena y no necesita de más accesorios para su funcionamiento. Este tipo de GPS nos brinda la siguiente información: latitud, longitud, hora etc. Ublock datasheet (s.f.).

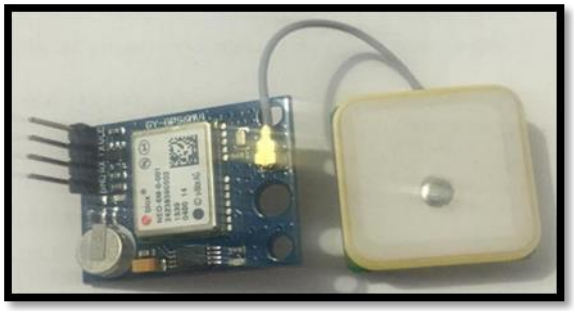


Figura 18. GPS Neo-6M.

2.2.5.1 Características Técnicas:

Tabla 17. 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	1Hz	
Límites de operación	Altitude Velocity Aceleración	Max 18,000m Max 515m/s Menor a 4g
Antena especificaciones	OutlineDimension 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 ±5% 55mA (typical)
Entorno	Temperatura de operación Temperatura de almacenamiento	40 ~ +85 °C (sin batería de respaldo) 0 ~ +125 °C

Adaptado de: (Ublock datasheet, s.f.)

Conexión:

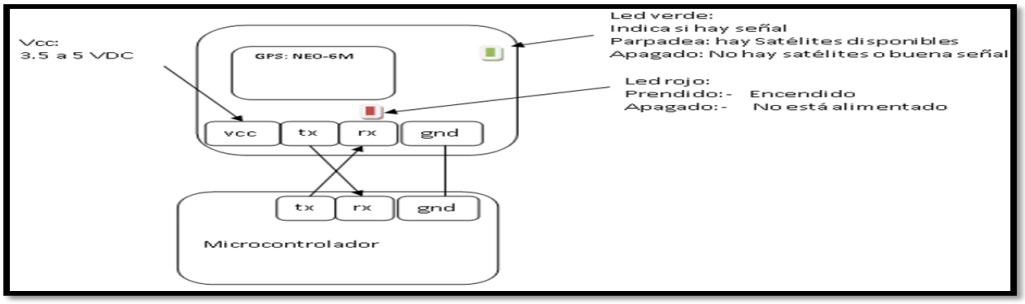


Figura 19. Modelo de conexión GPS NEO-6M.

Tomado de: (Hetpro,s.f.).

2.2.6 Batería de Lipo:

Se escogió utilizar la batería de Lipo porque son livianas, de menor tamaño, su capacidad sobrepasa a sus antecesoras, su durabilidad es superior y son perfectas para utilizarlas en proyectos de radio frecuencia.

Para escoger el tipo de batería primero se debe realizar el cálculo del consumo energético del circuito electrónico.

2.2.6.1 Calculo de la Corriente Del Circuito:

Tabla 18. Cálculo de corriente del circuito

Dispositivos	Consumo en mA
Sensor de Temperatura y Humedad	2.5 mA
Sensor de CO2	200 mA
Sensor de CO	150 mA
Sensor de CH4	180 mA
GPS	55 mA
Xbee s2b PRO en Transmisión	220 mA
Total:	807.5 mA

La corriente del circuito es de 807.5 mA, tranquilamente se puede utilizar una batería de Lipo de 3.7 Voltios con 1000 miliamperios hora, ya que se usará un Lipo Rider Pro, el cual mantendrá al circuito alimentado con 5v fijos.

Figura 20. Batería de Lipo de 3.7 Volts.
Tomado de: (Amazon, s.f.)

2.2.7 Panel Solar:

El panel solar consta de una superficie construida de silicio mezclado con otros materiales, que originan cargas positivas y negativas como el fosforo y boro. Con el fin de generar las cargas positivas y negativas para producir electricidad.

El proceso empieza cuando los rayos solares llegan al panel, es decir la luz llega en forma de fotones, los cuales chocan con la superficie del panel produciendo electrones que al ser capturados producen corriente eléctrica (Ruiz, 2015)

El panel solar juega un importante papel para el circuito electrónico, él se va encargar de recargar a la batería de Lipo, con la ayuda del Lipo Rider Pro.

Figura 21. Panel Solar.

Tomado de: (Amazon s.f.)

2.2.7.1 Características Técnicas:

Tabla 19. Características técnicas del panel solar.

Panel Solar	
Alimentación	5 V
Corriente de operación	500 mA
Potencia	2.5 W
Tasa de conversión	17%
Peso	92 g
Tamaño	130mm * 150mm
Packgae	1 piezas de paneles solares.

Adaptado de (Amazon s.f.)

2.2.8 Lipo Rider PRO:

Es una placa electrónica que permite conducir las ondas solares hacia el circuito que se desea alimentar con 5V fijos sin necesidad de programarla, ya que viene lista para usar, también permite recargar la batería de Lipo. Es muy sencillo de utilizar, en un extremo se conecta el panel solar, al otro la batería y del USB sale al circuito, de esta manera se obtiene energía verde.

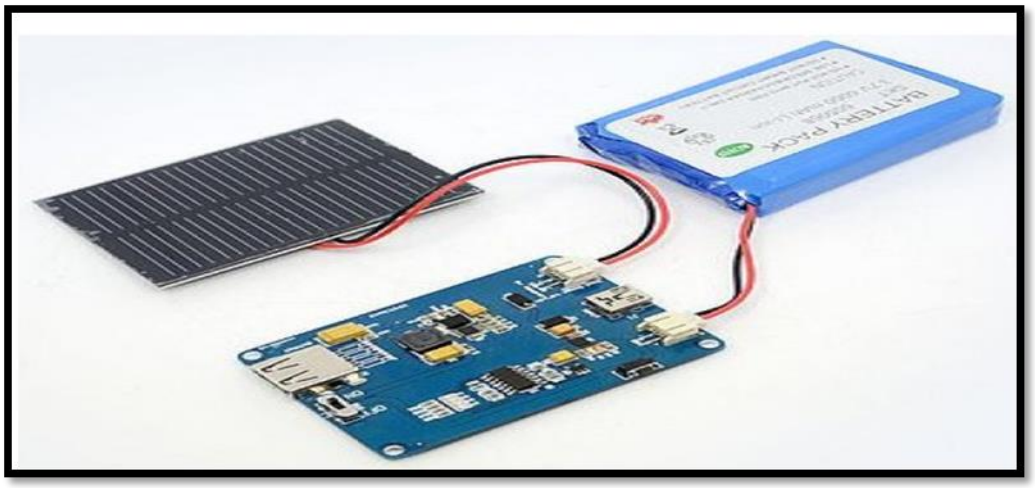


Figura 22. Conexión Lipo Rider PRO con panel Solar.

Tomado de: (SeedWiki, s.f.)

2.2.8.1 Características Técnicas:

Tabla 20. Características de Lipo Rider PRO

LIPO RIDER PRO	
Salida de carga máxima	1 A
Modelo de batería y panel solar	JST 2.0
Fuente de alimentación	5 V
Algoritmos de cargar y recarga	Incorporados en el chip
Batería se carga	Mediante energía solar o puerto USB
Tensión de alimentación estable	Mediante batería o puerto USB
Puertos que permiten programar	2
Indicadores LED	Para carga completa y estado de batería
4 leds verdes	Advierten la cantidad de electricidad de la batería lipo

Adaptado de (Rambal, s.f.)

2.2.9 Arduino Mini PRO ATmega328:

Este Arduino Mini PRO consiste en una placa electrónica basada en el ATmega328, este dispositivo cuenta con 14 pines digitales e/s, (6 de ellos se utilizan como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un botón de reinicio. Es pensado para proyectos donde sea necesario ocupar menos espacio, su instalación es semipermanente, además permite varios conectores o soldar directamente cables.

Para programar el microcontrolador se utiliza el software de Arduino que se explicará más adelante como hacerlo.

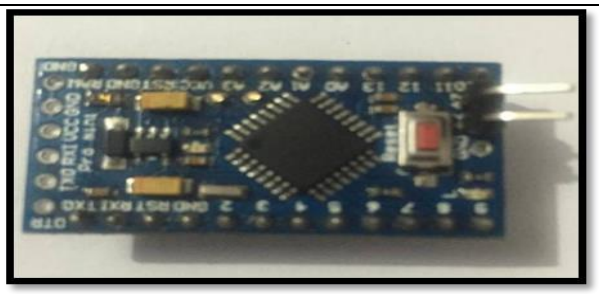


Figura 23. Arduino Mini Pro ATmega328.

2.2.9.1 Características Técnicas:

Tabla 21. 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 (Ingeniería Electrónica, s.f.)

2.2.10 XBEE S2B PRO:

Los módulos Xbee son chips azules que nos permiten la comunicación inalámbrica entre dispositivos, son muy fáciles de usar, se los emplea para crear redes punto - punto, y punto – multipunto, basados en el protocolo Zigbee. Existe una gran variedad de ellos, pero no todos son compatibles, eso hay que tomar en cuenta al momento de elegir uno, entonces bajo esta premisa se utilizará para el prototipo los XBee S2B PRO.

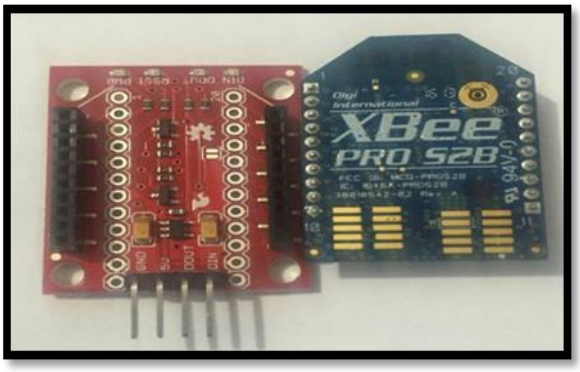


Figura 24. Xbee S2B PRO.

La serie 2B son nuevos módulos que mejoran en *hardware* (uso de la potencia) respecto a los serie 2, pueden operar en AT y API, además tienen que ser configurados previamente para utilizarlos con el *software* XCTU. La versión PRO se diferencia de la normal en que tiene mayor alcance (1.5 km en línea de

vista), y en hardware es un poco más largo. Para tomar la decisión de qué tipo de Xbee se debe utilizar hay que basarse simplemente en la distancia que se vaya a colocar el uno del otro.

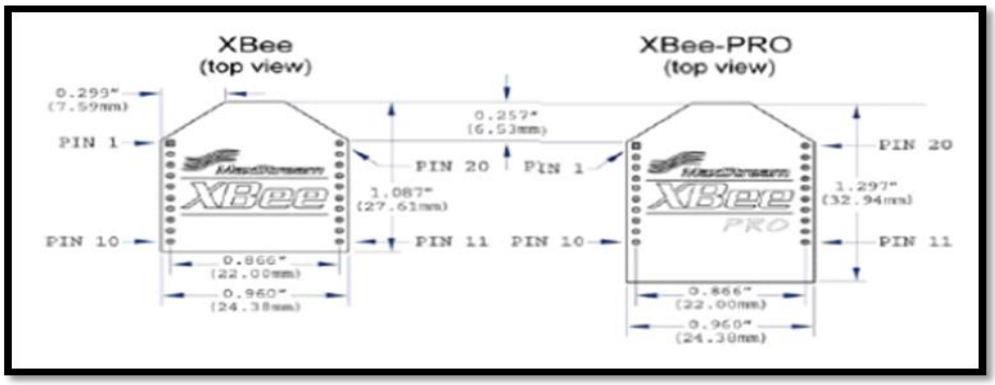


Figura 25. Comparación Xbee vs Xbee PRO
Tomada de: (Ingenio Solido, s.f.)

Los Xbee tienen 2 maneras de comunicación inalámbrica:

2.2.10.1 Modo AT (Transmisión serial transparente)

Es el modo más sencillo de utilizar los módulos Xbee, la comunicación inalámbrica es similar a la transmisión de un puerto serial, porque el dispositivo crea una trama y cuando los datos lleguen al pin Tx son enviados inalámbricamente. La desventaja es si se necesita que envíe los datos a diferentes nodos, ya que es necesario ingresar para configurar la dirección de destino constantemente.

2.2.10.2 Modo API (Application Programming Interface).

Este modo se lo emplea en redes con topología en malla, es decir en redes muy grandes, donde no hay como perder el tiempo en entrar y salir al modo configuración, para que la información viaje entre diferentes nodos. La trama

tiene que ser creada por un microcontrolador externo, especifica al tipo de información que se envía (Duarte, 2010).

2.2.10.3 Características Técnicas:

Tabla 22. Características técnicas Xbee-PRO S2B.

Xbee-PRO S2B	
Cobertura (interiores)	60 a 90 m
Cobertura (exteriores)	3200 a 1500 m
Potencia de Transmisión	63mW(+18dBm) 10mW(+10dBm) variante internacional
Velocidad de datos RF	250.000 bps
Velocidad de datos de interfaz en serie	1200 bps – 1Mbps
Receptor sensible	-102 dBm

Adaptado de (Digi International Inc, s.f.)

2.2.10.4 Descripción de los Pines de Xbee PRO:

Pin #	Name	Direction	Default State	Description
1	VCC	-	-	Power supply
2	DOUT	Output	Output	UART Data Out
3	DIN / $\overline{\text{CONFIG}}$	Input	Input	UART Data In
4	DIO12	Both	Disabled	Digital I/O 12
5	$\overline{\text{RESET}}$	Both	Open-Collector with pull-up	Module Reset (reset pulse must be at least 200 ns)
6	RSSI PWM / DIO10	Both	Output	RX Signal Strength Indicator / Digital IO
7	DIO11	Both	Input	Digital I/O 11
8	[reserved]	-	Disabled	Do not connect
9	$\overline{\text{DTR}}$ / SLEEP_RQ/ DIO8	Both	Input	Pin Sleep Control Line or Digital IO 8
10	GND	-	-	Ground
11	DIO4	Both	Disabled	Digital I/O 4
12	$\overline{\text{CTS}}$ / DIO7	Both	Output	Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7. CTS, if enabled, is an output.
13	ON / $\overline{\text{SLEEP}}$	Output	Output	Module Status Indicator or Digital I/O 9
14	VREF	Input	-	Not used for EM250. Used for programmable secondary processor. For compatibility with other XBEE modules, we recommend connecting this pin voltage reference if Analog sampling is desired. Otherwise, connect to GND.
15	Associate / DIO5	Both	Output	Associated Indicator, Digital I/O 5
16	$\overline{\text{RTS}}$ / DIO6	Both	Input	Request-to-Send Flow Control, Digital I/O 6. RTS, if enabled, is an input.
17	AD3 / DIO3	Both	Disabled	Analog Input 3 or Digital I/O 3
18	AD2 / DIO2	Both	Disabled	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	AD1 / DIO1	Both	Disabled	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	AD0 / DIO0 / Commissioning Button	Both	Disabled	Analog Input 0, Digital IO 0, or Commissioning Button

Figura 26: Descripción de pines Xbee S2b Pro.

Tomado de: (Digi International Inc, s.f.)

2.2.10.5 Conexión Xbee con Arduino

Para conectar el módulo Xbee con el microcontrolador ATmega328 de la placa Arduino se usa los pines DIN Y DOUT del Xbee. Es importante recalcar que en el microcontrolador se puede virtualizar los puertos seriales para conectarlos, es decir en vez de usar el Rx Y Tx del Arduino. Se puede utilizar los pines digitales del 2 al 13. Así para el prototipo se utilizó el pin 5 y 6, configurándolo en el software del Arduino de la siguiente manera (ver figura 27):

```
SoftwareSerial Xbee(6,5); //virtualizamos puertos seriales para comunicacion inlambrica mediante Xbee

void setup() {
Serial.begin(9600);
Xbee.begin(9600); //Inicia comunicacion serial para xbee en 9600 bps
dht.begin();
}
```

Figura 27: Sentencia visualización de puertos para Xbee

Así se puede dejar libre el Rx y Tx del microcontrolador para utilizar esos pines en otras tareas, como por ejemplo para programar las configuraciones necesarias. En la siguiente figura se muestra la conexión Xbee con el microcontrolador:

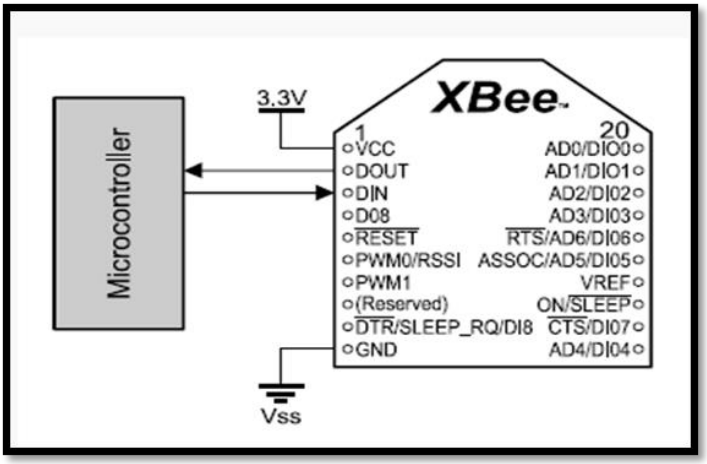


Figura 28. Xbee conexión con Arduino

Tomado de: (Xbee, s.f.)

2.3 Programación con Software Arduino

Con este software se puede programar una gran variedad de placas de Arduino que existen, como por ejemplo:

- Arduino Uno.
- Arduino Leonardo.
- Arduino Due.
- Arduino Yun.
- Arduino Robot.
- Arduino Esplora.
- Arduino Mega ADK.
- Arduino Ethernet.
- Arduino Mega 2560.
- Arduino Nano.
- Arduino PRO Mini.

Y existen muchos modelos más. Lo importante es recalcar que cada una de estas placas consta con un microcontrolador que es programable. Para ello Arduino tiene su *software* libre que lo podemos descargar de su sitio web, (https://www.arduino.cc/en/Main/Software) y una vez instalado solo se debe conectar la placa al computador mediante un cable USB.

Figura 29. PC conectado con Arduino.
Tomado de (Batrako, s.f.)

El *software* es muy sencillo de utilizar y es muy amistoso con el usuario, la presentación de su interfaz es simple, como se observa en la figura 33.

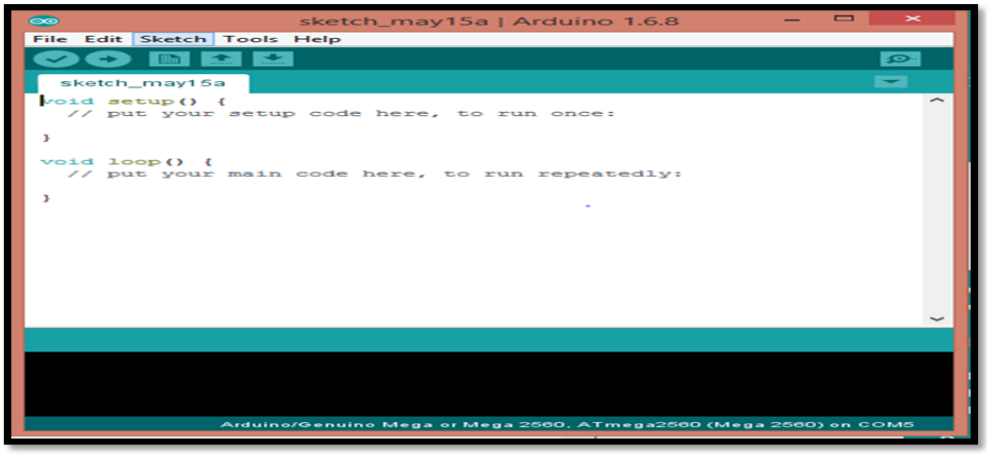


Figura 30. Software Arduino.

En la fila principal del programa se tiene las opciones de *File, Edit, Sketch, Tools* y *Help*. En la opción *File* se despliega opciones para crear, guardar, cerrar y abrir nuevos proyectos, además se encuentra una opción que es muy importante la opción *Examples* donde existen ejemplos de mini programas que se pueden utilizar de guía o para realizar pruebas como se observa en la figura 35.

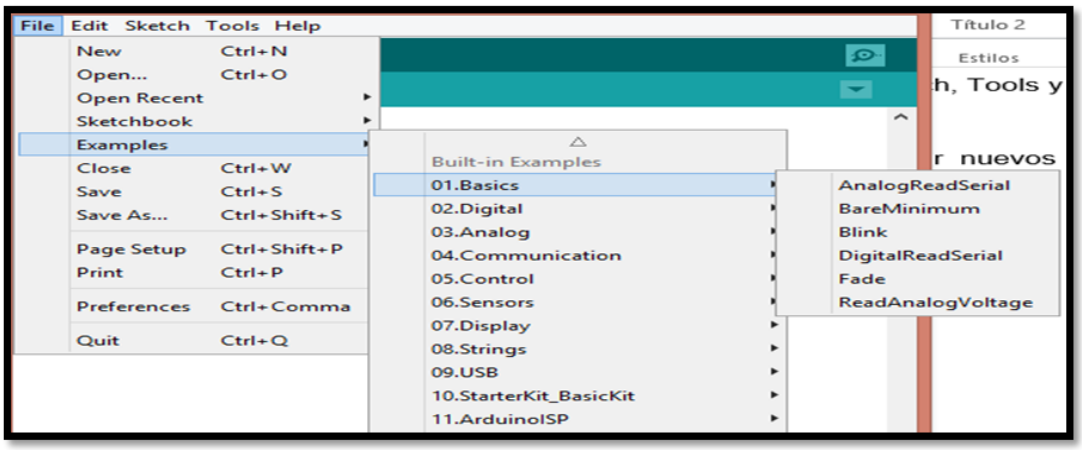


Figura 31. Software Arduino opción File (*Examples*).

En la opción de *Edit*, se tiene las opciones: cortar, copiar, pegar, opciones de búsqueda, no es de las opciones muy importantes pero nos puede facilitar realizar esas operaciones.

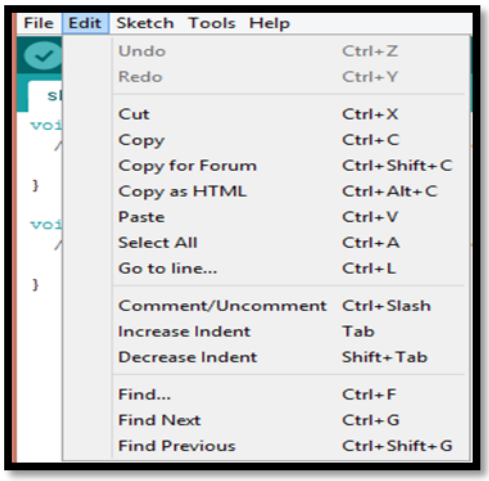


Figura 32. Software Arduino opción Edit.

En la opción *Sketch* se tiene las opciones de verificar (verifica errores de código) y compilar (Graba el programa en el microcontrolador) que son las más importantes, también se puede incluir librerías de las que disponemos o se las puede instalar y luego agregar.

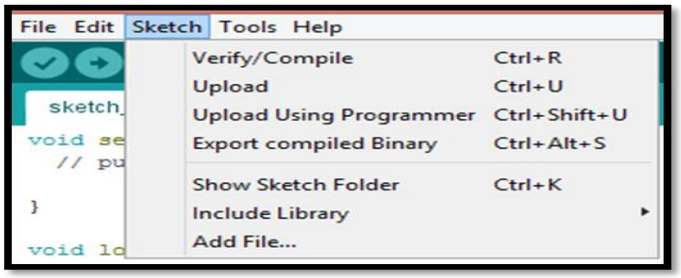


Figura 33: Software Arduino opción Sketch.

En la opción *Tools* o herramientas, antes de comenzar a programar se debe elegir primero el tipo de placa con la que se va a trabajar, por ejemplo al momento está conectado un Arduino Atmega 2560, después se debe escoger el puerto serial con el que se está trabajando, como se observa en la figura 40

en la opción Port: “Com5 (Arduino/Genuino Atmega Or Mega 2560)”. También dispone de un monitor serial con el cual se puede visualizar los datos que envía la placa Arduino al computador, es una manera de comprobar si está realizando lo requerido sin tener una interfaz gráfica.

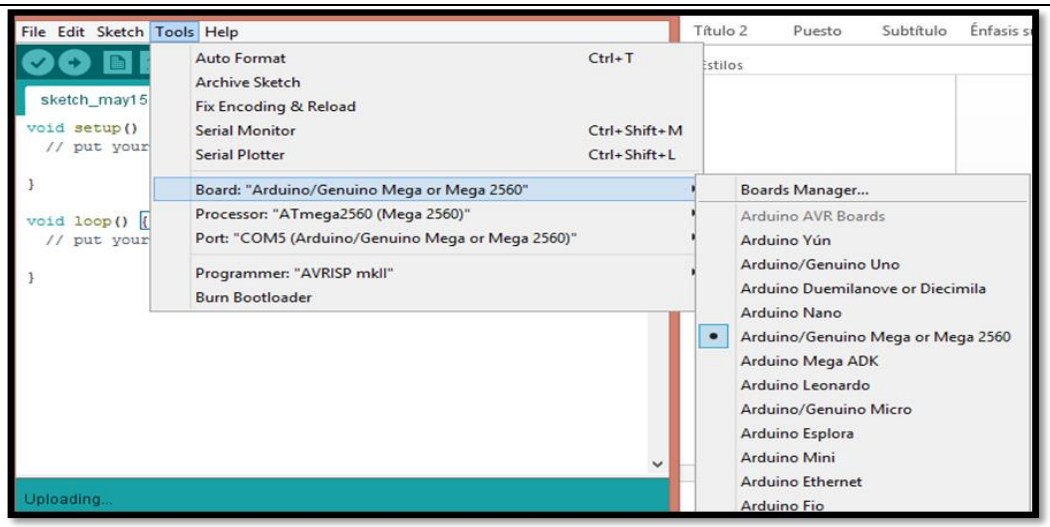


Figura 34. Software Arduino opción Tools.

En la opción *Help*, se tiene información acerca de Arduino, las preguntas más frecuentes, en resumen esta pestaña que ayuda a conocer más y aclarar dudas sobre Arduino. Además después de la barra principal se tiene un menú gráfico donde se encuentran accesos rápidos para algunas funciones como verificar, compilar, nuevo, abrir y guardar como se muestra en la figura 39.

Figura 35. Software Arduino menú gráfico.

Las dos partes principales que se despliegan para ya empezar a programar son la función *Setup* y *Loop*, como muestra la figura 40.

```
sketch_may15a §
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:

}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:

}
```

Figura 36. Software Arduino función Setup y Loop.

Las variables globales, librerías y funciones extras que se necesiten se las puede ingresar antes de la función *Setup*, ejemplo:

```
#include "DHT.h"
#include "SoftwareSerial.h"
#define DHTPIN 7
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
SoftwareSerial Xbee(6,5); //


void setup() {
```

Figura 37. Librerías y Variables Arduino

Luego en la función *Setup*, se ingresa únicamente el código que se desea que se ejecute una sola vez en el programa. Ya que para volver a ejecutar el *Setup* se debe reiniciar el programa.

Por último en la función *Loop* es donde se ingresa el código que se va a estar ejecutando repetitivamente hasta que se apague o se reinicie el programa. Para explicarlo se toma como ejemplo el proyecto a ejecutarse, en el cual se necesita que los sensores de temperatura, CO2, CO, etc., estén censando constantemente datos del ambiente, entonces es en ese momento donde se debe colocar el código para que mientras esté corriendo el programa nunca deje de censar y así se pueda obtener los datos en tiempo real.

2.3.1 Diagrama de flujo de la programación en Arduino.

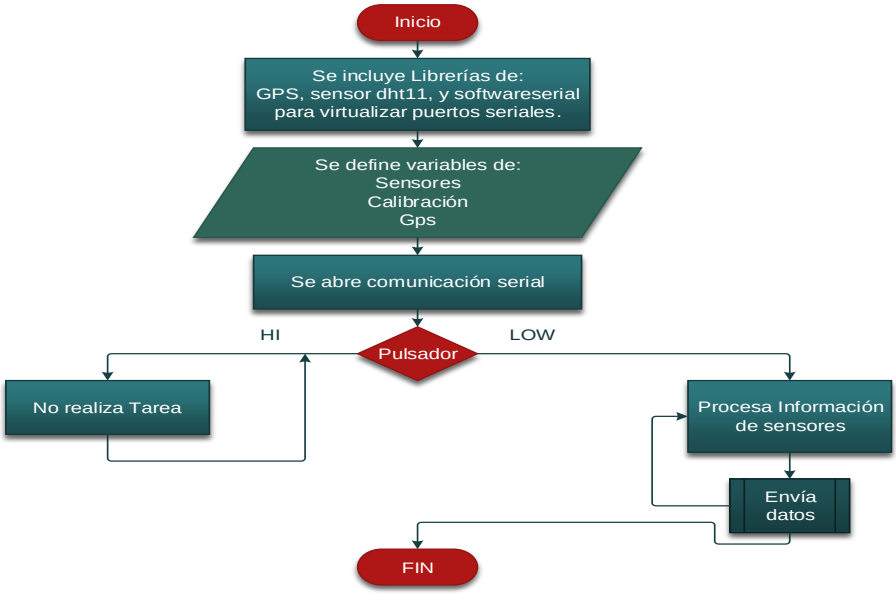


Figura 38. Diagrama de Flujo de Programación Arduino

En el diagrama de flujo de la figura 38 se observa cómo está la lógica del código en arduino. Primero se inicia el programa. Segundo se declara librerías para el uso; del GPS, del sensor de temperatura y para virtualizar puertos seriales. Tercero se declara las variables de; los sensores, de calibración, de GPS. Cuarto se abre comunicación serial. Quinto se sincroniza los datos mediante un pulsador, si el estado se encuentra en *Hi* no enviara datos, si el estado se encuentra en *Low* procesara los datos y los enviara hasta que el sistema sea apagado. Sexto Final del programa.

2.4 Configuración de la red WSN (Modo Transparente)

Figura 39. Software XCTU

El software XCTU permite a los desarrolladores configurar los módulos Digi RF. Su interfaz es muy sencilla de usar, la aplicación es libre y es compatible con *Windows*, *Linux* y demás. También posee varias herramientas que facilitan la configuración y permiten poner en marcha rápidamente una red Xbee.

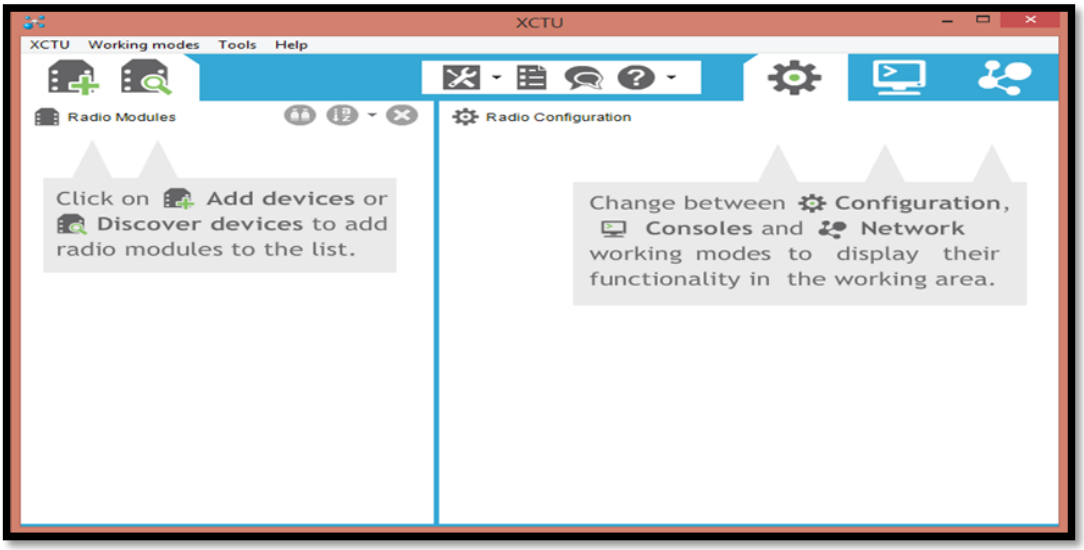


Figura 40. Pantalla Principal XCTU

En el prototipo se configuró los módulos Xbee en modo AT, ya que solo existen 3 nodos finales y un nodo coordinador, realizando una topología en estrella (Punto - Multipunto).

Lo primero que se realiza es conectar el Xbee al computador por medio de USB, y previamente hay que instalar el software XCTU, como muestra la figura 45:

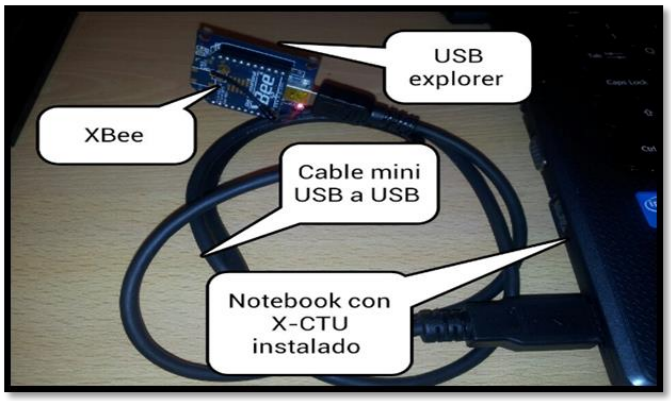


Figura 41. Conexión Xbee con PC mediante USB.

De esta manera se conectará cada dispositivo Xbee que se necesite configurar usando un USB *explorer* y un cable USB mini.

2.4.1 Configuración Xbee modo Coordinador en AT:

Para esta configuración se debe hacer doble *click* para iniciar la aplicación de XCTU, luego un *click* en la opción *Add* para agregar el modulo conectado, a continuación se mostrara en la pantalla el puerto *Com* al que está asociado el módulo Xbee, el cual se selecciona y por último un *click* en *finish.*

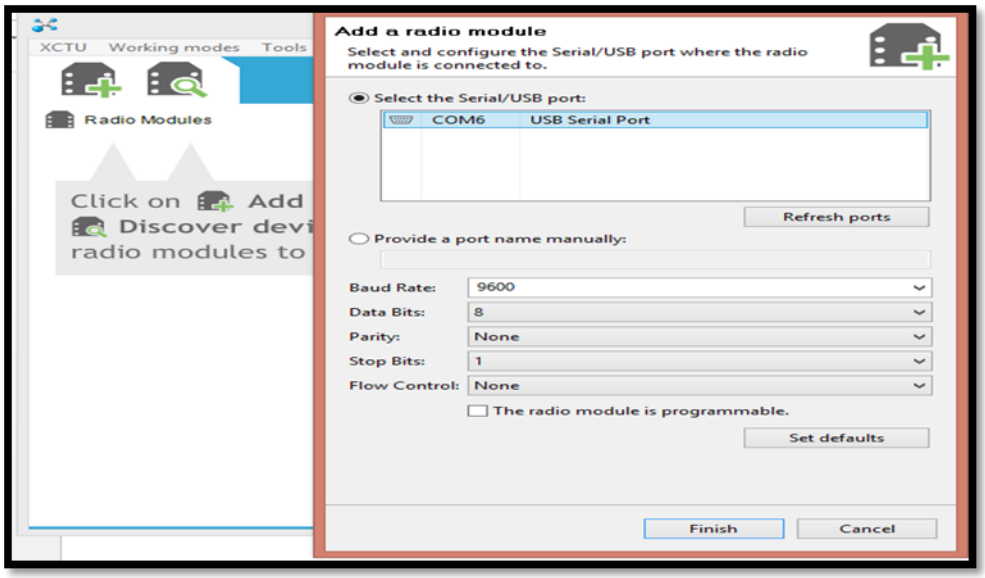


Figura 42. XCTU agregando Modulo Xbee.

Se presenta el módulo Xbee y se lo selecciona dando un *click*, para que cargue los parámetros de configuración.

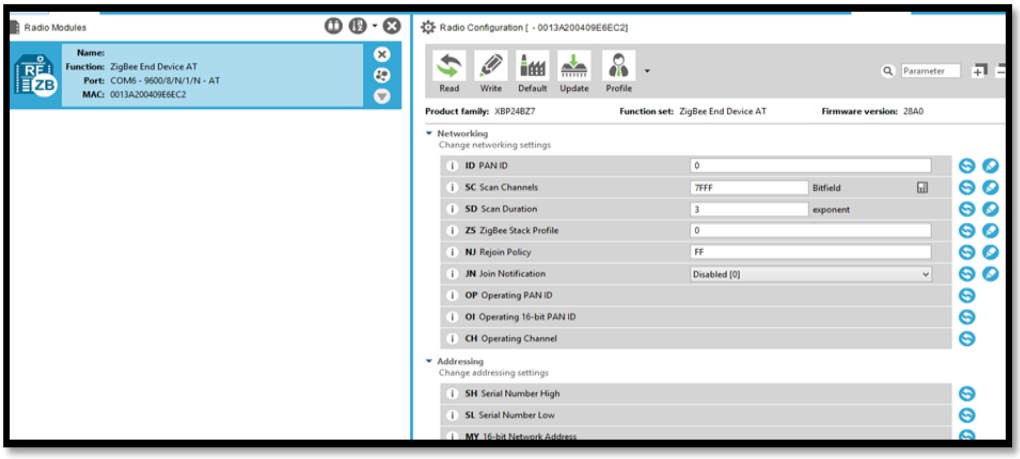


Figura 43. XCTU configuración de parámetros.

Para que el modulo trabaje en modo coordinador hay que actualizar el firmware, al momento se encuentra en modo dispositivo final, para cambiarlo se da click en *Update*, aparecerá una pantalla donde se escogen las siguientes opciones: en *Product Family* la opción XBP24BZ7, en *Function Set* la opción *Zigbee Coordinator AT*, en *Firmware Version* la opción 20A0. Es importante que si se escoge la antepenúltima versión en el coordinador, en los dispositivos finales también debe ser la antepenúltima, finalmente se da click en *Update*.

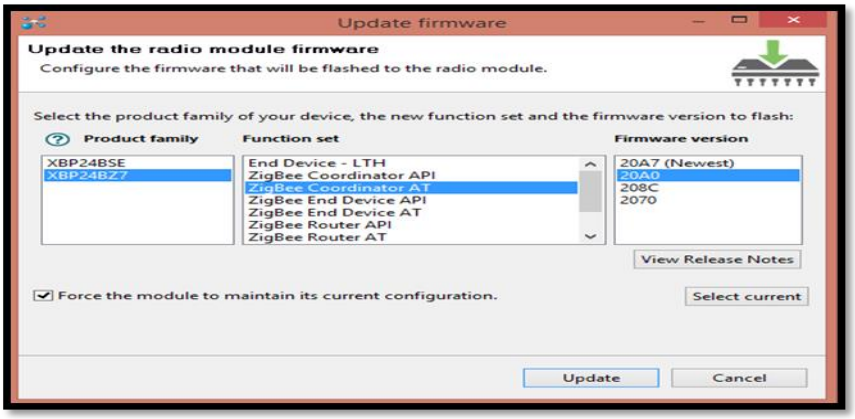


Figura 44. XCTU actualización a coordinador AT.

Ahora ya se encuentra en modo coordinador, los campos que se configura son los siguientes:

ID PAN ID, es el nombre de la red y puede estar entre 0 a FFFE su valor se encuentra en hexadecimal. En este caso se escogió el 1723, este número debe ser igual en los nodos finales para que se puedan comunicar.

SC Scan Channels, se coloca un número del 0 a FFFF su valor se encuentra en hexadecimal, en este caso se escogió D, este número debe ser igual en los nodos finales.

Ni Node Identifier, se coloca un nombre para identificar el dispositivo, en este caso es Coordinador.

BD Baud Rate, hay que verificar que esta opción se encuentre en 9600 porque se va a trabajar a esa velocidad de trasmisión.

Luego se da *click* en *Write* para guardar las configuraciones.

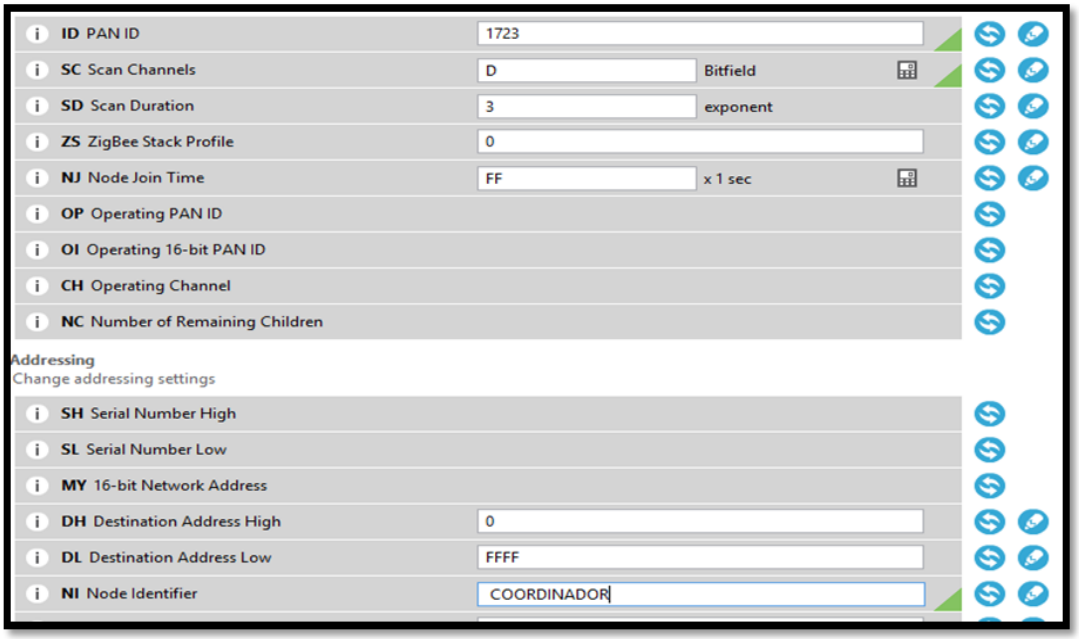


Figura 45. XCTU configuración Coordinador modo AT

Como se observa en la figura 46, se han colocado los campos que se necesitaba cambiar para que el coordinador pueda recibir la información de los nodos finales. Por último se observa en la parte superior derecha que el nodo configurado tiene el *Name:* COORDINADOR, *Fuction: Zigbee Coordinator AT*, *Port: Com 6* 9600/8/1/n – AT, la *MAC:* 0013A200409E6EC2 es dato es importante para poder configurar los nodos finales porque deben apuntar hacia el Coordinador. Para terminar se da *click* en la X para proseguir a configurar otro dispositivo.

Figura 46. XCTU datos del nodo configurado.

2.4.2 Configuración Dispositivo final en AT:

Los pasos son similares a la configuración anterior. Conectamos por USB mini al pc el dispositivo, se escoge el puerto serial al que se encuentra asociado el Xbee, y se da *click* en *Finish*, después se debe actualizar el *firmware* para que tenga la función de dispositivo final AT, para ello se da *click* en *Update* y se cambia las siguientes opciones: En *Product Family:* la opción XB24-ZB, en *Function Set:* la opción *Zigbee End Device AT*, en *Firmware Version*: la opción 28A0, que es la antepenúltima y *click* en *Update.*

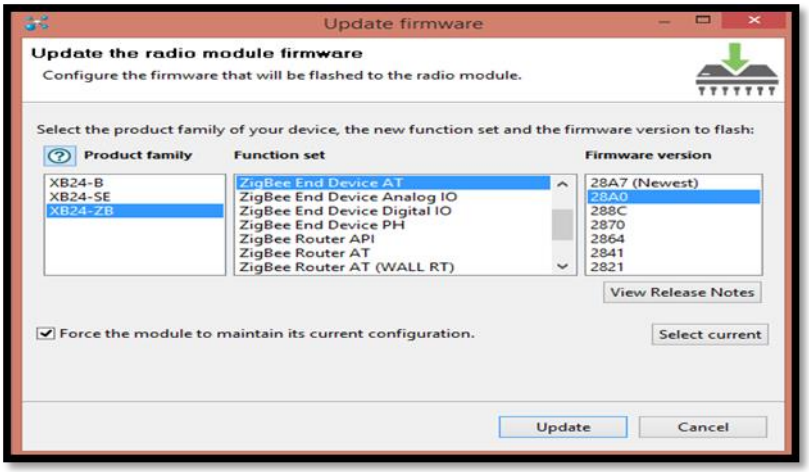


Figura 47. XCTU Actualización de Firmware para Dispositivo Final AT.

Una vez cargado el *firmware* para modo dispositivo final AT, se realizan los siguientes cambios:

ID PAN ID, es el nombre de la red y puede estar entre 0 a FFFE su valor se encuentra en hexadecimal, en este caso se escogió el 1723, este número debe ser igual en todos los nodos finales para que se puedan comunicar.

SC Scan Channels, Se coloca un número del 0 a FFFF su valor se encuentra en hexadecimal, en este caso se escogió D, este número debe ser igual en todos los nodos finales.

DH Destination Address High, aquí se ingresa el número de la serie XBee, en este caso es la 13A200, ese número debe ser igual en todos los dispositivos finales AT.

DL Destination Address Low, aquí se ingresa la dirección MAC del coordinador que es 409E6EC2, ya que como se trabaja en una topología del tipo estrella, todos los nodos finales deben apuntar a esa dirección para transmitir sus datos.

Ni Node Identifier, se coloca un nombre para identificar el dispositivo, en este caso es Nodo3.

BD Baud Rate, hay que verificar que esta opción se encuentre en 9600 porque se va a trabajar a esa velocidad de trasmisión.

Luego se da *click* en *Write* para guardar las configuraciones.

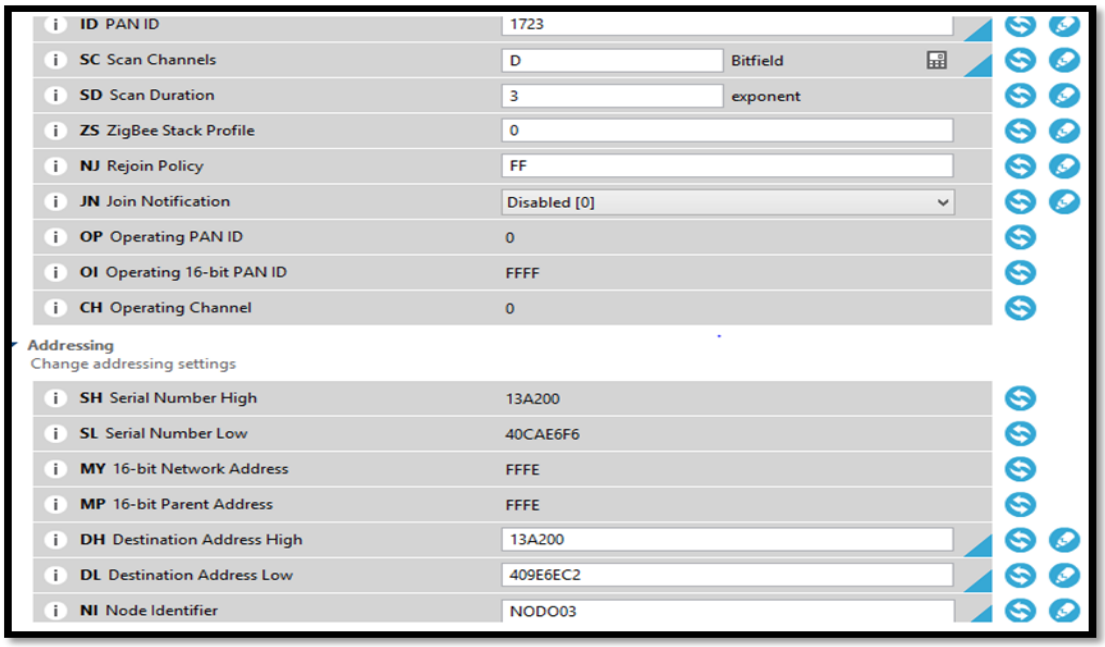


Figura 48. XCTU Configuración parámetros para Dispositivo Final AT.

Los campos que se necesitaba configurar para que el dispositivo trabaje en la red de modo *Zigbee End Device AT* se observan en la Figura 49. Por último en la parte derecha superior se encuentra la información del nodo configurado, el *Name:* Nodo03, *Fuction:* Zigbee End Device AT, *Port: Com 6* 9600/8/1/n – AT, la *MAC:* 0013A20040CA6E6F6, para terminar se da *click* en la X para proseguir a configurar otro dispositivo.

Figura 49. XCTU Datos del nodo Configurado.

2.5 Diseño del circuito electrónico

Para diseñar el circuito electrónico es necesario utilizar un *software* que nos facilite el diseño para luego implementarlo en *protoboard*, y de esa manera poder verificar si el funcionamiento es correcto.

Se escogió trabajar con el PROTEUS 8 Profesional, porque este *software* es una herramienta muy útil, ya que nos permite diseñar todo tipo de circuito, simularlo, depurarlo y construirlo.

Figura 50. Etapas de Diseño con Proteus 8.

El primer paso es utilizar *ISIS*, donde se agrega los elementos con los que se va a implementar el circuito, pero debido a que no existen los dispositivos como los sensores, el GPS, el Xbee y demás; para simularlos se usa los *CONNSIL* del número de pines que tiene cada dispositivo para conectarlos.

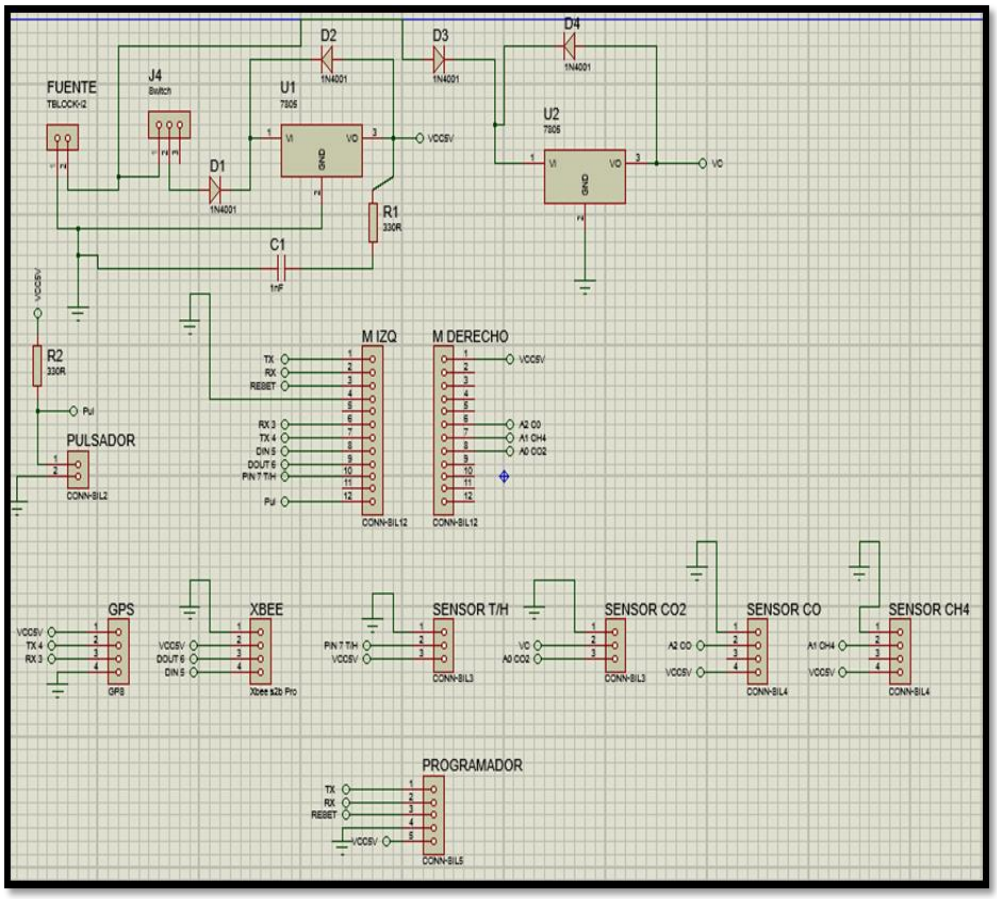


Figura 51. Conexión de Elementos Electrónicos (Simulación).

Es importante recalcar que cada *CONNSIL* que se utiliza para reemplazar los dispositivos, se los debe etiquetar con su respectivo nombre para no confundirse el momento de conectarlos. Además es fundamental no olvidar la posición de los pines. En la figura 51 se muestra cómo va ir interconectado cada elemento y cada pin tiene una etiqueta de su origen hacia el destino.

Para este diseño se utilizó los siguientes compontes:

- 1 *Switch*, va a controlar el encendido y apagado del sistema.
- 1 Pulsador, se encarga de sincronizar los datos.
- 1 *Led*, confirma si el sistema está encendido o apagado.
- 2 Reguladores de Voltaje 7805, para evitar quemar algún elemento del sistema.
- 4 Diodos *Zener*, Protege al 7805 de que se queme.

- 1 Resistencia de 330 Ω, protege al Led de que se queme.
- 1 resistencia de 10 KΩ, protege al pulsador de que se queme.

Estos componentes permiten crear un circuito electrónico óptimo, porque sirven para indicar el estado del sistema, protegerlo y sincronizarlo.

Una vez que se tiene la idea clara de cómo van a ir interconectados los componentes, junto a los dispositivos del circuito electrónico, se realiza pruebas en el *protoboard*. Cada elemento debe ser alimentado por VCC y puesto a tierra GND.

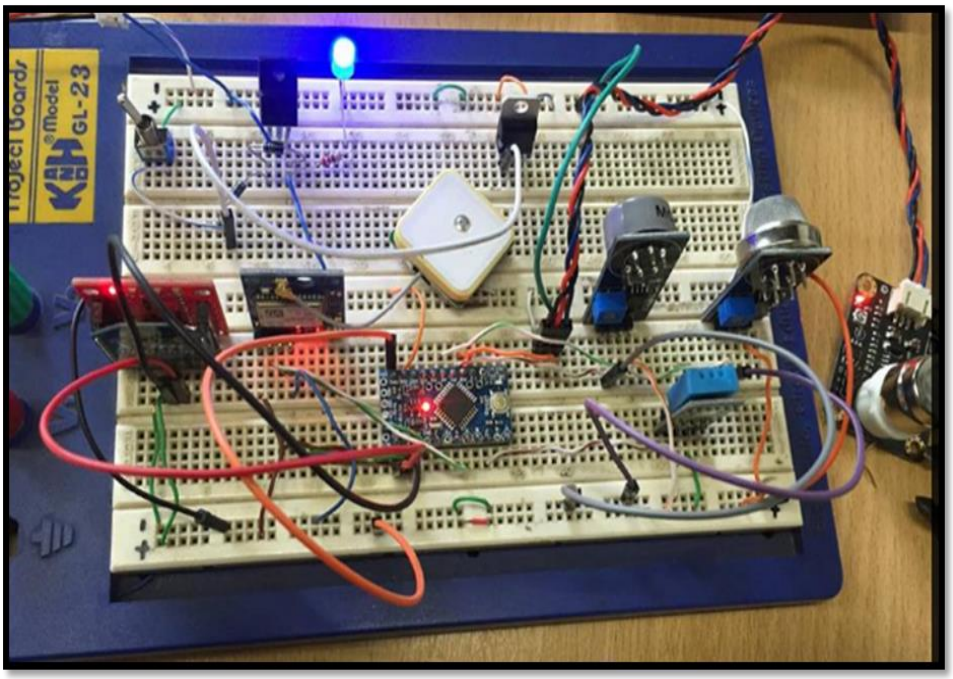


Figura 52. Conexión de dispositivos en el protoboard.

.

Una vez comprobado que las conexiones hayan resultado exitosas, se debe diseñar la placa electrónica, utilizando el proteus 8, pero ahora con la opción de Ares. Esta herramienta trabaja a partir del diseño en *ISIS*, trasladando las piezas del circuito electrónico para que se las ubique de la forma en que menos choquen las pistas. Una vez colocado cada pieza se da *click* en auto router para crear las pistas del circuito. No hay que preocuparse si choca alguna

pista, ya que para eso se debe crear puentes y así evitar ese tipo de conflicto, además hay que tomar en cuenta las medidas de separación del microcontrolador para que no exista ningún problema en el momento de soldar los elementos.

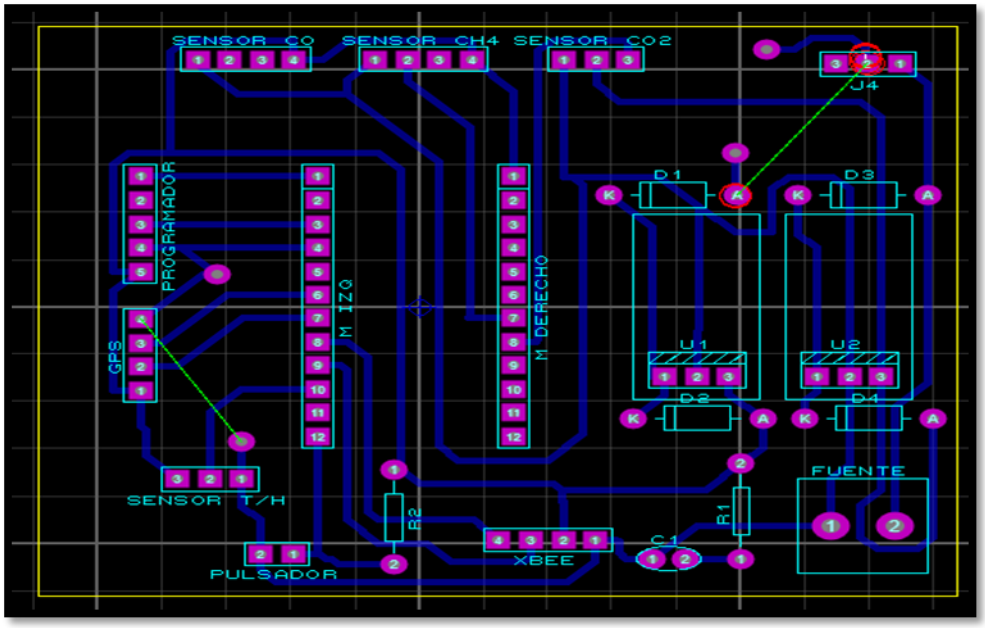


Figura 53: Creación de pistas del circuito electrónico.

.

Una vez listas las pistas se puede observar la placa *3D* para tener una idea de cómo va a quedar, para ello se da click en *3D Visualizer*, como muestra la siguiente figura 54.

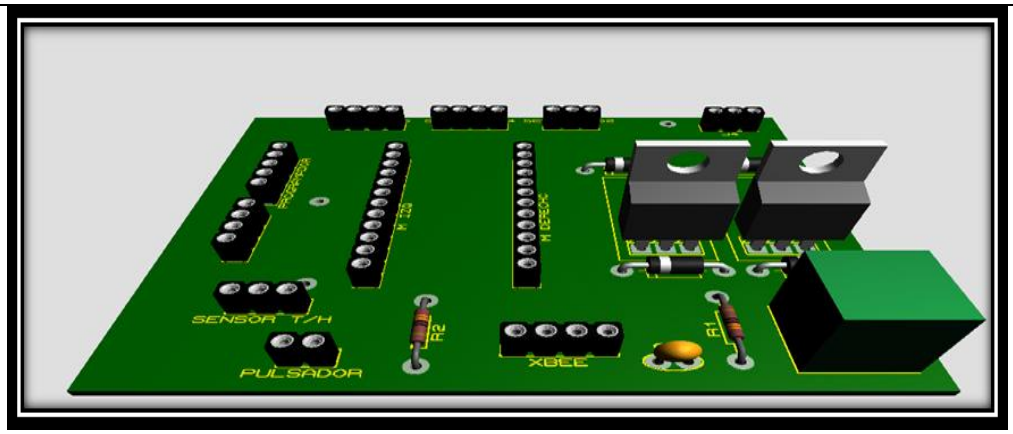


Figura 54. Modelo 3D del diseño de placa electrónica.

Para el diseño se tomó en cuenta que los sensores y los demás dispositivos deben ser desmontables en caso de que alguno presente alguna anomalía o si se quema se puedan sustituir fácilmente.

2.6 Creación de placa

Para crear la placa físicamente se necesita de los siguientes elementos:

- 3 Baquelitas
- 3 fundas de ácido para baquelitas
- 1 papel transfer azul
- Una plancha
- Una cinta adhesiva
- Tijeras
- Agua caliente
- Taladro con brocas de 1 mm.

El primer paso es imprimir en el papel transfer azul el diseño de las pistas exportado en PDF, después se corta el dibujo y se lo pega encima de la baquelita del lado de cobre con la cinta adhesiva.

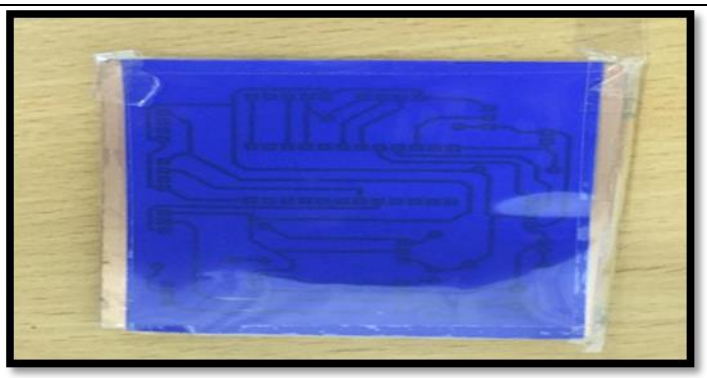


Figura 55. Baquelita con papel transfer azul.

El siguiente paso es planchar por al menos 10 minutos, presionando bien los filos que son los que saben dar problemas. Cuando ya haya pasado ese tiempo es necesario dejar reposar unos 5 minutos para que se enfríe la baquelita, luego procedemos a retirar el papel transfer azul cuidadosamente. Lo que se

puede observar es la pista dibujada en la baquelita, si alguna pista no se transfirió bien se la puede completar con marcador permanente.

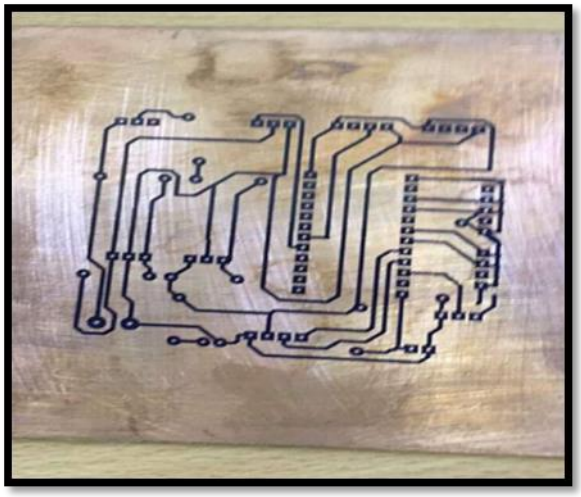


Figura 56. Baquelita con pistas.

A continuación se debe calentar una taza de agua al punto de ebullición, luego se coloca en un recipiente de plástico junto al ácido, para después insertar la baquelita por alrededor de 15 minutos. Es importante recordar que se requiere mover constantemente el recipiente para que el ácido vaya comiendo el cobre y deje solo la pista marcada del dibujo. Finalmente se lija delicadamente el dibujo de la pista para que salga el color negro y quede en cobre.

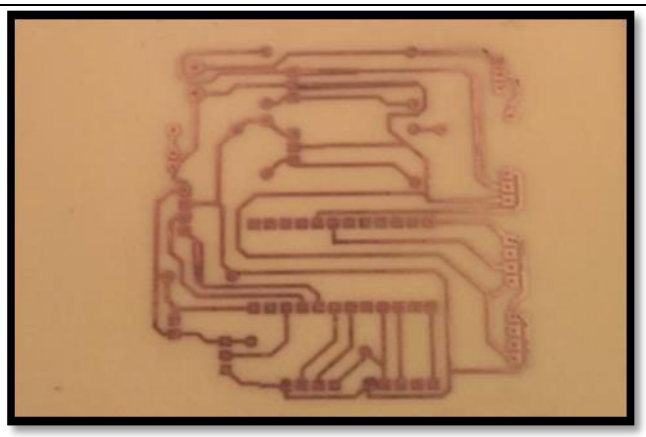


Figura 57. Baquelita después del ácido.

Una vez que se termina el proceso de grabar la pista en la baquelita, se debe cortar los excesos de plástico y perforar (tener cuidado de no dañar las pistas) los huequitos para poder soldar los componentes electrónicos.

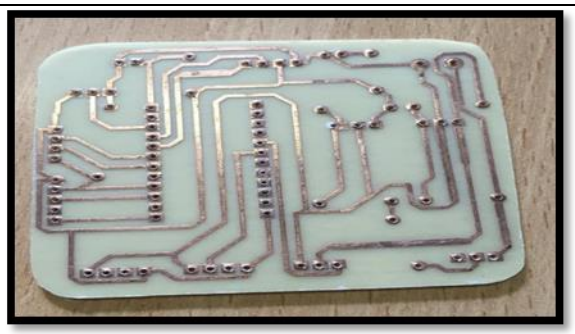


Figura 58. Baquelita perforada.

2.7 Procedimiento para Soldar:

Para este procedimiento se necesita de las siguientes herramientas:

- Cautín
- Chupa sueldas
- Pasta de suelda
- Estaño

El proceso para soldar es sencillo, se inserta la pieza en los huequitos de la baquelita, después se coloca pasta de suelda en cada pin, se precalienta el cautín y se lo acerca al punto de suelda calentándolo y al mismo tiempo se coloca un poco de estaño haciendo que quede un punto de suelda en forma de estrella.

Figura 59. Soldando baquelita.

Como resultado después de soldar todos los elementos el circuito debe asimilarse al que se observó en *3D*.

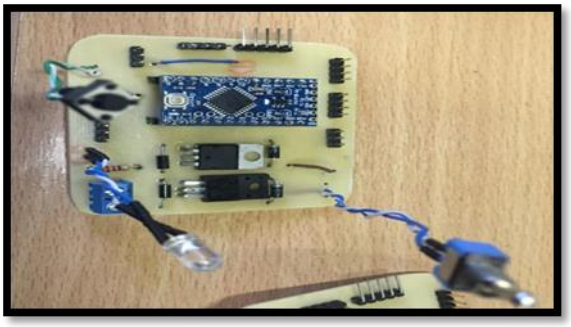


Figura 60. Baquelita con elementos soldados.

Para verificar que los elementos estén soldados bien con las pistas se usa el multímetro, con él se comprueba si existe continuidad de corriente entre todos los VCC (5V) y entre todos los GND (tierra).

2.8 Diseño de caja 3D

Para proteger al circuito electrónico, se diseña una caja 3D hecha a la medida de los dispositivos que intervienen.

Utilizando la herramienta de AutoCAD, se elabora las piezas de los dispositivos para que no exista margen de error en las medidas, proporcionándoles el espacio necesario en la caja. Hay que tomar en cuenta que las cabezas de los sensores y la GPS deben estar visibles para su funcionamiento. Por último en el diseño se tomó en cuenta el tamaño que sea lo más reducido posible.

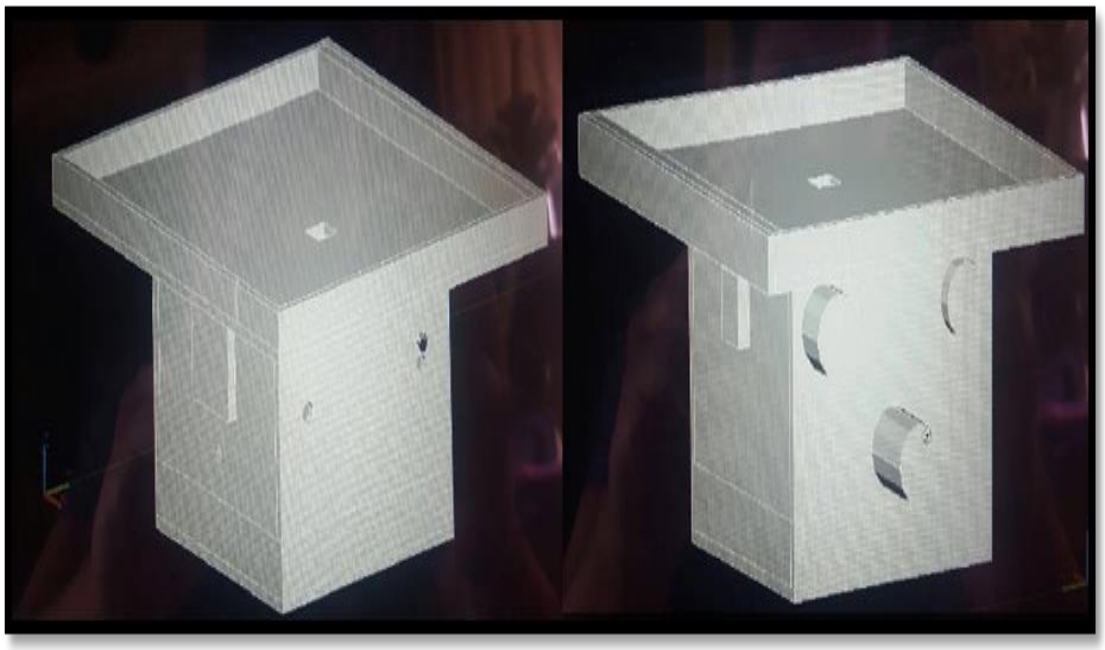


Figura 61. Diseño de caja de 3D en AutoCAD.

Una vez listo el diseño se exporta la pieza en formato STL, la impresora que se usó es la *MAKERBOT*, la cual posee su propia aplicación para mandar a imprimir la caja en *3D*, este proceso se demora alrededor de 10 horas, la tapa se imprime por separado.

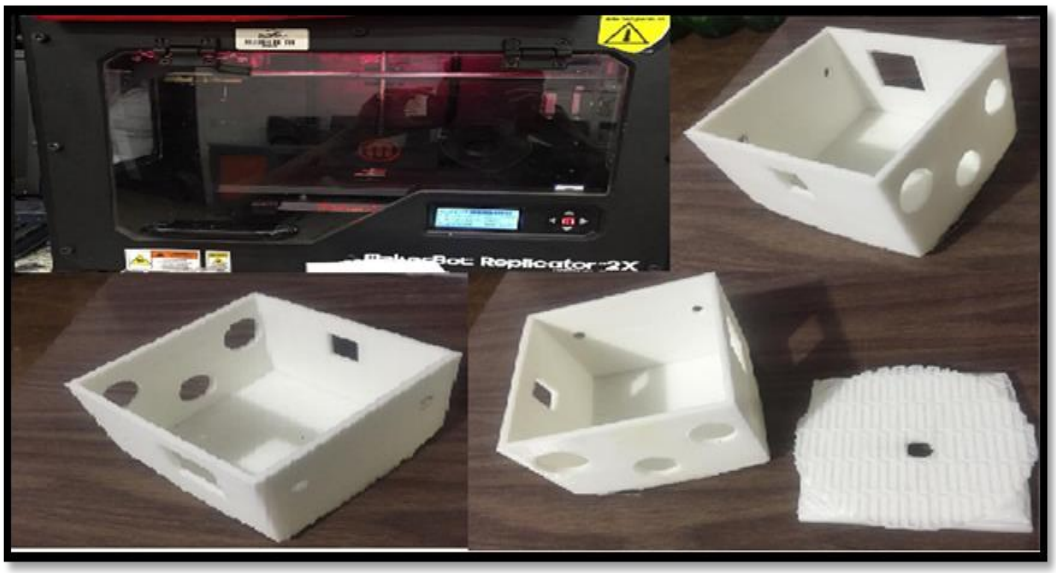


Figura 62. Impresora MAKERBOT y caja 3D.

2.9 Diseño Interfaz Gráfico:

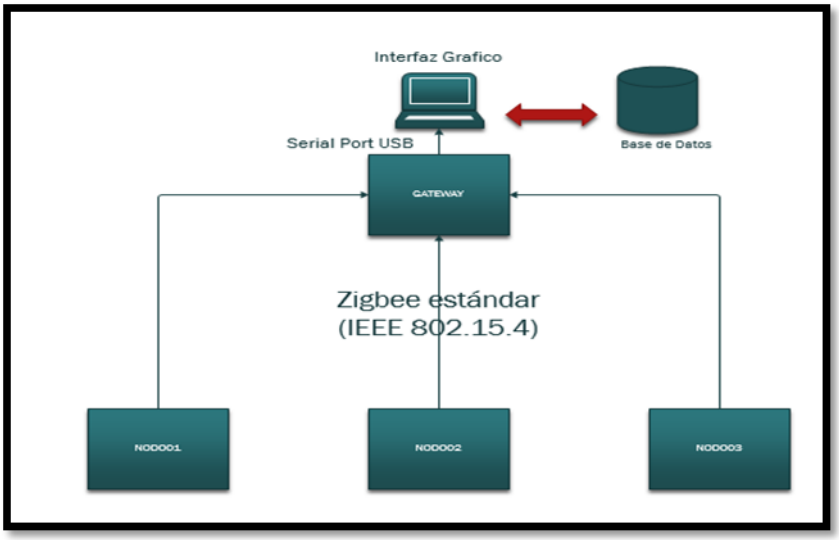


Figura 63. Diseño de red con Zigbee Estándar (IEEE 802.15.4)

En el diseño del interfaz gráfico se decidió realizarlo con el lenguaje de programación C# en Visual Studio 2012. Es necesario entender el funcionamiento de los nodos y cómo va a viajar la información. En la figura 63 se observa un diagrama de bloques de cómo van a estar distribuidos los nodos finales, los cuales apuntan hacia el *gateway*, a su vez este está conectado al PC mediante un cable USB. Los datos que toman los sensores ingresarán al PC por un puerto serial.

2.9.1 Requerimientos del Interfaz Gráfico:

- Interfaz Gráfico desarrollado en C#.
- Conexión a la base de datos en SQL.
- Pantalla para agregar nodos, sensores y valores críticos.
- Pantalla para observar información de la Base de datos.
- Pantalla para conectar en modo AT
    - Se necesita escoger al puerto serial para conectar el *gateway* al PC.
    - Se necesita botón de conectar puerto, desconectar puerto y limpiar datos.

- Se necesita visualizar la trama de los datos.
- Se necesita que los datos que obtienen los sensores se puedan observar en tiempo real de cada nodo con fecha y hora.
- Se necesita que se presente en *Google Maps* la ubicación de los nodos por medio del GPS.

Una vez planteado los requerimientos se diseña las pantallas con sus respectivos botones, *textviews* y demás.

Figura 64. Pantalla Principal Interfaz Gráfico.

La pantalla principal del interfaz gráfico tiene 3 opciones:

- Gestión del sistema: es donde se ingresa los datos de los nodos, sensores, niveles críticos de los gases.
- Base de Datos: es donde se puede visualizar la información de los nodos
- Modo Transparente: es donde se va a conectar la red *WSN* con el interfaz gráfico para poder visualizar los datos de los sensores en tiempo real.

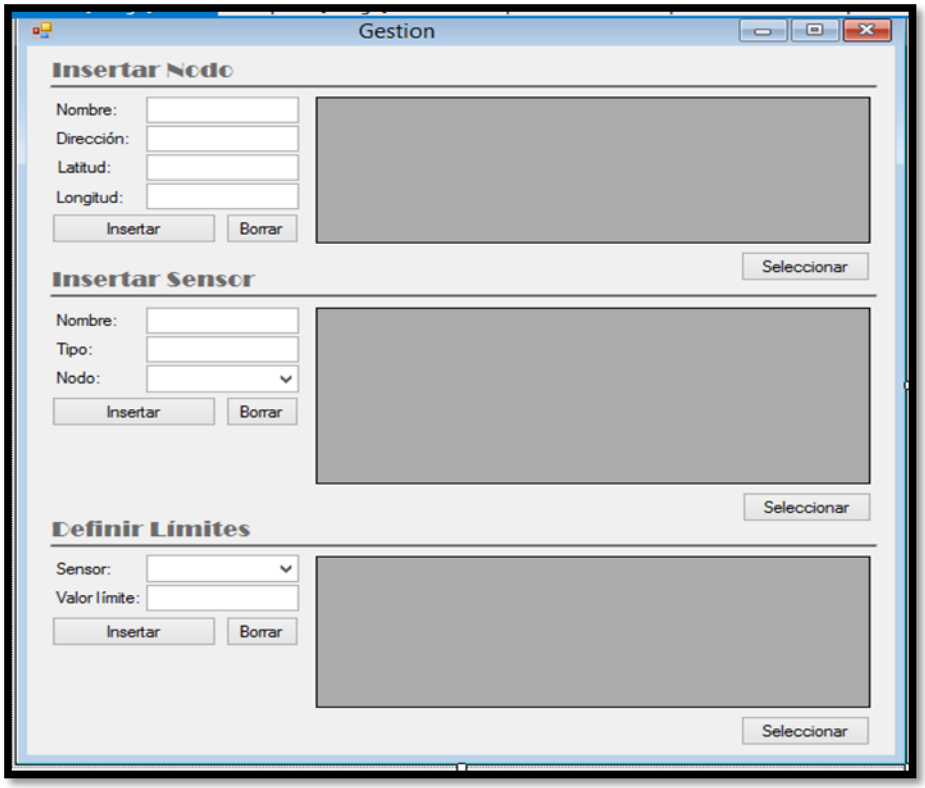


Figura 65. Pantalla de Gestión de Sistema.

En la pantalla de gestión del sistema, se tiene 3 opciones principales:

1. **Inserta Nodo:** En esta opción se ingresa el nombre, Dirección MAC, Latitud y Longitud del nodo. Se puede ingresar n nodos, pero para el prototipo se han usado únicamente 3, y la información se presenta en el lado derecho en un *DataGridView*.
2. **Insertar Sensor:** Aquí se ingresa el nombre y tipo de sensor, también se selecciona a qué nodo pertenece dicho sensor, y la información se presenta en el lado derecho en un *DataGridView.*
3. **Definir Límites:** En esta opción se escoge el tipo de sensor y se agrega un valor límite para desatar alarmas si supera el mismo, y la información se presenta en el lado derecho en un *DataGridView.*

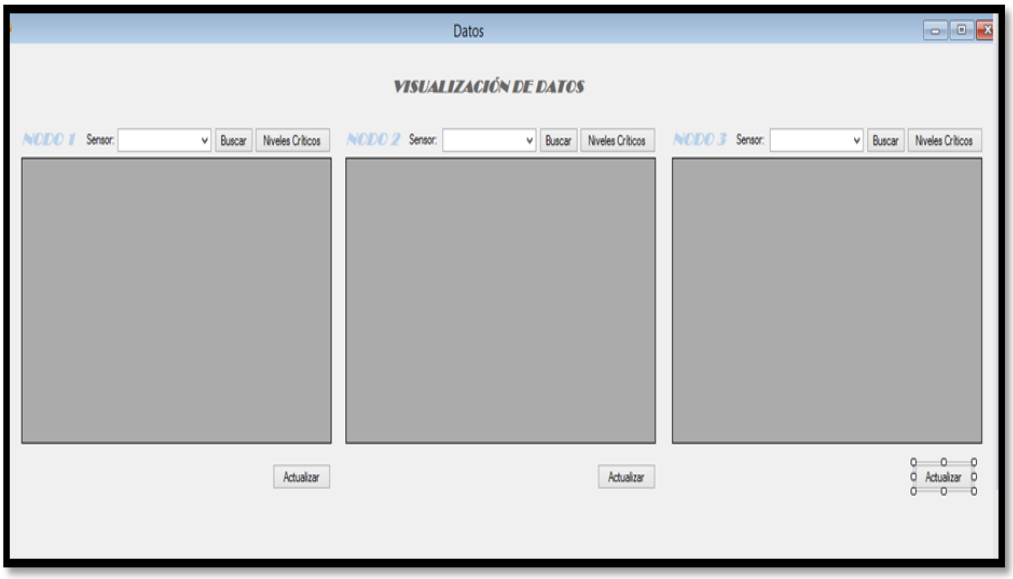


Figura 66. Pantalla Visualización de Datos

.

La pantalla de visualización de datos permite observar la información almacenada que llega de los sensores inalámbricamente al PC. Además se puede filtrar por el tipo de sensor y por niveles críticos, es decir cuando las mediciones sobrepasan los valores preestablecidos.

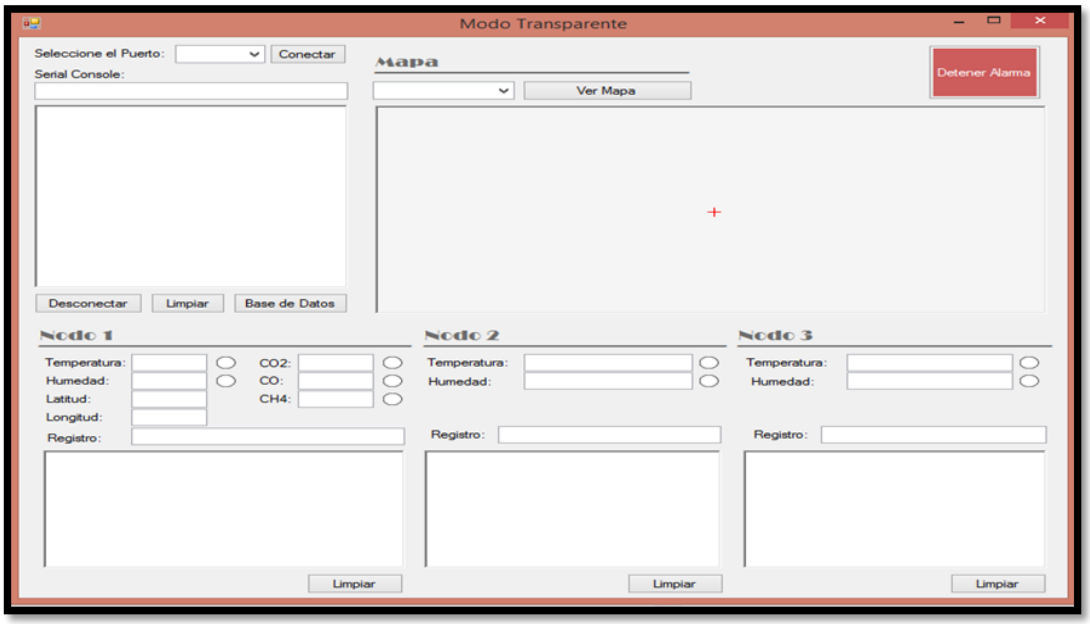


Figura 67. Pantalla Modo Transparente.

La pantalla de modo transparente es la más importante, ya que en la misma se puede visualizar la información que llega en tiempo real, además permite monitorizar el sistema de detección de incendios constantemente.

Para conectar la red *WSN* a la interfaz gráfica se debe seleccionar el puerto serial al que se encuentra asociado el *gateway* (Nodo coordinador), y dar *click* en conectar. Cada nodo tiene un pulsador para sincronizar los datos, entonces al oprimir en el pulsador los datos comenzarán a ser enviados hacia el coordinador, el cual ingresa los mismos a la aplicación, mostrando en pantalla a tiempo real.

Cuando los niveles de los gases superan los límites establecidos, se enciende una alarma de incendios emitiendo un sonido fuerte y también se tiene un indicador que cambia de color verde (estado normal) a rojo (estado crítico). Cabe mencionar que en caso de que se desee parar la alarma se da *click* en la opción Detener Alarma.

Consta también de un mapa para localizar a los nodos, esto permitirá que si existe una alarma en cualquier nodo final se puede ubicar de manera inmediata, evitando así que los incendios se propaguen.

La información que llega es almacenada en la base de datos, y si se desea desconectar la red *WSN* se da c*lick* en la opción Desconectar.

2.9.2 Diseño base de datos SQL.

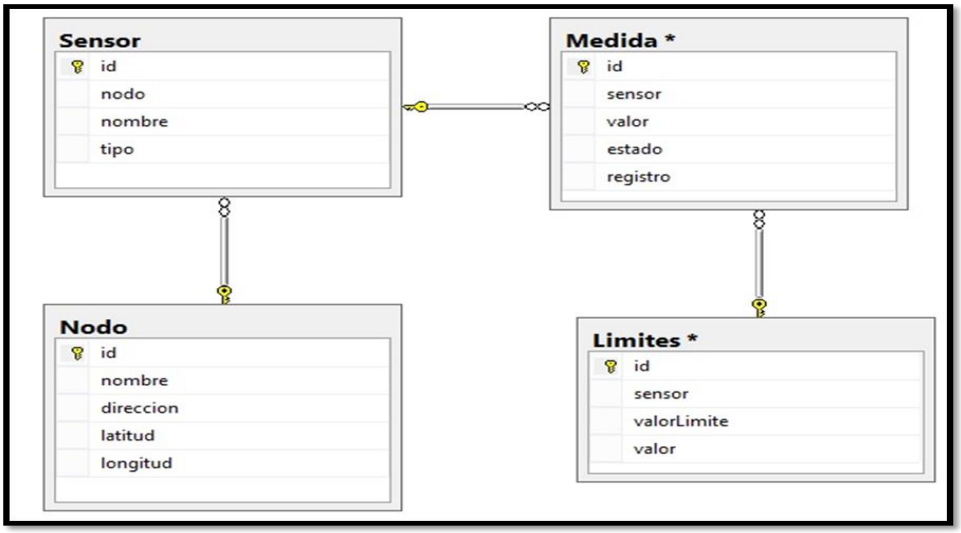


Figura 68. Modelo base de datos SQL

Para la base de datos se realizó 4 tablas como muestra la figura 68. La tabla Sensor es donde se va almacenar el id, el nodo (al que pertenece), el nombre y el tipo, del sensor que se ingresa, esta va a tener una relación de uno a muchos con la tabla Medida, y de muchos a uno con la tabla Nodo.

La tabla Nodo va almacenar el id, nombre, dirección MAC, Latitud y Longitud de los nodos que se ingresen, esta va a tener una relación de uno a muchos con la tabla Sensor.

La tabla Medida va almacenar el id, el sensor, valor, estado y registro, de las medidas tomadas por los sensores del medioambiente, con su respectivo registro de hora y fecha, es la tabla más importante, va a tener una relación de muchos a uno con la tabla Sensor y una relación muchos a uno con la tabla Limites.

La tabla limites va almacenar el id, el sensor, valor límite y valor, para realizar una comparación del valor límite con el obtenido en la tabla medidas, va a tener una relación de uno a muchos con la tabla Medida.

2.9.3 Diagrama de bloques del sistema de detección de Incendios.

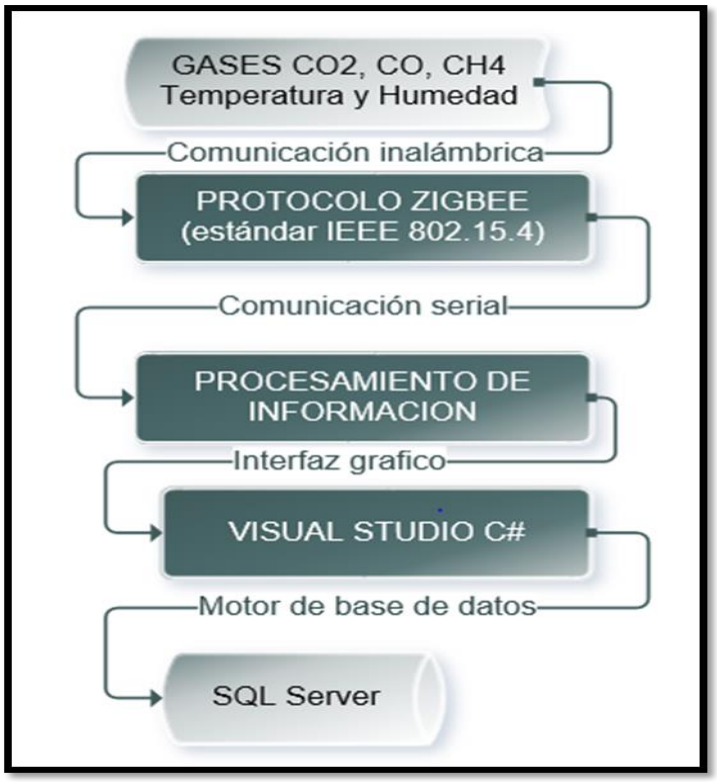


Figura 69. Diagrama de bloques del sistema de detección de incendios.

En la figura 69 se observa como los datos viajan primero por el medio inalámbrico usando el protocolo Zigbee (estándar IEEE 802.15.4), luego ingresan al PC mediante comunicación serial (puerto USB) para ser procesados por el interfaz gráfico, realizado en Visual Studio en el lenguaje de programación C#, para finalmente ser almacenados en un motor de base de datos, en este caso SQL Server.

3. IMPLEMENTACIÓN Y PRESENTACIÓN DE DATOS.

3.1 CALIBRACION DE SENSORES:

Una vez que ya se detalló el funcionamiento y características técnicas de todos los dispositivos con los que se va a trabajar, es necesario realizar la calibración de los sensores que miden gases.

Los sensores tienen dos salidas una análoga y una digital. La salida digital da dos valores, 0 si no hay presencia de gas, y 1 si hay presencia de gas, con esta salida es fácil de trabajar ya que no necesita ser calibrada, pero no se puede obtener la cantidad de gas en ppm (partículas por millón).

La salida análoga en cambio da valores de 0 a 1023, dependiendo la concentración de gas existente, cada sensor MQ tiene su rango de detección y sensibilidad.

Para explicar cómo se deben calibrar se toma como ejemplo el sensor MQ7 que mide Monóxido de Carbono.

Para calcular la salida en voltaje se aplica la siguiente formula: donde Rs y RL forman un divisor de voltaje.

$Vo = RL \times Vc / (Rs+RL)$ donde: (Ecuación 3)

- Vo = voltaje de salida.
- Vc = voltaje de entrada (5V).

Se despeja con respecto a Rs:

$Rs = (Vc – Vo)* (RL / Vo)$. (Ecuación 4)

Para Calibrar cualquier sensor, es importante que se encuentre en aire limpio es decir sin presencia de gas, después se toma el valor del sensor y se calcula Ro.

Ro= Rs/ Ro_factor_aire_limpio (Ecuación 5)

Donde Ro_factor_aire_limpio = 10000 Ω.

Se reemplaza la fórmula 2 en fórmula 3.

Rs = ((Vc – Vo)* RL) / Vo donde:

- Rs = resistencia del sensor.
- RL = resistencia de carga (10k Ω).
- Vc = voltaje de operación (5V).
- Vo = es el voltaje de salida medido por el sensor.

Ro = Rs/ Ro_factor_aire_limpio

Ro = [((Vc- Vo) *RL) / Vo] /Ro_factor_aire_limpio

Ro = [(Vc- Vo) * RL] / (Vo* Ro_factor_aire_limpio) (Ecuación 6)

Hay que tomar en cuenta el datasheet del sensor, que cuando existe una concentración muy baja de 100 ppm la relación de Rs/Ro = 1.0 a 20 C y 65 % de humedad relativa (RL = 10 K Ω). Si la relación es baja de Rs/Ro los valores corresponden a mayores concentraciones de CO en ppm.

Con un valor calibrado para Ro, ya se puede tomar datos del aire, calculando el valor de Rs con respecto a la medida del voltaje de salida, y comprar la relación Rs/Ro del datasheet del sensor para obtener una concentración de CO en ppm. Rs = (Vc - Vo) * (RL / Vo).

3.1.1 La derivación de la concentración de CO a partir de la medida del sensor:

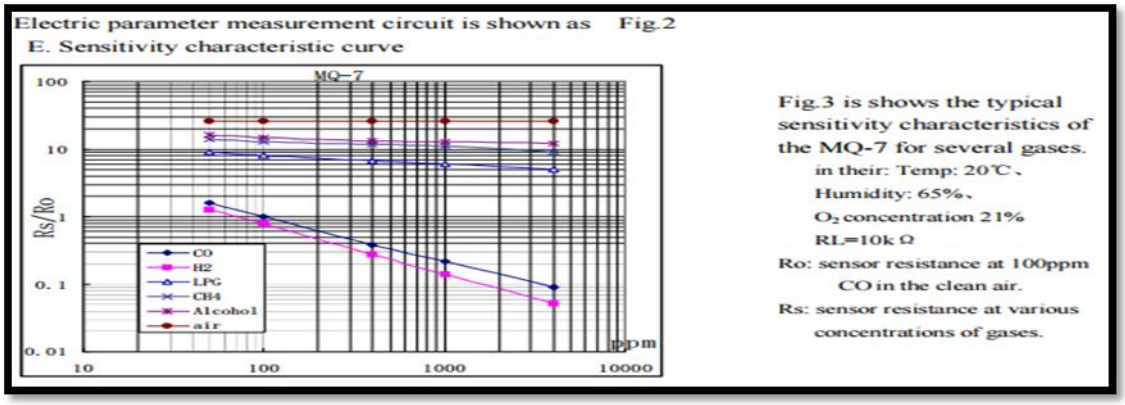


Figura 70. Características de sensibilidad del sensor Mq7.

Tomado de: (Datasheet MQ7 s.f.)

El datasheet proporciona un gráfico de la concentración de CO en ppm con respecto a Rs/Ro en una condición de 20 grados centígrados y 65% de humedad relativa. Si se ajustan a una curva los valores proporcionados, se encuentra que:

Rs/Ro = 22.07 * (CO ppm) ^ -0.667 (Ecuación 7)

Para resolver la concentración de CO, se debe utilizar logaritmos naturales:

CO ppm = [(Rs/Ro)/22.07]^(1/-0.0667) (Ecuación 8)

3.2 Validación de Datos:

Para validar los datos de los sensores en ppm, se trabajó con la colaboración de, Miguel Quishpe estudiante de la Ingeniería Ambiental de la Universidad de Las Américas que al momento es asistente de los laboratorios ambientales, utilizando el IBRID MX6.

Figura 71. Kit IBRID MX6.
Tomado de (Industrial Scientific, s.f.)

IBRID Mx6 es un detector de gases de alta tecnología, puede ser equipado hasta con 25 sensores, pero puede medir 6 gases simultáneamente, contiene una pantalla LCD a color donde presenta los datos obtenidos, este instrumento consta con una bomba de aire, con el objetivo de absorber una pequeña muestra a su interior para examinar el grado de contaminación dependiendo el tipo de gases que se desea medir. Se lo puede utilizar en ambientes exteriores, interiores incluso bajo tierra. (Industrial Scientific, s.f.).

En el laboratorio de la Unidad de Innovación tecnológica de la Universidad de Las Américas, con Miguel Quishpe se realizaron las pruebas comparando los resultados del MX6 con los resultados del prototipo de detección de incendios. Se expuso a los sensores al humo que se produce al quemar hojas de papel.

Figura 72. Evidencia Comparación sensores

Tabla 23. Comparación Prototipo Vrs Mx6

Gas	Sensores MQ (Medida en ppm)	IBRID MX6 (Medida en ppm)
CO2	350 ppm (Ambiente)	350 ppm (ambiente)
CO	200 ppm	180 ppm
CH4	10 ppm	No posee

La ventaja del MX6 es que guarda en su interior una pequeña muestra del aire contaminado y lo examina, en cambio los sensores MQ, miden la cantidad de gas que llega en ese instante a su sensor, pero se verifico que los valores son cercanos y para poder ser más exactos se necesitaría implementar una bomba de aire a los sensores MQ para que su sistema de medición sea parecido al del MX6.

3.2.1 Definición de niveles Críticos para los gases de los sensores.

Se decidió medir CH4, CO2 y CO, porque estos tres tipos de gases se encuentran presentes al momento que existe un incendio forestal, el prototipo no solo nos indica que puede existir un foco de incendio si no también, nos

indica la cantidad de gas en ppm que se encuentra en el ambiente, podría ser de gran ayuda para los bomberos como indicador de que traje y accesorios deben llegar para controlar la situación. Miguel Quispe estudiante de Ingeniera Ambiental de la Universidad de las Américas corrobora esta información y también colaboro con una tabla referencial de cómo afecta los gases a la salud humana dependiendo de su concentración.

Tabla 24. Niveles de gas vrs Salud.

GAS CATEGORIA	O2 (%)	CH4 (ppm)	CO2 (ppm)	CO (ppm)
BUENO	19.5 - 20.9	350 – 1000	350 – 1000	0 – 9.4
No existe riesgo para la salud de las personas expuestas, rango de concentración permisible				
MODERADO	19.4 – 16	1000-2000	1000-2000	9.5 – 15.4
Existe un leve riesgo para la salud de las personas expuestas, posibles efectos	Deficiencia respiratoria Se afecta el juicio	Somnolencia Fatiga Irritación de: ojos nariz garganta	Deficiencia respiratoria Fatiga Irritación de: ojos nariz garganta Tos	Mayor incidencia de ataques asmáticos Fatiga Dolor de cabeza Falta de aliento Mareo

GRAVE	< 15.9	2000 – 5000	2000 – 5000	≥ 15.5
Uso necesario de equipo de protección personal adecuado – alejarse del lugar **Existe riesgo inmediato, para la salud de las personas expuestas, posibles efectos:**	Anoxia Respiración y puso elevado Fatiga Nauseas Pérdida del sentido	Dolores de cabeza Falta de concentración, aumento del ritmo cardíaco Náuseas	Dolores de cabeza Nauseas Inflamación o infección de las vías respiratorias	Taquicardia Desorientación Náuseas Vista borrosa Desmayos

Adaptado de: (Kane, s.f.)

Esta información es muy valiosa para el prototipo de detección de incendios ya que se ha basado en ella para generar los valores permitidos de los gases, así colocando los límites que cuando pase de Bueno ha Moderado el sistema indique con una alarma la precipitación de los gases.

Tabla 25. Límites máximos permitidos de los gases.

Gas	Limite en ppm
CO2	1000
CO	10
CH4	1000

3.3 Funcionamiento del Prototipo:

Para comenzar a usar el sistema de detección de incendios se arma el nodo principal conectado las piezas a la placa del circuito electrónico dentro de la caja *3D*, tomando en cuenta el positivo y negativo de los componentes para no realizar ningún cortocircuito, si se tiene alguna duda de como conectar, basta con revisar el diagrama del circuito.

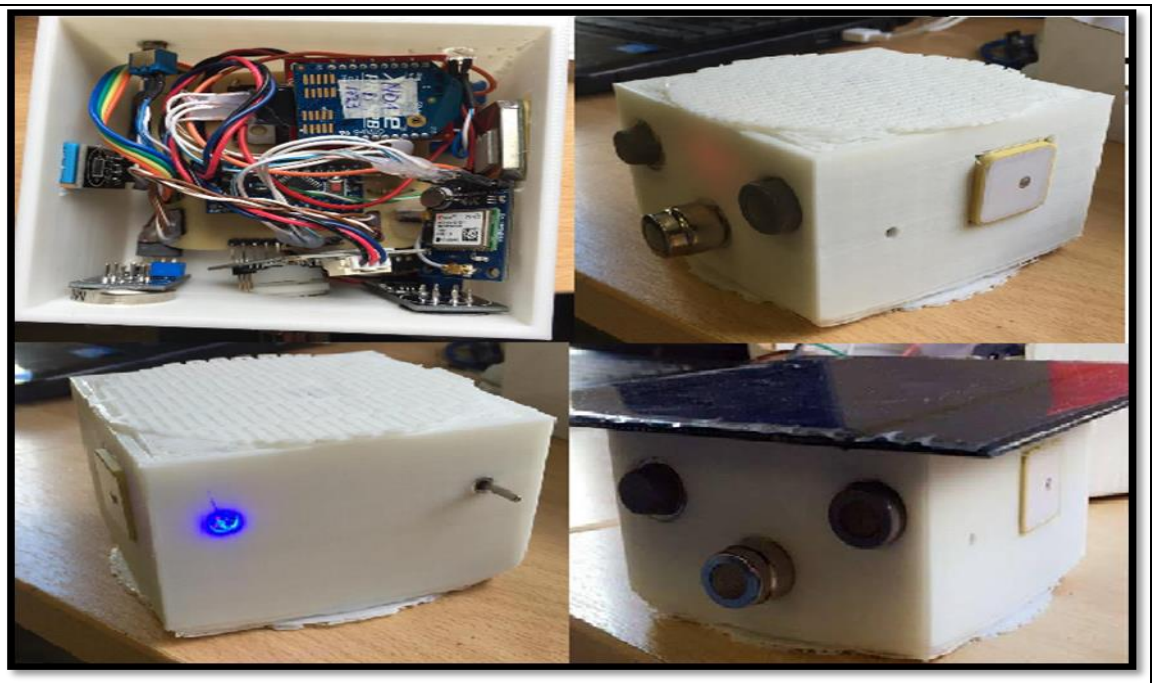


Figura 73. Nodo Principal Armado

El nodo Principal cuenta con un *switch* de encendido y apagado, el foco led nos indica el estado del circuito, también posee un pulsador para sincronizar los datos el cual se presionado una sola vez para que empiece a enviar la información recolectada por los sensores y demás dispositivos.

Los Nodos secundarios por el momento solo envían información sobre la temperatura y humedad, pero fueron fabricados igual que el nodo principal, basta adquirir los dispositivos faltantes y conectarlos para su funcionamiento.

Pasos para Iniciar comunicación inalámbrica de los nodos hacia el PC:

1. Se conecta el *gateway* al PC mediante el cable mini USB.
2. Se inicia la Aplicación.
3. Se ingresa Gestión del sistema para ingresar los datos requeridos.
4. Se ingresa en Modo Transparente.
5. Se busca el puerto serial al que está asociado el *gateway*.
6. Se conecta al puerto serial en la aplicación.
7. Se enciende Todos los nodos.
8. Se sincroniza a los nodos, aplastando en cada pulsador una sola vez.
9. Esperamos unos segundos y los datos empiezan a llegar.

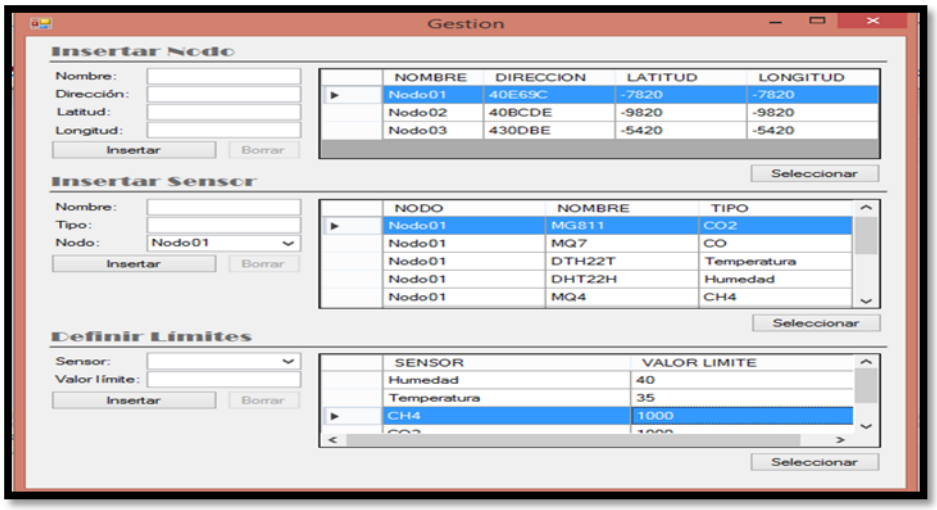


Figura 74. Aplicación con datos de los sensores.

Tomar en cuenta que si no se ingresa algún campo en la parte de gestión del sistema los datos no van a llegar, por ejemplo no se ingresó el sensor de temperatura del nodo 2, ese dato se va a perder, en la figurar anterior se observa la manera de cómo hay que nombrar a los nodos y sus respectivos componentes.

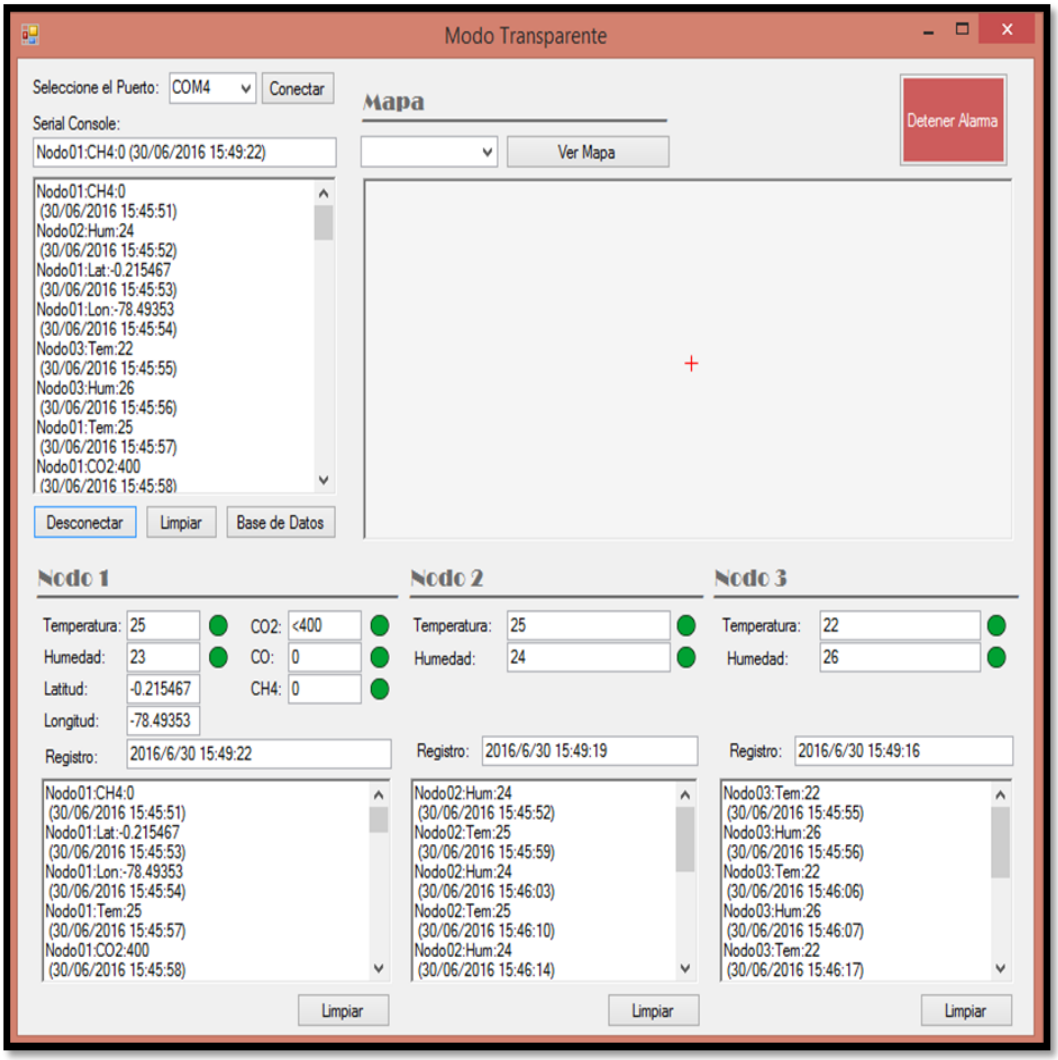


Figura 75. Aplicación modo transparente (datos a tiempo real).

Como se observó en la figura anterior los sensores envían la información en tiempo real y el color verde que se encuentra situado al lado de cada dato es un indicador de que los niveles se encuentran entre lo permitido.

Ahora se lo expondrá a los gases que se producen cuando se quema hojas secas de eucalipto que es la vegetación típica del parque Metropolitano de Quito.

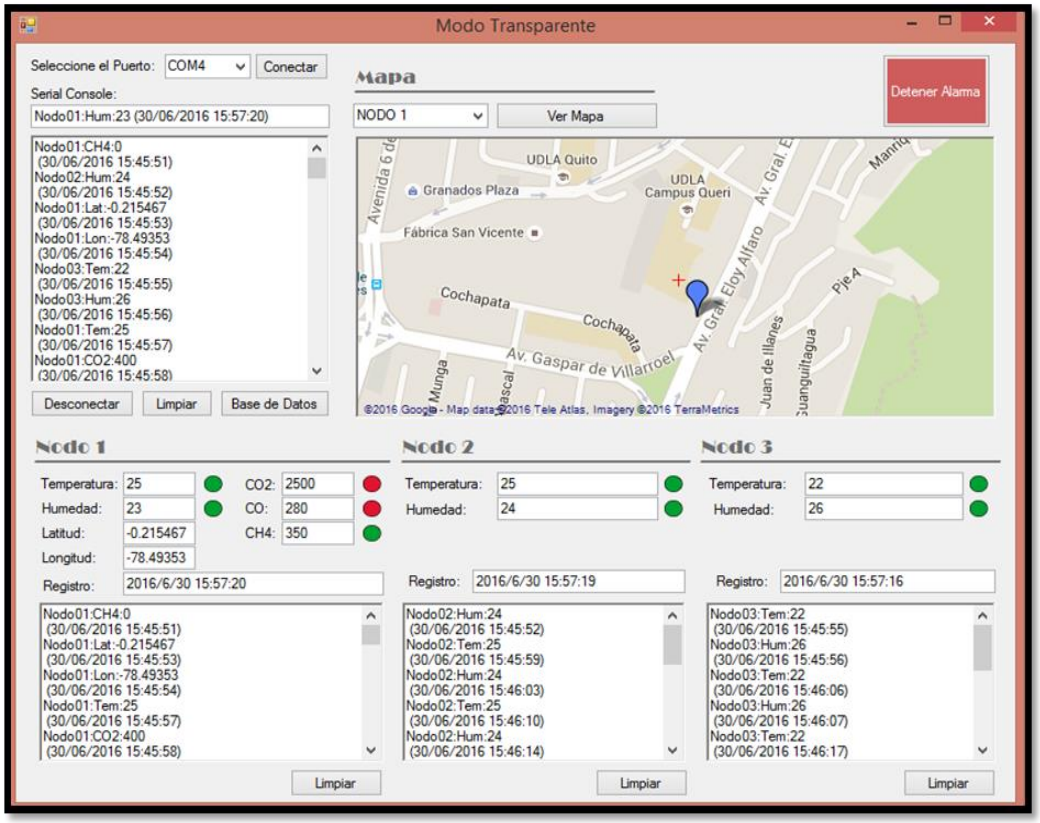


Figura 76. Aplicación (demostración niveles críticos).

Se observó en la figura anterior como cambia el indicador de verde a rojo, mostrando que los límites fueron superados, a parte también el sistema activa la alarma contra incendios por si fuera el caso de que la persona que monitoriza este distraída. Con la ayuda del GPS podemos localizar rápidamente el punto de donde es el posible foco de incendio para intervenir en el menor tiempo posible.

3.4 Pruebas

Para realizar las pruebas del sistema de detección de incendios se tomó como escenario el laboratorio de robótica (UITEC) de La Universidad de Las Américas, con la colaboración del Tecnólogo Santiago Solórzano y del Ingeniero Jorge Granda.

Se recolecto hojas de eucalipto para quemarlas y simular un incendio para ver la fiabilidad del sistema, ya que en el parque Metropolitano Guangüiltagua de Quito existe ese tipo de vegetación.

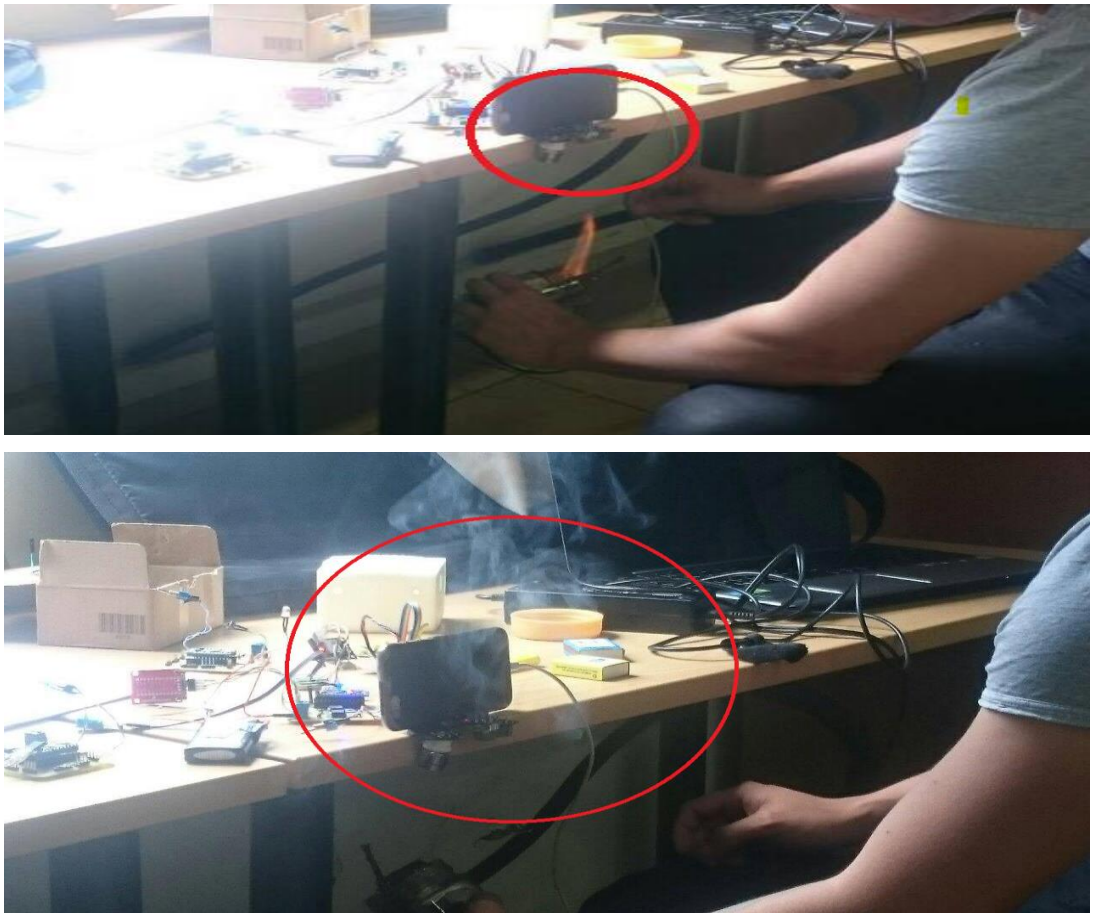


Figura 77. Pruebas en el laboratorio (UITEC)

Una vez que el sistema estaba listo para obtener datos del medio ambiente, se colocó las hojas de eucalipto en un recipiente de vidrio para quemarlas, luego se acercó a los sensores el humo producido por la combustión de las hojas como muestra la figura 77, de esa manera se pudo evidenciar la respuesta inmediata de la alarma del sistema.

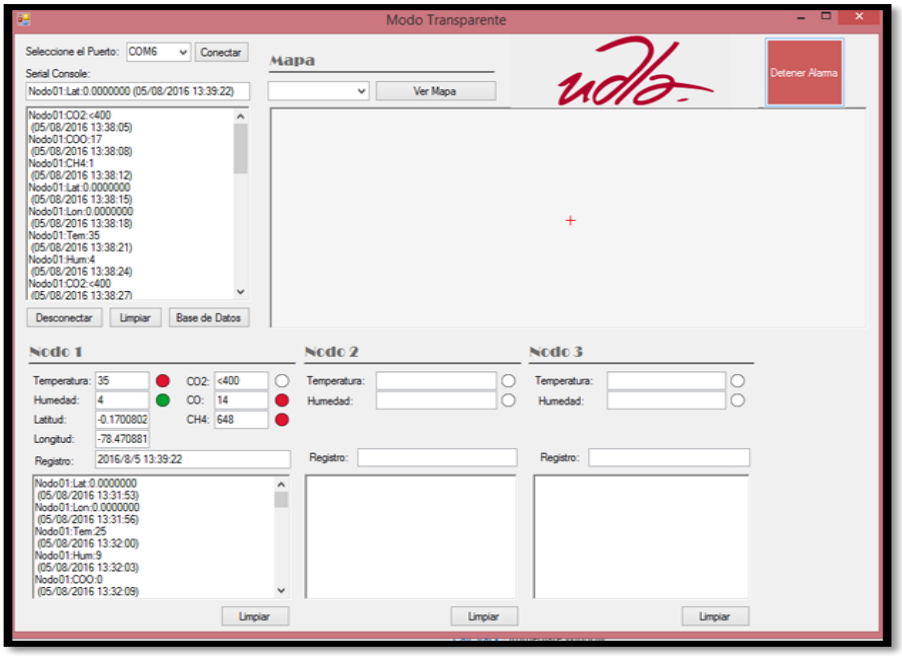


Figura 78. Evidencia de Alarma en el sistema de Incendios

Como se observa en la figura 78, cuando los niveles superan los permitidos, cambia de color de verde a rojo e indica el tipo de sensor está en niveles críticos.

NODO 1 Sensor: CO Buscar Niveles Críticos

NODO	SENSOR	VALOR	REGISTRO	ESTADO
Nodo01	CO	0	05/08/2016 13:34	normal
Nodo01	CO	0	05/08/2016 13:34	normal
Nodo01	CO	0	05/08/2016 13:35	normal
Nodo01	CO	0	05/08/2016 13:35	normal
Nodo01	CO	0	05/08/2016 13:35	normal
Nodo01	CO	1133	05/08/2016 13:36	superior
Nodo01	CO	0	05/08/2016 13:36	normal
Nodo01	CO	0	05/08/2016 13:37	normal
Nodo01	CO	234	05/08/2016 13:37	superior
Nodo01	CO	59	05/08/2016 13:37	superior
Nodo01	CO	17	05/08/2016 13:38	superior
Nodo01	CO	0	05/08/2016 13:38	normal
Nodo01	CO	0	05/08/2016 13:38	normal
Nodo01	CO	14	05/08/2016 13:39	superior
Nodo01	CO	0	05/08/2016 13:39	normal
Nodo01	CO	7	05/08/2016 13:40	normal
Nodo01	CO	86	05/08/2016 13:40	superior
Nodo01	CO	269	05/08/2016 13:40	superior
Nodo01	CO	4168	05/08/2016 13:41	superior
Nodo01	CO	3049	05/08/2016 13:41	superior
Nodo01	CO	0	05/08/2016 13:41	normal

NODO 1 Sensor: CH4 Buscar Niveles Críticos

NODO	SENSOR	VALOR	REGISTRO	ESTADO
Nodo01	CH4	0	05/08/2016 13:44	normal
Nodo01	CH4	0	05/08/2016 13:44	normal
Nodo01	CH4	0	05/08/2016 13:44	normal
Nodo01	CH4	0	05/08/2016 13:45	normal
Nodo01	CH4	18	05/08/2016 13:45	normal
Nodo01	CH4	3	05/08/2016 13:46	normal
Nodo01	CH4	0	05/08/2016 13:46	normal
Nodo01	CH4	0	05/08/2016 13:46	normal
Nodo01	CH4	8	05/08/2016 13:47	normal
Nodo01	CH4	0	05/08/2016 13:47	normal
Nodo01	CH4	0	05/08/2016 13:47	normal
Nodo01	CH4	47	05/08/2016 13:48	normal
Nodo01	CH4	0	05/08/2016 13:48	normal
Nodo01	CH4	20	05/08/2016 13:49	normal
Nodo01	CH4	13	05/08/2016 13:49	normal
Nodo01	CH4	0	05/08/2016 13:49	normal
Nodo01	CH4	0	05/08/2016 13:50	normal
Nodo01	CH4	0	05/08/2016 13:50	normal
Nodo01	CH4	0	05/08/2016 13:50	normal
Nodo01	CH4	0	05/08/2016 13:51	normal
Nodo01	CH4	120	05/08/2016 13:51	superior

Figura 79. Datos obtenidos en las pruebas

La figura 79 muestra la información que se almaceno en el motor de base de datos. Como se observa el sensor siempre está censando el medio ambiente y cuando se lo expone al humo que produce la quema de hojas, los niveles suben, de manera inmediata, lo cual hace que sea un sistema eficiente.

Tabla 26. Datos recolectados en las pruebas de incendios

Numero de medición	CO (ppm)	CH4 (ppm)	CO2 (ppm)
1.	1133	4	4627
2.	234	1078	1140
3.	59	1	5223
4.	17	648	2500
5.	14	18	4460
6.	86	3	1484
7.	269	8	2297
8.	3049	47	3537
9.	46	20	1929
10.	30	13	2100

Para comprobar el funcionamiento del CO2, se realizó un procedimiento diferente, se recolecto con una funda de basura grande el humo que sale del tubo de escape de un auto, para que pueda superar los límites que existen en el medio ambiente.

NODO 1 Sensor: CO2 Buscar Niveles Críticos

NODO	SENSOR	VALOR	REGISTRO	ESTADO
Nodo01	CO2	2100	23/06/2016 16:20	superior
Nodo01	CO2	476	23/06/2016 16:20	superior
Nodo01	CO2	2297	23/06/2016 16:23	superior
Nodo01	CO2	1059	23/06/2016 16:54	superior
Nodo01	CO2	11811	23/06/2016 16:59	superior
Nodo01	CO2	1623	23/06/2016 17:05	superior
Nodo01	CO2	5534	23/06/2016 17:12	superior
Nodo01	CO2	1484	23/06/2016 17:12	superior
Nodo01	CO2	10139	23/06/2016 17:17	superior
Nodo01	CO2	1158	23/06/2016 17:18	superior
Nodo01	CO2	4460	23/06/2016 17:22	superior
Nodo01	CO2	581	23/06/2016 17:49	superior
Nodo01	CO2	7700	23/06/2016 18:02	superior
Nodo01	CO2	3537	23/06/2016 18:02	superior
Nodo01	CO2	2500	30/06/2016 15:57	superior
Nodo01	CO2	2500	30/06/2016 15:57	superior
Nodo01	CO2	1929	05/07/2016 9:30	superior
Nodo01	CO2	5223	05/07/2016 9:30	superior
Nodo01	CO2	1140	05/07/2016 9:31	superior
Nodo01	CO2	4627	05/07/2016 9:43	superior

Actualizar

Figura 80. Datos obtenidos en las pruebas

Los sensores de los gases tienen un limitante depende de que llegue a sus cabezas el humo producido por el incendio o quema de hojas, y como no siempre llega la misma cantidad, las medidas van a ser muy variantes, pero el sistema es capaz de detectar siempre la presencia del tipo de gas que mide y de producir una alarma de manera inmediata.

4. ANÁLISIS DEL COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE RED INALÁMBRICA:

4.1 Costos Materiales:

Tabla 27. Costos de materiales

Cantidad	Tipo	Costo $	Total $
2	Sensor Dht11 (Temperatura y Humedad)	$ 6.00	$ 12.00
1	Sensor Dht22 (Temperatura y Humedad)	$ 12.00	$ 12.00
1	Sensor MG-811 CO2 (Dióxido de Carbono)*****	$ 58.55	$ 58.55
1	Sensor MQ7 CO (Monóxido de Carbono)*****	$ 8.00	$ 8.00
1	Sensor MQ4 CH4 (Metano)*****	$ 11.00	$ 11.00
4	Xbee S2b pro*****	$ 37.00	$ 148.00
1	GPS neo-6m*****	$ 18.58	$ 18.58
1	Panel Solar(130*150)mm*****	$ 9.00	$ 9.00
1	Adaptador de Panel Solar*****	$ 19.00	$ 19.00
2	Paquete de cables utp	$ 3.00	$ 6.00
3	Baterías Lipo	$15.00	$45.00
3	Arduino Mini pro*****	$ 7.00	$ 21.00
6	Regulador de voltaje 7805	$0.50	$3.00
3	Baquelita	$2.00	$6.00
1	Papel Transfer Azul	$3.90	$3.90
3	Funda de acido	$1.00	$3.00
3	Switch	$0.80	$2.40
3	Bordera	$0.50	$1.50
3	Led	$0.10	$0.30
3	Pulsador	$0.15	$0.45
6	Resistencia	$0.10	$0.60
1	Caja 3D	$35.00	$35.00
Total			$499.28

*Los Ítems que tienen * se encuentran con precios de Estados Unidos.

4.2 Costo del Diseño:

Tiempo de desarrollo de diseño: 1 mes.

Trabajo diario: 8 horas.

Costo por hora: $8.

Costo por día = 8 horas x $8 = $64.

Total costo diseño = 20 días x $64 dólares = $1280.

4.3 Costo de Programación:

Interfaz Gráfica en C#, la hora de programación está valorada en $8.

Tiempo de desarrollo: 2 semanas

Trabajo diario: 8 horas

Costo por hora = $8.

Costo por día =8 horas x $8 = $64 diarios.

Total = $64 dólares x 10 días = $640.

4.4 Total Costo del prototipo de red WSN con su respectiva interfaz Gráfica:

Costo Materiales = $499.28

Costo Diseño = $1280.00

Total Programación = $640.00

Total Costo = $2419.28

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES:

Se concluye que el prototipo cumplió los objetivos planteados. Los sensores detectan los gases de CO2, CO y CH4, cuando son expuestos al humo que produce cualquier tipo de material en combustión, principalmente se enfocó en las hojas secas de eucalipto y pino, porque es la vegetación típica de los parques del Distrito Metropolitano de Quito, sobre todo el del parque Metropolitano Guangüiltagua de Quito.

Se concluye que la interfaz Gráfica es capaz de presentar la información en tiempo real y almacenarlos en la base de datos, su manejo es muy sencillo y amigable con el usuario final, esto es muy importante porque así el sistema de detección de incendios puede ser manipulado por cualquier persona con una breve capacitación.

Se concluye que para mejorar las mediciones de los sensores, se puede acoplar a este sistema una bomba de aire que succione del medio ambiente una muestra del mismo, llevándola a una cámara cerrada, para obtener datos más reales sin que exista la afectación del aire.

Por último se concluye que los precios de los elementos para implementar la red son bastantes económicos, lo cual si este prototipo de red se implementará, podría generar un ahorro al Municipio de Quito en combatir incendios, y sobre todo tener una pronta respuesta ante un incendio.

5.2 RECOMENDACIONES

Si se desea implementar este proyecto en un área forestal, se debe tomar muy en cuenta el tipo de vegetación y obstáculos que se pueden presentar, para ello existen algunos modelos de propagación en bosques, los cuales ayudaran a realizar un estudio de pérdidas de potencias con el fin de que se pueda

dimensionar y cubrir todo el área a monitorear, como por ejemplo para implementar en el parque Metropolitano Guangüiltagua de Quito se recomienda el modelo de Weissberger.

Se recomienda calibrar bien los sensores, basándose en los datasheet del fabricante para obtener valores reales en ppm, ya que este dato es muy importante a la hora de implementar un prototipo para incendios e incluso serviría para medir la calidad del aire, en espacios públicos o en donde se genera mucha contaminación.

Si se desea implementar el prototipo para una red más grande se recomienda cambiar la topología a tipo malla, esto implica que la configuración de los Xbee debe ser en modo API para poder alcanzar mayores distancias con la red. No hay que olvidarse que en modo API se debe construir la trama desde el microcontrolador.

Por último se recomienda utilizar sensores con mayor rango de detección de gases y con mayor sensibilidad para que el sistema tenga un mejor alcance, se puede tomar en cuenta los sensores del capítulo uno.

REFERENCIAS

Arellano, A., Ávila, D., Erazo, J. y Hervas, C. (2015). Evaluación de una red de Sensores Inalámbrica para detección de Incendios Forestales. Recuperado el 10 de Abril de 2016 de www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/download/381/265

Beltrame, M. (2008). Sviluppo di una rete wireless di sensori per il monitoraggio di strutture in tempo reale. Università degli Studi di Pavia. Recuperado el 15 de Mayo de 2016 de http://netlab-mn.unipv.it/thesis/MSc/Beltrame_Thesis.pdf

Cují, D. y Pazmiño, D. (2015). Diseño e implementación de una red WSN (Wireless Sensor Network) basado en los protocolos zigbee, wifi y zigbee mesh, para el monitoreo de variables climáticas en el invernadero ubicado en el barrio rumipamba del navas, cantón salcedo, provincia de Cotopaxi. Recuperado el 23 de Mayo de 2016 de http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10067/1/T-ESPEL-ENI-0347.pdf

Dfroboot. (s.f.). Dfroboot Drive the Future. Recuperado el 14 de Abril de 2016 de: http://www.dfrobot.com/index.php?route=product/category&path=156_211

Diaz, M. (2006). Wireless sensor network. Recuperado el 20 de Enero de 2016 de: http://arcos.inf.uc3m.es/~sescolar/index_files/presentacion/wsn.pdf

DomoDesk. (s.f.). El zumbido de las abejas, ZIGBEE. Recuperado el 15 de Abril de 2016 de http://www.domodesk.com/a-fondo-zigbee

Duarte, A. (2010). Arduino y Xbee. Recuperado el 25 de Mayo de 2016 de: http://www.andresduarte.com/arduino-y-xbee

El Universo. (s.f.). Parque Metropolitano de Quito, del verde al gris tras fuego. Recuperado el 21 de Enero de 2016 de: http://www.eluniverso.com/noticias/2013/09/30/nota/1519761/parque-verde-gris-tras-fuego

Erazo, J. y Hervas, C. (2014). Sistema de detección de incendios forestales mediante redes sensoriales inalámbricas (Zigbee). Escuela Superior

Politécnica de Chimborazo. Recuperado el 8 de Abril de 2016 de www.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/download/532/457

Escolar, M. (2006). Wireless sensor network. Estado del Arte e Investigación. Recuperado el 30 de Marzo de 2016 de: http://www.arcos.inf.uc3m.es/~sescolar/index_files/presentacion/wsn.pdf

Explored, (s.f.). El incendio en el Parque Metropolitano mantiene focos activos. Recuperado el 21 de Enero de 2016 de: http://www.explored.com.ec/noticias-ecuador/el-incendio-en-el-parque-metropolitano-mantiene-focos-activos-591391.html

Faludi, R. (2010). Building Wireless Sensor Network. (1ª Ed.). Estados Unidos. O' Reilly.

Glen, M. y Moreno, J. (2012). ZIGBEE. Recuperado el 28 de Abril de 2016 de https://sx-de-tx.wikispaces.com/ZIGBEE

Hurican, J. (2007). Conversores Análogo-Digital y Digital-Análogo: Conceptos Básicos. Recuperado el 28 de Marzo de 2016 de: http://quidel.inele.ufro.cl/~jhuircan/PDF_CTOSII/ad03.pdf

Industrial Scientific. (s.f.). Detector de gas MX6 iBrid. Recuperado el 14 de Junio de 2016 de: http://www.indsci.es/productos/detectores-multigas/mx6/

Kane. (s.f.). What are safe levels of CO and CO2 in rooms?. Recuperado el 8 de Junio de 2016 de: https://www.kane.co.uk/knowledge-centre/what-are-safe-levels-of-co-and-co2-in-rooms

Martínez, R. (2014). Análisis y diseño de una red inalámbrica de sensores para un proyecto agrario. Universitat Oberta de Catalunya. Recuperado el 26 de Abril de 2016 de openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/.../8/rmartinezgarciTFC0114memoria.pdf

Ortiz, F. (2008). Redes de Sensores Inalámbricos. Recuperado el 14 de Abril de 2016 de http://profesores.elo.utfsm.cl/~tarredondo/info/networks/Presentacion_sensores.pdf

Arduino. (s.f.). Que es Arduino? Recuperado el 19 de Abril de 2016 de: http://arduino.cl/que-es-arduino/

Xbee. (s.f.). Que es Xbee? Recuperado el 3 de Mayo de 2016 de http://xbee.cl/que-es-xbee/

Ruiz, G. (2015). ¿CÓMO FUNCIONAN LOS PANELES SOLA.RES?. Recuperado el 11 de Junio de 2016 de: http://erenovable.com/como-funcionan-los-paneles-solares/

Rambal. (s.f.). Lipo Rider Pro. Recuperado EL 10 de Mayo de 2016 de http://www.seeedstudio.com/wiki/Lipo_Rider_Pro

Ublock. (s.f.). NEO-6 u-blox 6 GPS Modules Data Sheet. Recuperado el 16 de Mayo de 2016 de: http://botscience.net/store/index.php?route=product/product&product_id=73

Universidad De La Rioja. (s.f.). Redes Inalámbricas de Sensores: Teoría y Aplicación Práctica. Recuperado el 25 de Marzo de 2016 de dialnet.unirioja.es/descarga/libro/377564.pdf

Wireless Sensor Networks. (s.f.). Introducción a las redes de sensores inalámbricas. Recuperado 17 de Marzo de 2016 de http://www.mfbarcell.es/conferencias/wsn.pdf

ANEXOS

ANEXO A

Datasheet Sensor MQ7

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
V_H (H)	Heating voltage (high)	5V±0.1	Ac or Dc
V_H (L)	Heating voltage (low)	1.4V±0.1	Ac or Dc
R_L	Load resistance	Can adjust	
R_H	Heating resistance	33 Ω ±5%	Room temperature
$T_{H(H)}$	Heating time (high)	60±1 seconds	
$T_{H(L)}$	Heating time (low)	90±1 seconds	
PH	Heating consumption	About 350mW	

b. Environment conditions

Symbol	Parameters	Technical conditions	Remark
Tao	Using temperature	-20℃-50℃	
Tas	Storage temperature	-20℃-50℃	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%

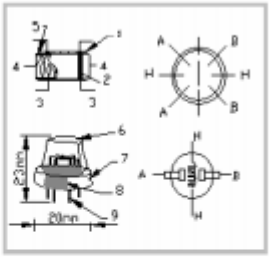
c. Sensitivity characteristic

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

D. Structure and configuration, basic measuring circuit

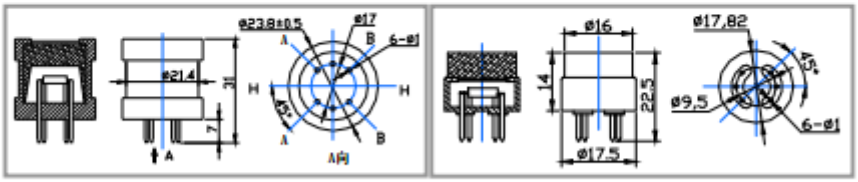
Structure and configuration of MQ-7 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro AL_2O_3 ceramic tube, Tin Dioxide (SnO_2) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-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_2O_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



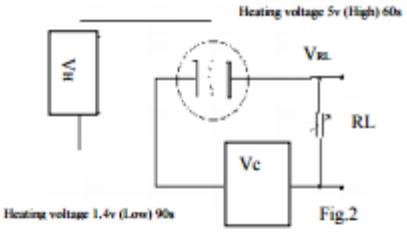


Fig.2

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

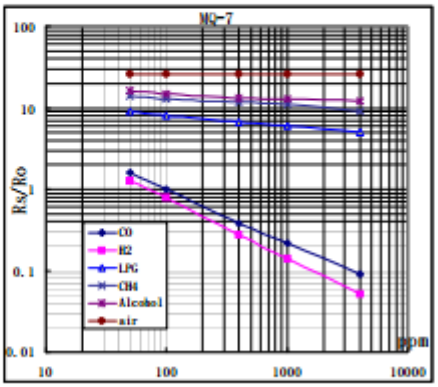


Fig.3 sensitivity characteristics of the MQ-7

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

in their: Temp: 20℃、

Humidity: 65%、

O_2 concentration 21%

RL=10k Ω

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

Rs: sensor resistance at various concentrations of gases.

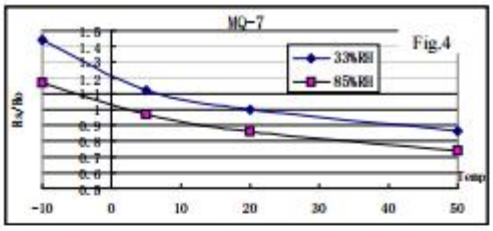


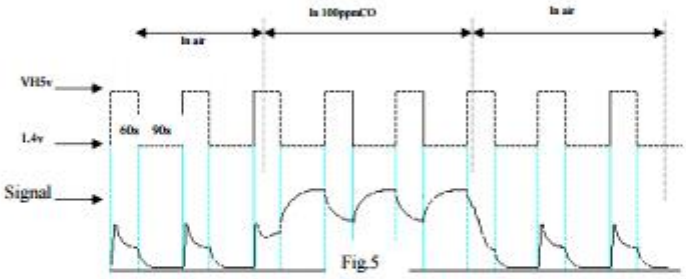
Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-7 on temperature and humidity.
Ro: sensor resistance at 100ppm CO in air at 33%RH and 20degree.
Rs: sensor resistance at 100ppm CO at different temperatures and humidities.

OPERATION PRINCIPLE

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

$$Rs/RL = (Vc-VRL) / VRL$$

Fig. 5 shows alterable situation of RL 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.

SENSITVITY 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:

a. Connect the sensor to the application circuit.

b. Turn on the power, keep preheating through electricity over 48 hours.

c. Adjust the load resistance RL until you get a signal value which is respond to a certain carbon monoxide concentration at the end point of 90 seconds.

d. Adjust the another load resistance RL 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.

Anexo B

Datasheet Sensor MQ4.

TECHNICAL DATA MQ-4 GAS SENSOR

FEATURES

- High sensitivity to CH_4, 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 CH_4,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
Vc	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V_H	Heating voltage	5V±0.1	ACOR DC
P_L	Load resistance	20KΩ	
R_H	Heater resistance	33Ω ±5%	Room Tem
P_H	Heating consumption	less than 750mw	

B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
Tao	Using Tem	-10℃-50℃	
Tas	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	Ramark 2
Rs	Sensing Resistance	10KΩ - 60KΩ (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%	Vc:5V±0.1 Vh: 5V±0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

D. Strucyure and configuration, basic measuring circuit

	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_2O_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

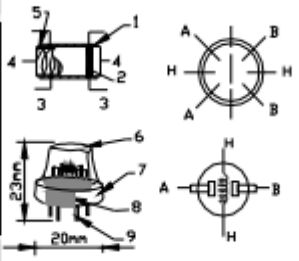


Fig. 1

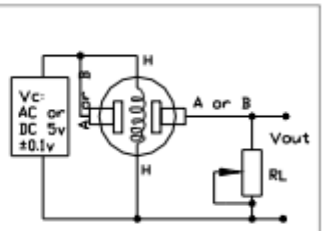
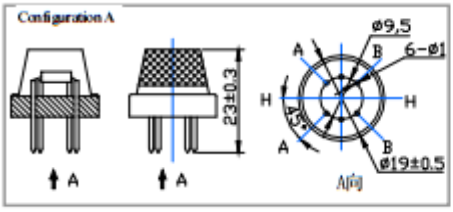
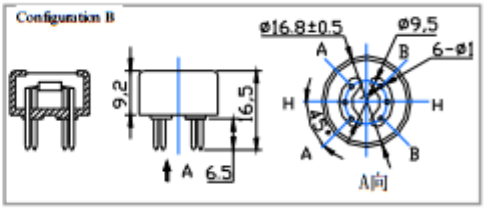


Fig.2





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

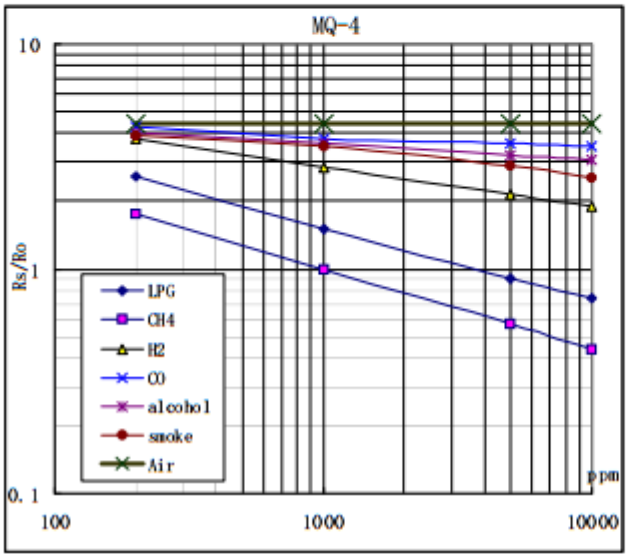


Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-4 for several gases.
in their: Temp: 20℃、
Humidity: 65%、
O_2 concentration 21%
RL=20k Ω
Ro: sensor resistance at 1000ppm of CH_4 in the clean air.
Rs:sensor resistance at various concentrations of gases.

Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-4

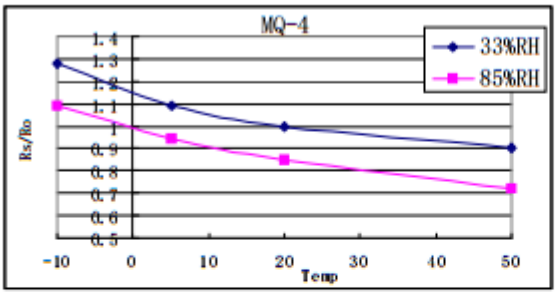


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-4 on temperature and humidity.
Ro: sensor resistance at 1000ppm of CH_4 in air at 33%RH and 20 degree.
Rs: sensor resistance at 1000ppm of CH_4 in air at different temperatures and humidities.

SENSITVITY 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.

Anexo C

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 steeless net (6), Nickel and copper plated ring (7), Bakelite (8), Nickel and copper plated pin (9).

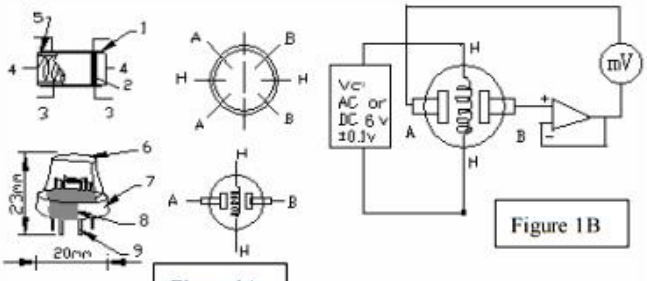
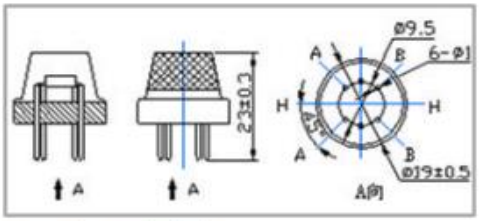
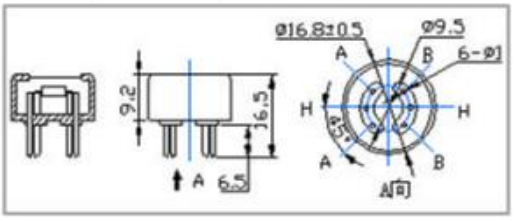


Figure 1A

Figure 1B





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 + + CO2 + 1/2O2 + 2e - = Li2CO3

Anodic reaction: 2Na+ + 1/2O2 + 2e- = Na2O

Overall chemical reaction: Li2CO3 + 2Na + = Na2O + 2Li + + CO2

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

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

$P(CO_2)$—CO2--- partial Pressure Ec—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—1000GΩ, 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	
Tao	Operating Temperature	-20—50	
Tas	Storage Temperature	-20—70	
? E?M F	Output	30—50mV	350—10000ppmCO2

Sensitivity ：

Figure 2 Shows gas sensor sensitivity curve. ：

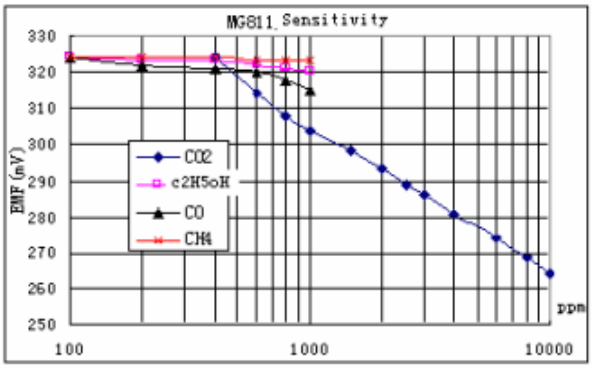
Conditions:

Tem ： 28℃、

RH: 65%、

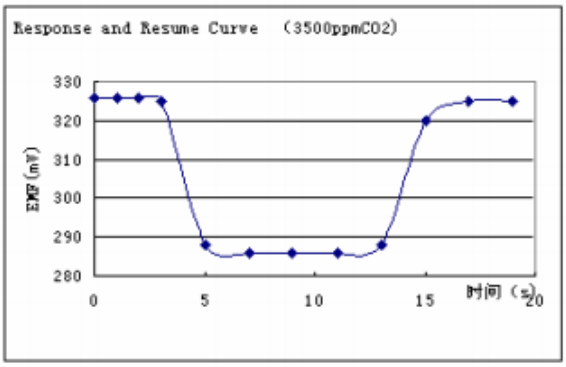
Oxygen ： 21%

EMF: sensor EMF under different gas and concentration .

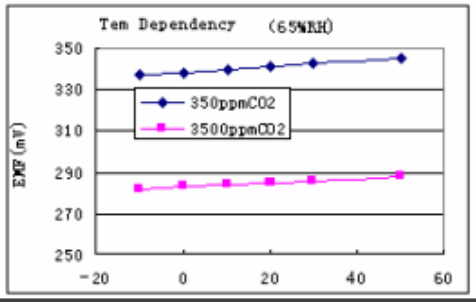


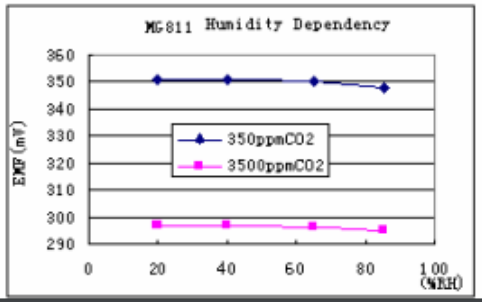
Response and Resume Characteristic：

Figure 3 shows Solid electrolyte sensor response and resume characteristics.



Temperature and Humidity Dependency ：





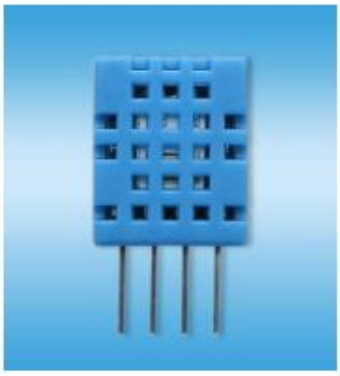
Anexo D

Datasheet Sensor DHT11

AOSONG Temp、Humidity & Dew point measurement experts

1、Product Overview

DHT11 digital temperature and humidity sensor is a composite Sensor contains a calibrated digital signal output of the temperature and humidity. Application of a dedicated digital modules collection technology and the temperature and humidity sensing technology, to ensure that the product has high reliability and excellent long-term stability. The sensor includes a resistive sense of wet components and an NTC temperature measurement devices, and connected with a high-performance 8-bit microcontroller.



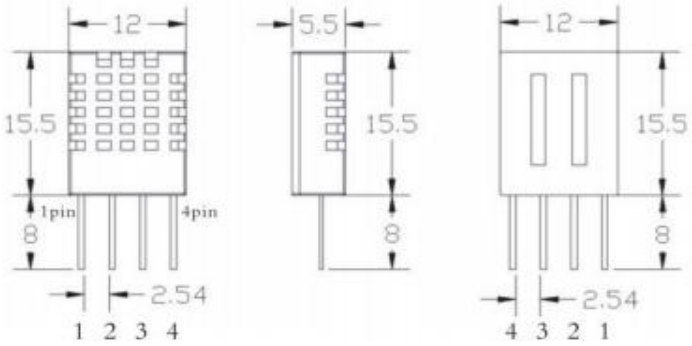
2、Applications

HVAC, dehumidifier, testing and inspection equipment, consumer goods, automotive, automatic control, data loggers, weather stations, home appliances, humidity regulator, medical and other humidity measurement and control.

3、Features

Low cost, long-term stability, relative humidity and temperature measurement, excellent quality, fast response, strong anti-interference ability, long distance signal transmission, digital signal output, and precise calibration.

4、Dimensions (unit: mm)



5、Product parameters

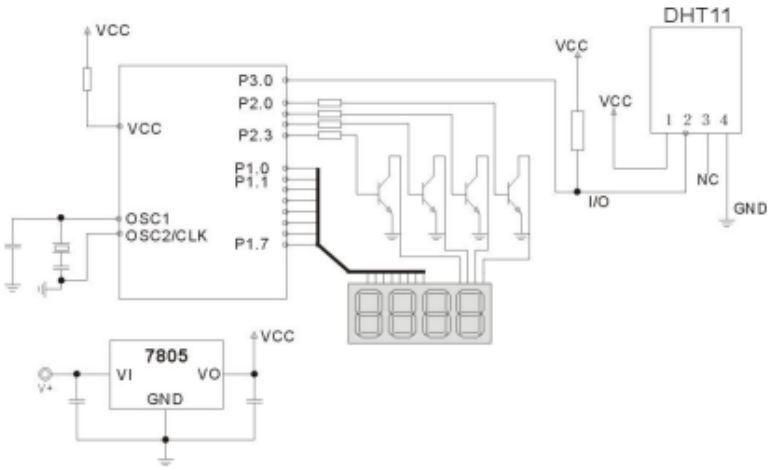
Relative humidity
Resolution: 16Bit
Repeatability: ±1% RH
Accuracy: At 25℃ ±5% RH
Interchangeability: fully interchangeable
Response time: 1 / e (63%) of 25℃ 6s
1m / s air 6s
Hysteresis: <± 0.3% RH
Long-term stability: <± 0.5% RH / yr in

Temperature
Resolution: 16Bit
Repeatability: ±0.2℃
Range: At 25℃ ±2℃
Response time: 1 / e (63%) 10S

Electrical Characteristics
Power supply: DC 3.5 ~ 5.5V
Supply Current: measurement 0.3mA standby 60μ A
Sampling period: more than 2 seconds

Pin Description
1, the VDD power supply 3.5 ~ 5.5V DC
2 DATA serial data, a single bus
3, NC, empty pin
4, GND ground, the negative power

6、Typical circuit



Microprocessor and DHT11 of connection typical application circuit as shown above, DATA pull the microprocessor I / O ports are connected.

1. Typical application circuit recommended in the short cable length of 20 meters on the 5.1K pull-up resistor, the resistance of greater than 20 meters under the pull-up resistor on the lower of the actual situation.

2. When using a 3.5V voltage supply cable length shall not be greater than 20cm. Otherwise, the line voltage drop will cause the sensor power supply shortage, caused by measurement error.

3. Each read out the temperature and humidity values are the results of the last measurement For real-time data, sequential read twice, but is not recommended to repeatedly read the sensors, each read sensor interval is greater than 5 seconds can be obtainedaccurate data.

7、Serial communication instructions (single-wire bi-directional)

◎Single bus Description

DHT11 uses a simplified single-bus communication. Single bus that only one data line, the system of data exchange, control by a single bus to complete. Device (master or slave) through an open-drain or tri-state port connected to the data line to allow the device does not send data to release the bus, while other devices use the bus; single bus usually require an external one about 5.1kΩ pull-up resistor, so that when the bus is idle, its status is high. Because they are the master-slave structure, and only when the host calls the slave, the slave can answer, the host access devices must strictly follow the single-bus sequence, if the chaotic sequence, the device will not respond to the host.

◎Single bus to transfer data defined

DATA For communication and synchronization between the microprocessor and DHT11, single-bus data format, a transmission of 40 data, the high first-out.

Data format:

The 8bit humidity integer data + 8bit the Humidity decimal data +8 bit temperature integer data + 8bit fractional temperature data +8 bit parity bit.

◎Parity bit data definition

"8bit humidity integer data + 8bit humidity decimal data +8 bit temperature integer data + 8bit temperature fractional data" 8bit checksum is equal to the results of the last eight.

Example 1: 40 data is received:

0011 0101	0000 0000	0001 1000	0000 0000	0100 1101
High humidity 8	Low humidity 8	High temp. 8	Low temp. 8	Parity bit

Calculate：

0011 0101+0000 0000+0001 1000+0000 0000= 0100 1101

Received data is correct；

Humidity：0011 0101=35H=53%RH

Temperature：0001 1000=18H=24℃

Example 2: 40 data is received:

0011 0101	0000 0000	0001 1000	0000 0000	0100 1001
High humidity 8	Low humidity 8	High temp. 8	Low temp. 8	Parity bit

Calculate：

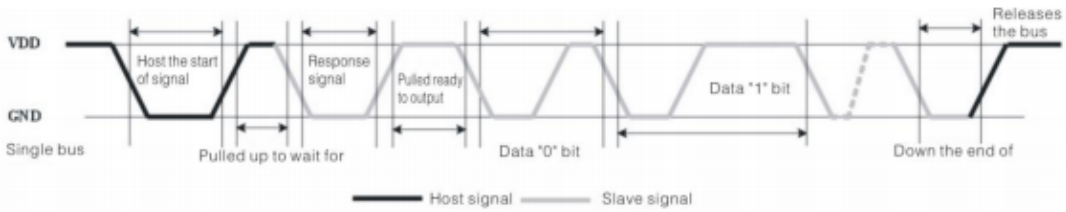
0011 0101+0000 0000+0001 1000+0000 0000 = 0100 1101

01001101≠0100 1001

The received data is not correct, give up, to re-receive data.

◎Data Timing Diagram

User host (MCU) to send a signal, DHT11 converted from low-power mode to high-speed mode, until the host began to signal the end of the DHT11 send a response signal to send 40bit data, and trigger a letter collection. The signal is sent as shown.



Data Timing Diagram

Note: The host reads the temperature and humidity data from DHT11 always the last measured value, such as twice the measured interval of time is very long, continuous read twice to the second value of real-time temperature and humidity values.

◎Peripherals read steps

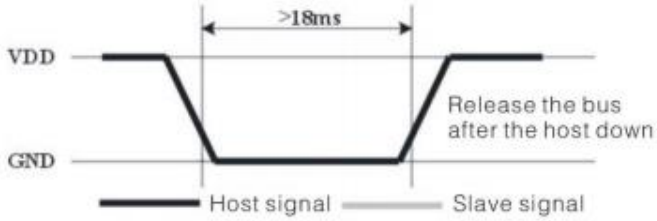
Communication between the master and slave can be done through the following steps (peripherals (such as microprocessors) read DHT11 the data of steps).

Step 1:

After power on DHT11 (DHT11 on after power to wait 1S across the unstable state during this period can not send any instruction), the test environment temperature and humidity data, and record the data, while DHT11 the DATA data lines pulled by pull-up resistor has been to maintainhigh; the DHT11 the DATA pin is in input state, the moment of detection of external signals.

Step 2:

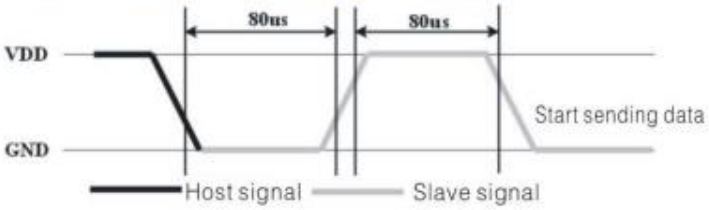
Microprocessor I / O set to output at the same time output low, and low hold time can not be less than 18ms, then the microprocessor I / O is set to input state, due to the pull-up resistor, a microprocessor/ O DHT11 the dATA data lines also will be high, waiting DHT11 to answer signal, send the signal as shown:



Host sends a start signal

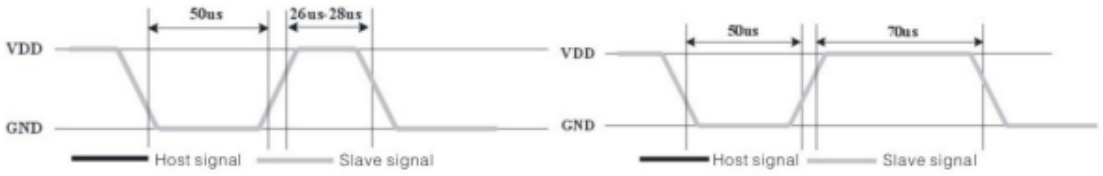
Step 3:

DATA pin is detected to an external signal of DHT11 low, waiting for external signal low end the delay DHT11 DATA pin in the output state, the output low of 80 microseconds as the response signal, followed by the output of 80 micro-seconds of high notification peripheral is ready to receive data, the microprocessor I / O at this time in the input state is detected the I / O low (DHT11 response signal), wait 80 microseconds highdata receiving and sending signals as shown:



Step 4:

Output by DHT11 the DATA pin 40, the microprocessor receives 40 data bits of data "0" format: the low level of 50 microseconds and 26-28 microseconds according to the changes in the I / O levellevel, bit data "1" format: the high level of low plus, 50 microseconds to 70 microseconds. Bit data "0", "1" signal format as shown:



Bit data "0" bit format　　Bit data "1" bit format

End signal:

Continue to output the low 50 microseconds after DHT11 the DATA pin output 40 data, and changed the input state, along with pull-up resistor goes high. But DHT11 internal re-test environmental temperature and humidity data, and record the data, waiting for the arrival of the external signal.

8、Application of information

1. Work and storage conditions

Outside the sensor the proposed scope of work may lead to temporary drift of the signal up to 300%RH. Return to normal working conditions, sensor calibration status will slowly toward recovery. To speed up the recovery process may refer to "resume processing". Prolonged use of non-normal operating conditions, will accelerate the aging of the product.

Avoid placing the components on the long-term condensation and dry environment, as well as the following environment.

A, salt spray

B, acidic or oxidizing gases such as sulfur dioxide, hydrochloric acid

Recommended storage environment

Temperature: 10 ~ 40 ℃ Humidity: 60% RH or less

2. The impact of exposure to chemicals

The capacitive humidity sensor has a layer by chemical vapor interference, the proliferation of chemicals in the sensing layer may lead to drift and decreased sensitivity of the measured values. In a pure environment, contaminants will slowly be released. Resume processing as described below will accelerate this process. The high concentration of chemical pollution (such as ethanol) will lead to the complete damage of the sensitive layer of the sensor.

3. The temperature influence

Relative humidity of the gas to a large extent dependent on temperature. Therefore, in the measurement of humidity, should be to ensure that the work of the humidity sensor at the same temperature. With the release of heat of electronic components share a printed circuit board, the installation should be as far as possible the sensor away from the electronic components and mounted below the heat source, while maintaining good ventilation of the enclosure. To reduce the thermal conductivity sensor and printed circuit board copper plating should be the smallest possible, and leaving a gap between the two.

4. Light impact

Prolonged exposure to sunlight or strong ultraviolet radiation, and degrade performance.

5. Resume processing

Placed under extreme working conditions or chemical vapor sensor, which allows it to return to the status of calibration by the following handler. Maintain two hours in the humidity conditions of 45℃ and <10% RH (dry); followed by 20−30℃ and> 70% RH humidity conditions to maintain more than five hours.

6. Wiring precautions

The quality of the signal wire will affect the quality of the voltage output, it is recommended to use high quality shielded cable.

7. Welding information

Manual welding, in the maximum temperature of 300℃ under the conditions of contact time shall be less than 3 seconds.

8. Product upgrades

Details, please the consultation Aosong electronics department.

9、The license agreement

Without the prior written permission of the copyright holder, shall not in any form or by any means, electronic or mechanical (including photocopying), copy any part of this manual, nor shall its contents be communicated to a third party. The contents are subject to change without notice.

The Company and third parties have ownership of the software, the user may use only signed a contract or software license.

10、Warnings and personal injury

This product is not applied to the safety or emergency stop devices, as well as the failure of the product may result in injury to any other application, unless a particular purpose or use authorized. Installation, handling, use or maintenance of the product refer to product data sheets and application notes. Failure to comply with this recommendation may result in death and serious personal injury. The Company will bear all damages resulting personal injury or death, and waive any claims that the resulting subsidiary company managers and employees and agents, distributors, etc. that may arise, including: a variety of costs, compensation costs, attorneys' fees, and so on.

11、Quality Assurance

The company and its direct purchaser of the product quality guarantee period of three months (from the date of delivery). Publishes the technical specifications of the product data sheet shall prevail. Within the warranty period, the product was confirmed that the quality is really defective, the company will provide free repair or replacement. The user must satisfy the following conditions:

① The product is found defective within 14 days written notice to the Company;

② The product shall be paid by mail back to the company;

③ The product should be within the warranty period.

The Company is only responsible for those used in the occasion of the technical condition of the product defective product. Without any guarantee, warranty or written statement of its products used in special applications. Company for its products applied to the reliability of the product or circuit does not make any commitment.