



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

**“PROPUESTA DE UN PROTOTIPO DE NODOS INTELIGENTES**  
**INTEGRABLES A UNA RED INALÁMBRICA PARA**  
**SUPERVISIÓN EN LÍNEA DE CONTAMINANTES DEL AIRE.”**

Trabajo de titulación:

**Tipo: PROPUESTA TECNOLÓGICA**

Para optar el grado académico de:

**INGENIERA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y**  
**REDES**

**AUTORAS:**     **MARÍA ISABEL ASADOBAY SINALUISA**  
**ADRIANA ESTEFANÍA PACA AUCANCELA**

**TUTOR:**        **ING. JOSÉ ENRIQUE GUERRA SALAZAR**

Riobamba – Ecuador

2019

©2019, María Isabel Asadobay Sinaluisa, Adriana Estefanía Paca Aucancela

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

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

El tribunal de trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: “PROPUESTA DE UN PROTOTIPO DE NODOS INTELIGENTES INTEGRABLES A UNA RED INALÁMBRICA PARA SUPERVISIÓN EN LÍNEA DE CONTAMINANTES DEL AIRE”, de responsabilidad de las señoritas María Isabel Asadobay Sinaluisa y Adriana Estefanía Paca Aucancela, ha sido minuciosa revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación quedando autorizado su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
ING. WASHINGTON LUNA <b>DECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA</b>	_____	_____
ING. PATRICIO ROMERO <b>DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES</b>	_____	_____
ING. JOSÉ GUERRA SALAZAR <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	_____	_____
ING. JOSE MORALES GORDON <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	_____

Nosotras, María Isabel Asadobay Sinaluisa y Adriana Estefanía Paca Aucancela somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

María Isabel Asadobay Sinaluisa

Adriana Estefanía Paca Aucancela

## **DEDICATORIA**

A mi Padre Celestial, por ser la parte fundamental de mi vida por amarme incondicional, a mis padres por ser mí guía, apoyo y refugio siempre, a mi hermano Jorgito, a mi familia, amigos, amigas y a todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo.

Ma. Isabel

A Dios y a mis padres por ser el pilar fundamental y el orgullo más grande. A mis hermanos y familia por apoyarme incondicionalmente, a mi pequeño sobrino Said por ser el motivo de seguir adelante. Y a mis amigos por estar presente en los momentos difíciles a lo largo de mi vida estudiantil.

Adriana

## AGRADECIMIENTO

A mi Padre Celestial por ayudarme siempre, a mis padres y hermano por apoyarme, a mi familia y a todas las personas ingenieros, ingenieras, amigos y amigas que contribuyeron en la realización de este trabajo.

Ma. Isabel

A Dios por darme la fuerza y sabiduría necesaria para poder cumplir esta meta tan anhelada. A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional, por sus consejos y nunca dejarme caer y a toda mi familia por siempre brindarme su cariño y apoyo. A mi sobrino por ser el motivo de superación. A mis amigos por siempre acompañarme en los buenos y difíciles momentos.

Adriana

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1.....	6
1 MARCO TEÓRICO .....	6
1.1 Contaminación del Aire .....	6
1.1.1 Contaminantes Comunes del Aire.....	6
1.1.2 Valores de IQCA.....	8
1.1.3 Problemática .....	9
1.2 Sistemas Desarrollados.....	10
1.2.1 A nivel mundial.....	10
1.2.2 A nivel nacional.....	10
1.3 Redes de sensores inalámbricos (WSN).....	11
1.3.1 Arquitectura de la red WSN .....	12
1.3.2 Topologías de la red WSN.....	12
1.3.3 Análisis comparativo de las topologías de red .....	14
1.4 Tecnologías de comunicación inalámbrica.....	16
1.4.1 Bluetooth.....	16
1.4.2 Zigbee.....	16
1.4.3 Wi - Fi.....	16
1.4.4 WiMax.....	17
1.4.5 Análisis Comparativo de Tecnologías de Comunicación Inalámbricas .....	17
1.5 Sensores .....	18
1.5.1 Análisis comparativo de sensores de gases contaminantes .....	19
1.5.2 Análisis comparativo de sensores de material particulado .....	20
1.6 Tarjetas de desarrollo .....	20
1.6.1 Análisis Comparativo de Tarjetas de Desarrollo. ....	21
1.7 Plataformas IoT .....	22
1.7.1 Análisis comparativo de las plataformas IoT .....	22
2 MARCO METODOLÓGICO .....	24
2.1 Definición de requerimientos <i>hardware</i> del prototipo MyAIR.....	24
2.2 Diseño del prototipo MyAIR.....	24
2.2.1 Concepción de la arquitectura general del prototipo MyAIR.....	25

<b>2.3</b>	<b>Arquitectura del prototipo MyAIR.....</b>	<b>25</b>
2.3.1	<i>Nodo de Adquisición de Datos (NAD) .....</i>	26
2.3.2	<i>Nodo de Control de Datos (NCD) y Nodo de Visualización de Información (NVI) .....</i>	26
<b>2.4</b>	<b>Selección del hardware para el prototipo MyAIR.....</b>	<b>27</b>
2.4.1	<i>Sensor de gas MQ-7.....</i>	27
2.4.2	<i>Sensor de gas MQ-131.....</i>	28
2.4.3	<i>Sensor de gas MQ-136.....</i>	29
2.4.4	<i>Sensor de material particulado PMS5003 .....</i>	30
2.4.5	<i>Tarjetas de desarrollo para el prototipo MyAIR.....</i>	31
2.4.5.1	<i>Arduino Mega .....</i>	31
2.4.5.2	<i>NodeMCU ESP8266.....</i>	32
2.4.6	<i>Módulo de GPS u-blox NEO 6M .....</i>	32
2.4.7	<i>Módulo Bluetooth HC-05 .....</i>	33
2.4.8	<i>Módulo XBee S2C.....</i>	34
2.4.9	<i>Cargador solar portátil .....</i>	35
<b>2.5</b>	<b>Esquema de conexión del prototipo MyAIR .....</b>	<b>36</b>
2.5.1	<i>Esquema de conexión del NAD.....</i>	36
2.5.2	<i>Esquema de conexión del NCD.....</i>	38
<b>2.6</b>	<b>Selección del software para el prototipo MyAIR.....</b>	<b>39</b>
2.6.1	<i>Requerimientos software del prototipo MyAIR .....</i>	39
2.6.2	<i>Software de desarrollo para el prototipo MyAIR.....</i>	40
2.6.3	<i>Diagramas de flujo del Prototipo MyAIR.....</i>	41
<b>2.7</b>	<b>Plataforma de Visualización de Información Ubidots.....</b>	<b>46</b>
<b>2.8</b>	<b>Software para Dispositivos Móviles.....</b>	<b>49</b>
<b>3</b>	<b>PRUEBAS Y RESULTADOS .....</b>	<b>51</b>
3.1	<i>Selección de la topología de red.....</i>	51
3.1.1	<i>Número de nodos conectados en la red malla .....</i>	54
3.1.2	<i>Cálculo de distancia entre nodos en la red malla.....</i>	56
3.1.3	<i>Pérdida de paquetes en la red malla .....</i>	56
<b>3.2</b>	<b>Caracterización del Nodo de Adquisición de Datos.....</b>	<b>57</b>
3.2.1	<i>Calibración de sensores MQ.....</i>	58
3.2.2	<i>Caracterización de mediciones de gases contaminantes y material particulado.....</i>	61
3.2.2.1	<i>Caracterización del Sensor de CO.....</i>	62
3.2.2.2	<i>Caracterización del Sensor de O3 y NO2 .....</i>	63
3.2.2.3	<i>Caracterización del Sensor de PM10 y PM2.5 .....</i>	65
3.2.3	<i>Repetitividad del NAD .....</i>	66



<b>3.3</b>	<b>Caracterización de comunicación inalámbrica.....</b>	<b>66</b>
<b>3.3.1</b>	<i>Alcance de comunicación RF entre los nodos del prototipo.....</i>	<i>67</i>
<b>3.3.2</b>	<i>Integridad de comunicación RF entre los nodos del prototipo.....</i>	<i>69</i>
<b>3.3.3</b>	<i>Comunicación Bluetooth con la aplicación móvil.....</i>	<i>71</i>
<b>3.4</b>	<b>Caracterización del Nodo de Control de Datos.....</b>	<b>72</b>
<b>3.4.1</b>	<i>Registro de datos a Ubidots.....</i>	<i>72</i>
<b>3.4.2</b>	<i>Almacenamiento de datos en Ubidots.....</i>	<i>73</i>
<b>3.5</b>	<b>Alimentación del prototipo MyAIR.....</b>	<b>75</b>
<b>3.6</b>	<b>Funcionamiento del prototipo MyAIR.....</b>	<b>76</b>
<b>3.7</b>	<b>Presupuesto del prototipo MyAIR.....</b>	<b>77</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>78</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>79</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Cuadro informativo de los contaminantes comunes sus principales características, fuentes y consecuencias en la salud. ....	7
<b>Tabla 2-1:</b> Niveles de valores IQCA.....	9
<b>Tabla 3-1:</b> Cuadro informativo de las ventajas y desventajas de las topologías de red. ....	15
<b>Tabla 4-1:</b> Cuadro comparativo de tecnologías de redes inalámbricas. ....	17
<b>Tabla 5-1:</b> Cuadro comparativo de familias de sensores de gases contaminantes. ....	19
<b>Tabla 6-1:</b> Cuadro comparativo de familias de sensores de Material Particulado. ....	20
<b>Tabla 7-1:</b> Cuadro comparativo de tarjetas de desarrollo. ....	21
<b>Tabla 8-1:</b> Cuadro comparativo de plataformas IoT. ....	22
<b>Tabla 1-2:</b> Especificaciones técnicas del sensor MQ7. ....	28
<b>Tabla 2-2:</b> Especificaciones técnicas del sensor MQ131. ....	29
<b>Tabla 3-2:</b> Especificaciones técnicas del sensor MQ136. ....	29
<b>Tabla 4-2:</b> Especificaciones técnicas del sensor PMS5003. ....	30
<b>Tabla 5-2:</b> Especificaciones técnicas de Arduino Mega. ....	31
<b>Tabla 6-2:</b> Especificaciones técnicas del NodeMCU ESP8266. ....	32
<b>Tabla 7-2:</b> Especificaciones técnicas del GPS u-blox NEO-6M. ....	33
<b>Tabla 8-2:</b> Especificaciones técnicas del módulo de Bluetooth HC-05. ....	34
<b>Tabla 9-2:</b> Especificaciones técnicas del XBee S2C. ....	35
<b>Tabla 10-2:</b> Características principales del cargador solar. ....	36
<b>Tabla 11-2:</b> Parámetros configurados en los módulos XBee. ....	41
<b>Tabla 1-3:</b> Valores para la calibración de sensores MQ. ....	61
<b>Tabla 2-3:</b> Error absoluto del sensor de CO. ....	63
<b>Tabla 3-3:</b> Errores absolutos del sensor de O3 y NO2. ....	64
<b>Tabla 4-3:</b> Errores absolutos del sensor de PM10 y PM2.5. ....	65
<b>Tabla 5-3:</b> Repetitividad del NAD. ....	66
<b>Tabla 6-3:</b> Alcance de comunicación RF. ....	68
<b>Tabla 7-3:</b> Trama transmitida y recibida por comunicación RF. ....	70
<b>Tabla 8-3:</b> Datos enviados desde el NAD a la aplicación móvil. ....	71
<b>Tabla 9-3:</b> Cálculo de potencia total del prototipo MyAIR. ....	75
<b>Tabla 10-3:</b> Presupuesto del prototipo MyAIR. ....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Arquitectura de la red WSN.....	12
<b>Figura 2-1:</b> Topología estrella.....	13
<b>Figura 3-1:</b> Topología árbol.....	13
<b>Figura 4-1:</b> Topología malla .....	14
<b>Figura 1-2:</b> Concepción de la arquitectura general del prototipo MyAIR .....	25
<b>Figura 2-2:</b> Diagrama de Bloques del NAD. ....	26
<b>Figura 3-2:</b> Diagrama de Bloques del nodo NCD y NVI.....	27
<b>Figura 4-2:</b> Módulo del sensor MQ-7.....	27
<b>Figura 5-2:</b> Módulo del sensor MQ-131.....	28
<b>Figura 6-2:</b> Módulo del sensor MQ-136.....	29
<b>Figura 7-2:</b> Sensor PMS5003.....	30
<b>Figura 8-2:</b> Arduino Mega.....	31
<b>Figura 9-2:</b> NodeMCU ESP8266.....	32
<b>Figura 10-2:</b> Módulo de GPS u-blox NEO-6M.....	33
<b>Figura 11-2:</b> Módulo Bluetooth HC-05 .....	33
<b>Figura 12-2:</b> Mód. XBee S2C (izquierda) y XBee explorer (derecha).....	34
<b>Figura 13-2:</b> Cargador portátil solar impermeable.....	35
<b>Figura 14-2:</b> Esquema de conexión del NAD .....	37
<b>Figura 15-2:</b> Placa del NAD con sus componentes .....	38
<b>Figura 16-2:</b> Esquema de conexión del NCD .....	39
<b>Figura 17-2:</b> Estructura de la trama transmitida por comunicación RF.....	43
<b>Figura 18-2:</b> Diagrama de flujo del NAD .....	44
<b>Figura 19-2:</b> Diagrama de flujo del NCD .....	46
<b>Figura 20-2:</b> Dispositivo y variable creada en Ubidots .....	47
<b>Figura 21-2:</b> Código de variables creadas en Ubidots .....	48
<b>Figura 22-2:</b> Datos registrados en Ubidots .....	48
<b>Figura 23-2:</b> Visualización de datos en Ubidots .....	49
<b>Figura 24-2:</b> Bloques de programación en App Inventor .....	49
<b>Figura 25-2:</b> Pantalla principal de la aplicación móvil.....	50
<b>Figura 1-3:</b> Topología Estrella.....	51
<b>Figura 2-3:</b> Topología Malla.....	52
<b>Figura 3-3:</b> Retardo de datos en la topología malla (rojo) y estrella (azul) .....	52
<b>Figura 4-3:</b> Carga total de datos en la topología malla (rojo) y estrella (azul) .....	53

<b>Figura 5-3:</b>	Throughput de datos en la topología malla (rojo) y estrella (azul) .....	53
<b>Figura 6-3:</b>	Topología malla con 10 (a), 20 (b) y 30 (c) nodos.....	54
<b>Figura 7-3:</b>	Retardo de la topología malla con 10 (azul), 20 (rojo) y 30 (verde) nodos. ....	55
<b>Figura 8-3:</b>	Número de nodos a partir del retardo en la red malla. ....	55
<b>Figura 9-3:</b>	Número de paquetes enviados y recibidos en la red de 10, 20, 30 y 40 nodos ....	57
<b>Figura 10-3:</b>	Componentes (izquierda), NAD implementado (derecha).....	58
<b>Figura 11-3:</b>	Curva característica de sensibilidad CO (a), SO <sub>2</sub> (b), O <sub>3</sub> (c) y NO <sub>2</sub> (c).....	58
<b>Figura 12-3:</b>	Curva con tendencia potencial del CO, SO <sub>2</sub> .....	59
<b>Figura 13-3:</b>	Curva con tendencia potencial del O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> .....	60
<b>Figura 14-3:</b>	Equipos de la Estación de Monitoreo Automático del Aire.....	62
<b>Figura 15-3:</b>	Comunicación RF alcanzada con interferencia.....	67
<b>Figura 16-3:</b>	Comunicación RF alcanzada con línea de vista.....	68
<b>Figura 17-3:</b>	Supervisión de tramas transmitida (derecha) y recibida (izquierda).....	69
<b>Figura 18-3:</b>	Datos enviados desde el NAD (izquierda) y datos recibidos en la aplicación móvil (derecha). ....	71
<b>Figura 19-3:</b>	Componentes (izquierda) y NCD implementado (derecha).....	72
<b>Figura 20-3:</b>	Datos en el IDE de Arduino y en la plataforma. ....	72
<b>Figura 21-3:</b>	Datos almacenados en Ubidots .....	73
<b>Figura 22-3:</b>	Dashboard con la información de MyAIR. ....	74
<b>Figura 23-3:</b>	Datos de CO descargados en Excel.....	74
<b>Figura 24-3:</b>	Prototipo MyAIR funcionando. ....	76

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>API</b>	Application Programming Interface
<b>CL2</b>	Dicloro
<b>CO</b>	Monóxido de Carbono
<b>COPD</b>	Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica
<b>COV</b>	Compuestos Orgánicos Volátiles
<b>EEPROM</b>	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (Memoria de solo programable y borrable eléctricamente)
<b>EPOC</b>	Enfermedad Obstructiva Crónica
<b>EPA</b>	United States Environmental Protection Agency (agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos)
<b>GADMA</b>	GAD Municipal de Ambato
<b>GPS</b>	Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)
<b>H2S</b>	Hidrógeno de Sulfuro
<b>IDE</b>	Integrated Development Environment (Entorno de Desarrollo Interactivo)
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica)
<b>IoT</b>	Internet of Things (Internet de las Cosas)
<b>IP</b>	Internet Protocol (Protocolo de Internet)
<b>IQCA</b>	Índice Quiteño de la Calidad del Aire
<b>ISM</b>	Industrial, Científico y Médico
<b>LED</b>	Light-Emitting Diode, (Diodo emisor de luz)
<b>NAD</b>	Nodo de Adquisición de Datos
<b>NCD</b>	Nodo de Control de Datos
<b>NECA</b>	Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire
<b>NMEA</b>	National Marine Electronics Association
<b>NO2</b>	Dióxido de Nitrógeno
<b>NVI</b>	Nodo de Visualización de Información
<b>O3</b>	Ozono
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>PAN</b>	Personal Area Network (Red de Área Personal)
<b>PM10</b>	Particulate Matter 10 (Material Particulado)
<b>PM2.5</b>	Particulate Matter 2.5 (Material Particulado)
<b>PPB</b>	Partes por Billón

<b>PPM</b>	Partes por Millón
<b>PWM</b>	Pulse-Width Modulation (Modulación por ancho de pulsos)
<b>RF</b>	Radiofrecuencia
<b>REMMAQ</b>	Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito
<b>RSSI</b>	Received Signal Strength Indicator (Indicador de potencia de señal recibida)
<b>SnO2</b>	Dióxido de estaño
<b>SO</b>	Sistema Operativo
<b>SO2</b>	Dióxido de Azufre
<b>TCP</b>	Transmission Control Protocol (Protocolo de Control de Transmisión)
<b>TULSMA</b>	Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria
<b>UART</b>	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (Transmisor-Receptor Asíncrono Universal)
<b>UAV</b>	Unmanned Aerial Vehicle (vehículo aéreo no tripulado)
<b>Ug/m3</b>	Microgramo por metro cúbico
<b>UHF</b>	Ultra High Frequency (Frecuencia Ultra Alta)
<b>USB</b>	Universal Serial Bus
<b>WIMAX</b>	Worldwide Interoperability for Microwave Access (Interoperabilidad mundial para acceso por microondas)
<b>WLAN</b>	Wireless Local Area Network (Red de Área Local Inalámbrica)
<b>WPAN</b>	Wireless Personal Area Network (Red de Área Personal Inalámbrica)
<b>WSN</b>	Wireless Sensor Networks (Redes de Sensores Inalámbricos)

## RESUMEN

Se diseñó e implementó un prototipo de nodos inteligentes integrables a una red inalámbrica para supervisión en línea de contaminantes del aire (MyAIR), que mide contaminantes atmosféricos de zonas geográficas de manera inalámbrica utilizando tecnología Zigbee y Bluetooth en una red malla. La información obtenida es organizada y almacenada en una plataforma IoT Ubidots, para su posterior análisis. Dispone de una aplicación móvil que permite visualizar información de contaminación presentes en la zona, como alerta a la población en seis rangos permisibles. Se caracteriza por ser de fácil manejo, instalación y bajo costo en relación a equipos comerciales de similares características. Su estructura consta de tres módulos: Nodo de Adquisición de Datos (NAD), que recolecta datos de: Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), Ozono (O<sub>3</sub>), Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>), Material Particulado PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, y PM<sub>1</sub>. Nodos de Control de Datos (NCD) que se encarga del direccionamiento de datos a la nube y un Nodo de Visualización (NVI) que muestra la información de manera gráfica y dinámica. De las pruebas realizadas mediante comparación con equipos patrones se comprobó que los sensores no presentan errores significativos, manteniendo valores inferiores a 0,8% de CO, 5% de O<sub>3</sub>, 14% de NO<sub>2</sub> y de +-10ug/m<sup>3</sup> en material particulado, estableciéndose que no se incorpora errores en el diseño. Al aplicar el coeficiente de correlación y obtener valores menores al 15% se demostró la estabilidad del prototipo. Las pruebas de comunicación inalámbrica entre nodos, evidenciaron recepción de datos sin pérdida a distancias de 425m con línea de vista. Pruebas de simulación demostraron que los nodos desarrollados pueden integrar redes de hasta 120 nodos conectados. Se concluye que el prototipo implementado cumple con los requerimientos planteados para ser una red confiable, escalable que genere información de ayuda en el campo socio-ambiental para la población y personal especializado en toma de decisiones para mejorar el medio ambiente. Se recomienda implementar una plataforma privada de registro de datos para proporcionar mayor capacidad de administración, almacenamiento y seguridad de la información.

**Palabras claves:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>

<TELECOMUNICACIONES> <PROTOTIPO INALÁMBRICO> <CALIDAD DE AIRE>  
<CONTAMINANTES CRITERIO> <COMUNICACIÓN INALÁMBRICA> <RED DE  
SENSORES INALÁMBRICOS (WSN)> <SENSORES DE GASES CONTAMINANTES>  
<SENSOR DE MATERIAL PARTICULADO> <ARDUINO> <NODEMCU>

## ABSTRACT

A prototype of intelligent nodes integrable to a wireless network for online monitoring of air pollutants (MyAIR), that measures atmospheric pollutants from geographical areas wirelessly using Zigbee and Bluetooth technology in a mesh network. The information obtained is organized and stored on an IoT Ubidots platform for further analysis. It has a mobile application that allows to view information on pollution in the area, as it alerts the population in six permissible ranges. It is characterized by easy handling, installation and low cost in relation to commercial equipment of similar characteristics. Its structure consists of three modules: A data acquisition node (DAN) that collects Carbon Monoxide data (CO), Sulfur Dioxide (SO<sub>2</sub>), Ozone (O<sub>3</sub>), Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>), particulate matter PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>1</sub>. Data Control Node (DCN) is responsible for addressing data to the cloud and a Display Node (DN) that shows the information in a graphic and dynamic way. From the tests carried out by comparison with standard equipment, it was found that the sensors do not present significant errors, maintaining values lower than 0,8% of (CO), 5% of (O<sub>3</sub>), 14% of (NO<sub>2</sub>) and of +-10ug/m<sup>3</sup> at particulate matter establishing that no errors are incorporated into the design. By applying the correlation coefficient AND obtaining values lower than 15%, the stability of the prototype was demonstrated. The tests of wireless communication between nodes showed data reception without losses at a distance of 425 m with line of sight. Simulation tests showed that developed nodes can integrate networks of up to 120 connected nodes. It is concluded that the implemented prototype fulfills with the It is concluded that the implemented prototype complies with the established requirements to be a reliable network, scalable that generates information of help in the socio-environmental field for the population and personnel specialized in decision making to improve the environment. It is recommended to implement a private data logging platform to provide a greater capacity for management, storage, and information security.

Keywords: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>  
<TELECOMMUNICATIONS> <WIRELESS PROTOTYPE> <AIR QUALITY> <CRITERIA POLLUTANTS> <WIRELESS COMMUNICATION> <WIRELESS SENSOR NETWORKS (WSN)> <POLLUTANT GAS SENSORS> <PARTICULATE MATTER SENSOR> <ARDUINO> <NODEMCU>



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la industria y tecnología ha evidenciado un gran desarrollo, y junto a ello la contaminación es un tema que también ha generado gran preocupación tanto para autoridades como población en general. Entre los contaminantes que generan preocupación, están las afecciones a la calidad del aire a nivel mundial donde actividades industriales, los hogares, incremento de automóviles entre otros, producen contaminantes atmosféricos, en cantidades que superan los niveles máximos de exposición recomendables.

Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en 2014, el 92% de la población vivía en lugares donde no se respetaban las directrices sobre la calidad del aire (Vazquez, 2017). Siendo la mayoría de las muertes atribuibles a la contaminación atmosférica son enfermedades no transmisibles. El 36% de las muertes por cáncer de pulmón, el 35% de enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), el 34% por apoplejía y 27% de cardiopatías isquémicas (PAHO & WHO, 2017).

En América del Sur ,casos más recientes son los de Santiago de Chile y Ciudad de México clasificadas por la OMS, como algunas de las ciudades con aire más contaminado de la región (CNN Español, 2017). Ecuador posee la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire (NECA), la cual se encarga de regular los parámetros referentes a calidad del aire ambiente (Díaz, 2017, p. 15).

En el país, ciudades como: Quito, Cuenca y Ambato han desarrollado puntos fijos para medir la Calidad del Aire. Asimismo, en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo como trabajos de titulación se ha realizado el diseño de un prototipo de red WSN para la supervisión de CO<sub>2</sub> en la ciudad de Riobamba, (Gusqui, 2017) y el control para la navegación pre-programada de trayectorias de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) aplicado a la supervisión en línea de la calidad del aire (Morales Gordon, 2016).

Riobamba es una ciudad que necesita tomar medidas preventivas y de corrección respecto a contaminación atmosférica; para ellos se requiere que autoridades, ciudadanos tengan información del nivel y tipo de contaminantes presentes en el aire, razón por la cual se expone la presente propuesta tecnológica, de nodos inteligentes integrables a una red inalámbrica que adquiera, supervise y suministre información de contaminantes del aire, todo ello con el fin de contribuir al desarrollo sostenible responsabilidad de todos.

## **Justificación Teórica**

Debido a que los riesgos en la salud con relación a la contaminación del aire han generado preocupación a nivel mundial, se reconoce que diariamente se forman grandes cantidades de contaminantes atmosféricos producidos por actividades industriales, los hogares, incremento de automóviles entre otros, en cantidades que superan los niveles máximos de exposición recomendables. En 2014, el 92% de la población vivía en lugares donde no se respetaban las directrices de la OMS sobre la calidad del aire (Vazquez, 2017).

Los riesgos en la salud debido a la contaminación de aire son muy altos siendo los más vulnerables niños menores de 5 años, adultos mayores de entre 50 y 75 años de edad en la que el efecto que causa puede ser a corto o largo plazo. La mayoría de las muertes atribuibles a la contaminación atmosférica están relacionadas con las enfermedades no transmisibles. Siendo, el 36% de las muertes por cáncer de pulmón, el 35% de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (COPD), el 34% de los accidentes cerebrovasculares y el 27% de las cardiopatías isquémicas son atribuibles a la contaminación atmosférica (PAHO & WHO, 2017).

A su vez, los efectos respiratorios por aire contaminado son: tos, respiración sibilante, flema, falta de aire y opresión en el pecho. Además, existe aumento de enfermedades y muerte prematura causado por: asma, bronquitis, enfisema y neumonía (Vazquez, 2017). NECA, bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, establece los límites permisibles de los contaminantes criterios y contaminantes no convencionales del aire ambiente. La Norma considera como contaminantes comunes o criterio a: partículas sedimentables, material particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 micrones (PM10) y menor a 2,5 micrones (PM2,5), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) y ozono (O<sub>3</sub>) (Díaz, 2017, p. 15).

En la ciudad de Quito se ha diseñado la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico REMMAQ la cual monitorea la calidad del aire por medio de sus estaciones remotas, está en capacidad de medir de forma continua los contaminantes comunes: material particulado fino (PM2.5), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) y ozono (O<sub>3</sub>). La difusión de la información es mediante la herramienta IQCA, escala numérica y de colores en función de los efectos sobre la salud humana junto a las principales medidas de precaución que deberían ser adoptadas por la población (Suárez, 2016).

Cuenca ha venido desarrollando el Proyecto “Calidad del Aire en Cuenca, Ecuador” desde el año 2008. Red de Monitoreo de la Calidad del Aire, pasiva la misma que ha ido creciendo y a partir del 2012 se cuenta con una estación automática de calidad del aire en el centro de la ciudad. Esto permite contar con información de calidad, para poder orientar la generación de políticas de mejoras de la calidad del aire en beneficio de dichas ciudades. “(Juan Carlos Ortega Castro, 2014).

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se presenta investigaciones como el “Diseño de un prototipo de red WSN para el monitoreo del nivel de contaminación de CO<sub>2</sub> existente en el centro de la ciudad de Riobamba” (Gusqui Bejarano, 2017), red que se centra en puntos específicas de la ciudad para el contaminante CO<sub>2</sub>. La investigación de “Control para la navegación pre-programada de trayectorias de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) aplicado a la supervisión y transmisión en línea de la calidad del aire” (Morales Gordon, 2016), permite obtener mediciones de áreas remotas y de difícil acceso.

Existen aplicaciones móviles como: “Caliope” por la cual podrás visualizar el pronóstico de la calidad del aire, pero específicamente en España. “AirVisual Earth” que permite conocer la calidad del aire en todo el planeta con atractiva simulación gráfica interactiva, abarca más de 9000 ciudades en todo el mundo. Los datos meteorológicos y de calidad del aire que se facilitan en estos equipos modulares corresponden a las estaciones disponibles en cada zona (CACHO, 2016), no obstante, no incluye toda las zonas y ciudades.

Lo cual permite reconocer el deterioro del aire ambiente y la demanda de contribuciones tecnológicas para la supervisión de la calidad de aire en la ciudad de Riobamba, es por ello que se plantea esta propuesta tecnológica donde autoridades y ciudadanos obtengan información de forma clara, comprensible buscando contribuir en la protección de la salud y la concienciación respecto a la calidad del aire. Propuesta tecnológica que servirá de ayuda para estudios futuros, siendo parte constituyente del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (Libro VI De la Calidad Ambiental, Anexo 4).

### **Justificación Aplicativa**

La presente investigación busca desarrollar e implementar un prototipo tecnológico para la supervisión de la calidad del aire basada en una red de sensores inalámbricos (WSN), con nodos inteligentes, esta red partirá desde un Nodo de Adquisición quien contará con sensores inteligentes, módulo de comunicación y una tarjeta de desarrollo, para recopilar datos correspondientes a contaminantes del aire en una zona, proseguirá al Nodo de control conformado por un módulo de comunicación, una tarjeta de desarrollo, quien se encarga del procesamiento de

los datos obtenidos y almacenamiento de la información en una base de datos y luego al Nodo de visualización; quien mostrará la información de manera gráfica en un sitio web y en una aplicación para dispositivos móviles, información que será utilizada para predecir puntos generadores de determinado contaminante al aire ambiente.

## OBJETIVOS

### Objetivo General

Diseñar e implementar un prototipo de nodos inteligentes integrables a una red inalámbrica para supervisión en línea de contaminantes del aire.

### Objetivos específicos

- Investigar los contaminantes predominantes que afectan la calidad del aire.
- Identificar los requerimientos que debe cumplir el prototipo implementado.
- Definir la topología de red y comunicación que mejor se adapte a las necesidades del prototipo.
- Elegir el *hardware* y *software* que cumpla con los requerimientos del prototipo.
- Evaluar si el prototipo implementado cumple con los requisitos previamente establecidos.

El trabajo de Titulación detallado a continuación, consta en la primera sección del resumen e introducción, posteriormente tres capítulos que abordan la temática general seguidos de las conclusiones y recomendaciones. El **primer capítulo** corresponde al Marco Teórico Referencial que expone una revisión bibliográfica de los contaminantes atmosféricos; su problemática, topologías de red, tecnologías de comunicación y elementos electrónicos a emplear, el **segundo capítulo** es el Marco Metodológico desarrollado en base a la metodología Orientada a Prototipos (Torres B., 2019), contiene los requerimientos, arquitectura y diseño tanto *Hardware* y *Software* del prototipo, finalmente el **tercer capítulo** que abarca el Marco de Resultados, Discusión y Análisis de Resultados el cual presenta los resultados y conclusiones de la investigación e implementación del prototipo.

# CAPÍTULO 1

## 1 MARCO TEÓRICO

El presente capítulo detalla información referente a la contaminación del aire, su problemática, topologías de red, tecnologías de comunicación y elementos electrónicos todos ellos con sus respectivas características y funcionamiento, parámetros de revisión, necesarios para el desarrollo del prototipo electrónico.

### 1.1 Contaminación del Aire

El aire, es un recurso indispensable en el proceso de respiración de todo ser vivo, está compuesta de un 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y en menor cantidad de dióxido de carbono y gases nobles como el argón, helio, etc. (INSPIRATION, 2009). La Norma de Calidad del Aire Ambiente define la contaminación como “Sustancias en la atmósfera, que resultan de actividades humanas o de procesos naturales, presentes en concentración y tiempo suficiente bajo circunstancias que afectan la salud de los seres humanos y del ambiente” (Díaz, 2017, p. 4).

La contaminación del aire es generada por fuentes naturales como: incendios forestales, erupciones volcánicas, entre otros, y por fuentes antropogénicas: quema de combustibles fósiles, vehículos automotores e industrias, etc. Todos estos provocan afecciones negativas en la salud afectando particularmente al aparato respiratorio (Ambiente, 2016) (“OMS | Calidad del aire ambiente (exterior) y salud,” 2017).

#### *1.1.1 Contaminantes Comunes del Aire*

La OMS establece las directrices referentes a la calidad del aire a nivel mundial, sin embargo, cada país está en la responsabilidad de desarrollar sus propias normas de calidad, basándose en su realidad para favorecer la salud de sus habitantes. Ecuador tiene la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire (NECA), que pertenece al Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria TULSMA (Libro VI De la Calidad Ambiental, anexo 4) (Díaz, 2017, p. 4).

NECA presenta los objetivo de calidad del aire, establece los límites de niveles máximos permisibles, métodos y procedimientos que permitan determinar y cuantificar los contaminantes en el aire ambiente (NECA, 2017). Los contaminantes comunes o criterio establecidos por la norma

son: material particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 micrones (PM10) y menor a 2,5 micrones (PM2,5), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) y ozono (O<sub>3</sub>) (Díaz, 2017, p. 15). A continuación, la tabla 1-1, presenta las principales características, fuentes y consecuencias en la salud humana por contaminante.

**Tabla 1-1:** Cuadro informativo de los contaminantes comunes sus principales características, fuentes y consecuencias en la salud.

<b>Contaminante</b>	<b>Características</b>	<b>Fuentes Contaminantes</b>	<b>Consecuencias en la salud</b>
<b>Material Particulado (PM10)</b>	Conjunto de partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire, conocidas también como: “gruesas”, tienen un diámetro menor a 10 y mayores a 2.5 micrómetros.	Por erosión eólica, actividades de construcción, tráfico en vías sin pavimentar, combustión de industria y vehículos	Agravian enfermedades cardiovasculares, crónicas, deterioro en la función respiratoria a corto plazo y muerte prematura a largo plazo. De 2095 participantes se ha registrado un incremento de 22% de riesgo de sufrir cáncer de pulmón por cada aumento de 10 mg/m <sup>3</sup> .
<b>Material Particulado (PM2,5)</b>	Partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire, conocidas igualmente como: “finas”, menores a 2.5 micrómetros de diámetro. No existe un valor bajo inofensivo para la salud humana.	Quema de madera, purificación y procesamiento de metales, procesos de combustión industrial, generación termoeléctrica.	Capaz de ingresar al espacio alveolar o al torrente sanguíneo, incrementando el riesgo de padecer enfermedades crónicas cardiovasculares y causar muerte prematura. El peligro de sufrir cáncer de pulmón se incrementaba un 18% por cada aumento de 5 mg/m <sup>3</sup> .
<b>Material Particulado 01</b>	Partículas muy finas con diámetro inferior a 1 micrómetro. Forma parte del total de partículas en suspensión junto con las partículas 2.5 y 10.	Actividades de construcción, contaminación vehicular, de fábricas, polvo en carreteras que se encuentran suspendidas en el aire.	Mientras más fino es la partícula tienden a ingresar en el torrente sanguíneo dando la predisposición a enfermedades cardiovasculares. Se ha demostrado que puede provocar nacimientos prematuros, afectando el desarrollo fetal.
<b>Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>)</b>	Gas café rojizo, altamente reactivo, que se forma mediante una combinación química de óxido nítrico (NO) y oxígeno del aire.	Procesos de combustión de automóviles, plantas industriales, centrales térmicas e incineradores.	Empeora enfermedades obstructivas crónicas como enfisema pulmonar asma, pulmonía, bronquitis al deteriorar la capacidad de los pulmones. Causa irritación pulmonar y reduce la resistencia pulmonar principalmente en niños y adultos.

<b>Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)</b>	Gas incoloro, reactivo y de olor fuerte capaz de formar partículas que tienen un efecto de refrigeración neta sobre la atmósfera.	Quema de combustibles que contienen azufre como: carbón, derivados de petróleo, metales y por procesos industriales.	Agrava enfermedades como asma generando tos y presión en el pecho. Toda persona expuesta a largos periodos de tiempo puede resultar en admisiones hospitalarias. Produce dolores de cabeza, ansiedad e irritación ocular.
<b>Monóxido de Carbono (CO)</b>	Gas insípido, incoloro e inodoro	Formado por combustión, proveniente de fogones de gas, estufas y escapes de vehículos.	Hipoxia: impide la llegada de oxígeno a los órganos y tejidos del cuerpo afectando al corazón, cerebro, plaquetas y endotelio de los vasos sanguíneos, provocando disminución visual, habilidad de destreza, capacidad de trabajo entre otros. El 80% de enfermedad pulmonar obstructiva crónica es causado por quitar el oxígeno generado por fumar.
<b>Ozono (O<sub>3</sub>)</b>	Formado por la reacción de dióxido de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles (COVs) a nivel del suelo. Reaccionan químicamente en la atmósfera en presencia de la luz solar	Producido por el parque automotor, chimeneas industriales, depósitos de combustibles	Causa problemas respiratorios: irritación pulmonar, ocular, de nariz y garganta; presión en el pecho, tos, malestar general y reduce la función pulmonar inflamando los revestimientos de los pulmones. Puede incrementar los ataques asmáticos. Provoca la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC).

**Fuente:**(Ambiente, 2016) (Díaz, 2017, p. 15) (Carranco, 2017) (Bassi Clara, 2013) (Lmneuquen, 2016, p. 1) (CHUET JUAN, 2017) (CAPCOG, 2015) (Taponazul, 2017)

**Realizado por:** ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

De acuerdo a la información vertida en la tabla 1-1, se demuestra que los siete contaminantes inciden negativamente con un mayor o menor grado en la salud de las personas, determinando que todos son nocivos para la salud.

### **1.1.2 Valores de IQCA**

ÍQCA o Índice Quiteño de Calidad del Aire, es un indicador de la calidad del aire, establecido por la Red de Monitoreo Atmosférico REMMAQ de la ciudad de Quito, está formado por una escala numérica representado a la vez por seis colores, donde mientras más alto sea el valor del IQCA, mayor es el nivel de contaminación atmosférica presente y consecuentemente peligrosa para la salud de la población (IQCA, 2015) . En la tabla 2-1 se establece las concentraciones de contaminantes criterio que definen los niveles de calidad del aire: deseable, aceptable, precaución, alerta, alarma y emergencia en la calidad del aire.



**Tabla 2-1:** Niveles de valores IQCA

Rango	Nivel	CO ug/m3	SO2 ug/m3	O3 ug/m3	NO2 ug/m3	PM10 ug/m3	PM2.5 ug/m3
0-50	Deseable	0-5000	0-62.5	0-50	0-100	0-50	0-25
51-100	Aceptable	5001-10000	63.5-125	51-100	101-200	51-100	26-50
101-200	Precaución	10001-15000	126-200	101-200	201-1000	101-250	51-150
201-300	Alerta	15001-30000	201-1000	201-400	1001-2000	251-400	151-250
301-400	Alarma	30001-40000	1001-1800	401-600	2001-3000	401-500	251-350
401-500	Emergencia	>40000	>1800	>600	>3000	>500	>350

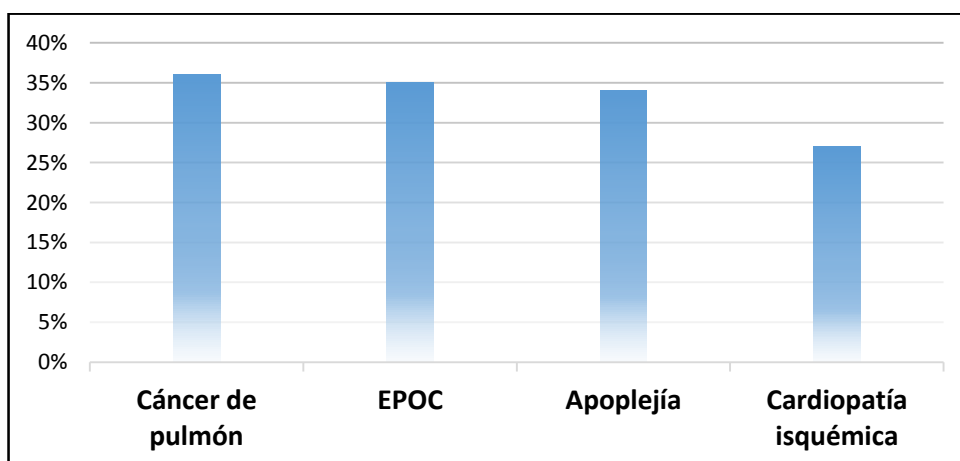
Fuente:(IQCA, 2015)

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

En la tabla 2-1 se observa que los niveles de los contaminantes muestra diferentes grados de concentración por contaminante, indicando que el material particulado MP10, MP2.5 tienen una concentración menos tolerable en relación a la salud pública.

### 1.1.3 Problemática

Las afecciones en la salud por aire contaminando son muy elevadas, siendo los más vulnerables los niños menores 5 años y adultos mayores de entre 50 y 75 años de edad, con efectos a corto o largo plazo (PAHO & WHO, 2017). La mayoría de las muertes atribuibles a la contaminación atmosférica son enfermedades no transmisibles. Entre las muertes mayormente vinculadas se tiene el 36% de muertes por cáncer de pulmón, el 35% por enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), el 34% por apoplejía y 27% debido a cardiopatías isquémicas (PAHO & WHO, 2017). En la gráfica 1-1 se muestra las muertes atribuidas a la contaminación del aire.



**Gráfica 1-1:** Muertes atribuidas a la contaminación del aire.

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

De acuerdo a la tabla 1-1 y gráfica 1-1, el Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), Ozono (O<sub>3</sub>) y Material Particulado (PM<sub>10</sub>), (PM<sub>2.5</sub>), (PM<sub>01</sub>) contribuyen en el porcentaje de muertes, por enfermedades de cáncer de pulmón, EPOC, apoplejía y Cardiopatía Isquémica, razón por la cual se las establece como variables para medición del prototipo.

## **1.2 Sistemas Desarrollados**

Entre las aplicaciones y sistemas desarrollados con un enfoque de adquisición, registro y transmisión de información sobre contaminantes del aire, tenemos.

### ***1.2.1 A nivel mundial***

La aplicación para dispositivos móviles denominada “Caliope” visualiza el pronóstico de calidad del aire específicamente en España (BSC, 2015). Otra aplicación es “AirVisual Earth” quien permite conocer la calidad del aire, con atractiva simulación gráfica interactiva, entre las ciudades están Madrid, Atlanta, Houston, Moscow y otros en todo el mundo (Air Visual, 2018). Los datos meteorológicos y de calidad que se facilitan en estos equipos modulares corresponden a las estaciones disponibles en cada zona (CACHO, 2016), no obstante, no incluye toda las zonas y ciudades.

### ***1.2.2 A nivel nacional***

En la ciudad de Quito desde el 2003, la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico REMMAQ monitorea la calidad del aire, por medio de sus estaciones automáticas y manuales ubicadas en el área urbana de la ciudad y los valles aledaños, está en capacidad de medir de manera continua los contaminantes comunes: PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO y O<sub>3</sub>. La difusión de la información es en una página web de la Secretaria de Ambiente en unidades de concentración y de acuerdo al IQCA, índice de calidad del aire (Díaz, 2017, p. 27).

Cuenca ha desarrollado el Proyecto “Calidad del Aire en Cuenca, Ecuador”. Red de Monitoreo de la Calidad del Aire pasiva, la misma que a partir del 2012 cuenta con una estación automática de calidad del aire en el centro de la ciudad. Esto permite contar con información de calidad, para poder orientar la generación de políticas de mejoras de la calidad del aire en beneficio de dichas ciudades”(Ortega Castro y García Abad, 2015, pp. 217-224).

En Riobamba, se han realizado proyectos como el diseño de una red WSN para el monitoreo del contaminante CO<sub>2</sub> (Gusqui, 2017), que se centra en puntos específicas de la ciudad, como también el control para la navegación pre-programada de trayectorias de un vehículo aéreo no tripulado (UAV por sus siglas en inglés) para la supervisión y transmisión en línea de la calidad del aire (Morales Gordon, 2016), el cual permite obtener mediciones de áreas remotas y de difícil acceso.

### 1.3 Redes de sensores inalámbricos (WSN)

Son varios dispositivos asignados espacialmente, usa sensores para realizar controles como: temperatura, humedad, sonido, presión, contaminantes entre otros, estos dispositivos son independientes y están formados por una fuente de energía, radioreceptor, microcontrolador y elementos sensor. Se puede utilizar en varias aplicaciones como: militares, medioambientales, médicas, etc., (Chio Cho Nayibe, Tibaduiza Burgos Diego Alexander y Miguel, 2014, pp. 3-5).

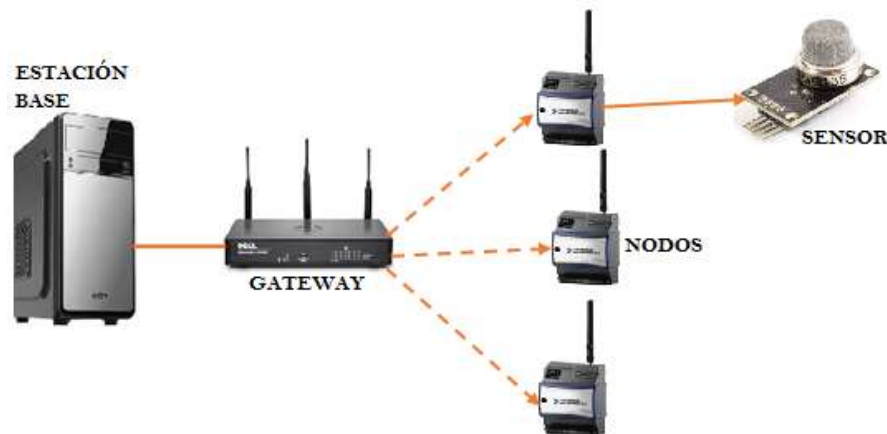
Los nodos debido a la corta duración de baterías se diseñan considerando la conservación de la energía, la mayoría de tiempo que no ocurra ningún suceso se mantiene en modo sleep. Al momento de volverse a activar se fija un enlace de radio con una señal de sincronización proveniente de la estación base (Chio Cho Nayibe, Tibaduiza Burgos Diego Alexander and Miguel, 2014, pp. 3-5). Sus ventajas, son la capacidad de reestablecerse, si un nodo se cae la red buscará un nuevo trayecto para transmitir la información a su destino, no perderá los paquetes de datos y hará que la red perdure, a pesar de la existencia de nodos individuales que pierden potencia (“OMEGA TM,” n.d., p. 1); no requiere de conexión de cables, ni de infraestructuras y se puede extender la cobertura sin problemas de interferencia incorporando más nodos (Andr, 2016, p. 4).

En cuanto a las desventajas existen limitaciones de *hardware*, memoria y recursos de energía, que impide la implementación de fuentes de energía de mayor tamaño, también debido a los costos se puede limitar la aplicación del número de nodos y presentar fallos por falta de infraestructura (Vela Andres, 2016, p. 4). A continuación se describen características de las redes WSN (Montes Gabriel, 2012, p.1):

- Capacidad de auto organización, auto restauración y reparación de la red
- Integrables a otras tecnologías tales como agricultura, biología medicina, minería, etc.
- Facilidad en la interacción del ser humano con el medio.
- Reducción de uso de recursos.

### 1.3.1 Arquitectura de la red WSN

Compuesto por un conjunto de sensores que posee una capacidad limitada de comunicación y cómputo, en donde el tiempo de vida de los sensores va a depender de la disponibilidad de las baterías que alimentan a los nodos. La Figura 1-1 muestra los elementos que intervienen en una red de inalámbricos: la estación base, el gateway, nodos; este último formado por sensores.



**Figura 1-1:** Arquitectura de la red WSN

Realizado por: ASADOBAY Marfa, PACA Adriana, 2019

- **Sensores:** son de diversas características, recolectan datos dependiendo del medio en donde se encuentren para transformarla en señales eléctricas.
- **Nodos de sensores:** la información recolectada por los sensores lo envía a la estación base.
- **Gateway:** realiza la interconexión entre los nodos de sensores y la red TCP/IP.
- **Estación base:** almacena la información en una base de datos, a la que los usuarios tienen acceso.

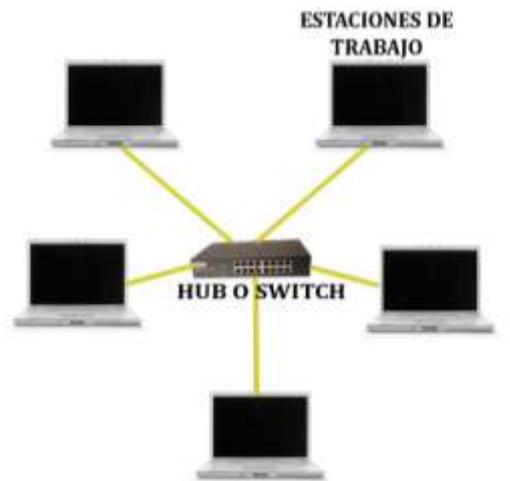
### 1.3.2 Topologías de la red WSN

Es una forma de vincular los nodos de una red por medio de enlaces, esta es de forma física y lógica. Cada una de la topología es utilizada de acuerdo a los requerimientos. Compatible con topologías entre ellas las más destacadas: estrella, árbol y malla.

#### Topología en estrella

Sistema de nodos iguales y conectados directamente al gateway el cual recibe la información de todos; esta información es enviada en un solo salto a una distancia habitual de 30 a 100m. Esta topología es la que menor uso de energía requiere, pero no cuenta con un trayecto alternativo para

comunicar por lo que al caer un nodo o tener el camino obstruido la información del nodo se perderá (José Olavo Da Paz Teixeira, 2015, p. 29). En la figura 2-1 muestra la estructura de la topología estrella.

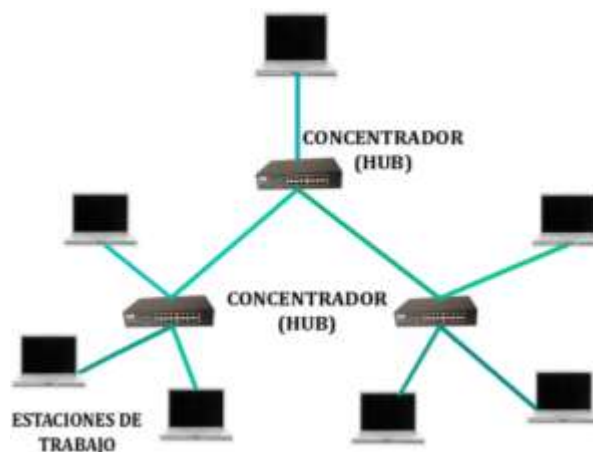


**Figura 2-1:** Topología estrella

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

### Topología de árbol

Sistema que conecta y envía datos de cada nodo de menor jerarquía a un nodo con mayor jerarquía y después se conecta con el gateway, tiene la forma de numerosas interconexiones de red en estrella, en donde la falla de un nodo no interrumpe la comunicación de los demás, pero si un nodo de mayor jerarquía deja de funcionar, entonces los nodos conectados a él dejan de funcionar (José Olavo Da Paz Teixeira, 2015, p. 29). La figura 3-1 indica la estructura y elementos que componen la topología árbol.

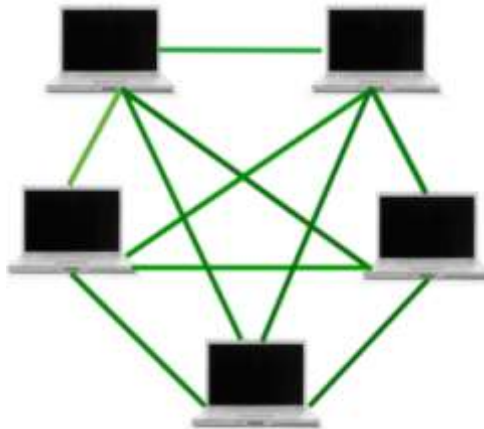


**Figura 3-1:** Topología árbol

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

## Topología en malla

Sistema multisalto formado por nodos que funcionan como enrutadores y son idénticos, cada uno de ellos puede recibir y enviar información de otros nodos y del gateway. En esta topología cada nodo posee caminos alternativos, por lo que al fallar un nodo la red será reestablecida automáticamente. También de acuerdo al número de nodos y a la distancia a la que están ubicados se puede percibir periodos de espera grandes al momento de enviar la información (José Olavo Da Paz Teixeira, 2015, p. 29). En la figura 4-1 se aprecia la estructura de la topología malla.



**Figura 4-1:** Topología malla

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

### *1.3.3 Análisis comparativo de las topologías de red*

Se procede a realizar un análisis comparativo de las topologías estrella, árbol y malla, como se muestra en la tabla 3-1, exponiendo las principales características de cada una de ellas.

**Tabla 3-1:** Cuadro informativo de las ventajas y desventajas de las topologías de red.

Topología	Ventajas	Desventajas
Estrella	<p>Facilidad al agregar y reconfigurar nodos</p> <p>Fácil de detectar problemas en la red.</p> <p>Si una computadora falla, no afecta al resto de la red.</p> <p>El costo es económico.</p>	<p>Si el concentrador central falla, el resto de la red ya no se podrá comunicar.</p>
Árbol	<p>El hub al transmitir la señal, amplifica la potencia e incrementa la distancia.</p> <p>Permite la integración de más dispositivos, debido a que se puede incluir concentradores secundarios.</p> <p>Prioriza y aísla la comunicación de distintas computadoras.</p> <p>Facilita el crecimiento de la red.</p> <p>Se componen de nodos que reciben y transmiten información.</p> <p>Si algún nodo secundario falla, el resto de la red no es afectada.</p>	<p>Se requiere de más cableado.</p> <p>Si el bloque principal falla toda la red falla.</p> <p>La configuración es compleja.</p> <p>Es de alto costo.</p>
Malla	<p>La información puede tomar caminos alternativos para llegar a su destino.</p> <p>No existe interrupción en la comunicación.</p> <p>Cada nodo posee su propia comunicación con todos los demás mediante enlaces redundantes.</p> <p>Si un enlace falla otro se encargará de la transmisión.</p> <p>Al desaparecer o fallar un nodo, la red no se verá afectada.</p> <p>No requiere de un nodo principal o central, por lo que disminuye el mantenimiento.</p> <p>Es confiable y segura.</p> <p>Es tolerante a fallos.</p> <p>Ofrecen mayor velocidad porque no comparten enlaces.</p>	<p>El costo la red puede aumentar si la implementación es alámbrica.</p> <p>La configuración, instalación y mantenimiento es difícil, debido a que los nodos se encuentran conectados entre sí.</p>

Fuente: (Vela, 2016, p. 3)

Realizado Por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

En base a la tabla 3-1, se determina que la topología malla es la más adecuada para ser implementada, en razón de que es una red que se mantiene funcionando independientemente del número de nodos conectados y proporciona una comunicación sin interrupciones debido a sus enlaces redundante.

## **1.4 Tecnologías de comunicación inalámbrica**

Están enfocadas en proveer movilidad y mayor disponibilidad, ejecutada mediante la propagación de ondas electromagnéticas en el espacio, debido a que no se emplea medios físicos como cables (Richarte, 2018, p.2). Se presentan tecnologías inalámbricas empleadas en: Red de Área Personal (WPAN por sus siglas en inglés) y Red de Área Local (WLAN por sus siglas en inglés) debido a que son tipos de redes a las que está enfocada la presente investigación (Peñaloza García, 2018, p. 19).

### **1.4.1 Bluetooth**

Desarrollado por la empresa Ericsson como alternativa a los cables de datos RS-232, bajo el estándar IEEE 802.15, (Peñaloza García, 2018 p.20). Está destinado para intercambiar datos a distancias cortas, emplea ondas de radio UHF de onda corta en la banda ISM de 2,4 a 2,485 GHz entre dispositivos móviles y fijos, útil para construir redes PAN. Un dispositivo Bluetooth puede comunicarse con un máximo de siete dispositivos en una red informática ad-hoc con tecnología Bluetooth, aunque no todo dispositivo alcanza este número (Kurawar, Koul y Patil, 2014, pp. 2832-2837).

### **1.4.2 Zigbee**

Basado en el estándar IEEE 802.15.4 para WPAN, trabaja sobre la banda ISM para redes máquina a máquina, puede desarrollarse con un bajo consumo de energía. Posee la capacidad de establecer una topología de red jerárquica permitiendo que un gran número de nodos (dispositivos) se pueden conectar entre ellos para transmitir datos de paquetes pequeños. Zigbee soporta topologías estrella, pares, árbol de grupo, malla. Los componentes principales del sistema Zigbee son: el coordinador PAN quien controla la red, el router encargado de interconectar los dispositivos y el dispositivo final que se conecta al coordinador PAN o router pero no puede enviar información a otro dispositivo final (Vera, Barbosa y Pabón, 2017, pp. 1-2).

### **1.4.3 Wi - Fi**

Conectividad inalámbrica de WiFi Alliance quien cumple el estándar 802.11, su alcance es variable y depende principalmente de tres aspectos: la potencia del Access Point (router Wi-Fi) para transmitir la señal, la distancia implicada y la cantidad de objetos interpuestos entre este y el dispositivo a conectar. La velocidad de conexión está ligada a la intensidad de la señal y se encuentra en el rango de los 8 Mbps a 600 Mbps (Richarte, 2018). Presenta varias versiones entre ellas las más importantes son: 802.11a, 802.11b, 802.11g y 802,11n, esta última exhibe la mayor



mejora ya que su velocidad de transmisión práctica llega a los 600 Mbps, mejora su alcance y funciona en las dos bandas de frecuencia 2.4 MHz y 5MHz siendo compatible con todas las versiones antes mencionadas (Javier Richarte, 2018, pp. 2-3).

#### 1.4.4 WiMax

Proporciona un servicio similar a Wi-Fi, pero con una mayor cobertura y calidad de servicio (QoS), funciona por medio de microondas y retransmisión de ondas de radio, alcanza hasta 50 Km para accesos inalámbricos desde una ubicación fija y alrededor de 15 Km para acceso en movilidad («WiMAX - Banda Ancha», 2014). La velocidad de transición y alcance de WiMax depende de la versión del estándar 802.16, su última versión IEEE 802.16m o WiMax Release 2.0, permite velocidades teóricas de hasta 1 Gbit/s para usuarios en una ubicación fija y 365 Mbit/s para usuarios en movilidad, sin embargo siempre estará delimitada por el número de usuarios conectados al punto de acceso entre otros factores («WiMAX - Banda Ancha», 2014).

#### 1.4.5 Análisis Comparativo de Tecnologías de Comunicación Inalámbricas

A continuación, en la tabla 4-1 se presenta las comparativas de las principales características, de cada uno de las tecnologías de comunicación inalámbricas.

**Tabla 4-1:** Cuadro comparativo de tecnologías de redes inalámbricas.

Consideraciones	Bluetooth	Zigbee	Wi-Fi	WiMax
Estándar	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4	IEEE 802.11n	802.16
Frecuencias	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2 - 11 GHz
Tasa de Transferencia	700 Kbps	20 a 250 Kbps	450 Mbps	80 Mbps
Nº de dispositivos que pueden interactuar	7 a 8	64535	200	Superior a los anteriores.
Tipos de datos	Voz, datos	Datos	Video, Voz, Datos	Video, Voz, Gráficos
Alcance	< 30 m	70-100 m	100m	50 Km
Red de aplicación	WPAN	WPAN	WLAN	WMAN
Latencia	Up to 10s	15 ms	Up to 3s	-
Consumo de potencia	40 mA transmitiendo 0.2 mA en reposo.	30 mA transmitiendo 3 mA en reposo.	400 mA transmitiendo 20 mA en reposo.	Muy superiores a los casos anteriores.
Ventajas	Bajo costo	Bajo consumo de potencia y bajo costo.	Velocidad	Velocidad Seguridad
Desventajas	Corto alcance	Velocidad	Alto costo	Alto costo

**Fuente:** (Carignano, 2017, p. 19), (Paredes Vinuesa, 2017, p.19), (Peñaloza García, 2018 p.14) (Gusqui, 2017 p. 12)

**Realizado Por:** ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

De acuerdo a la tabla 4-1, se establece que la tecnología Bluetooth es la adecuada para comunicarse a distancias cortas y entregar información al usuario ubicado en el área de medición, la tecnología Zigbee debido a su gran número de dispositivos a conectar con bajo consumo de potencia es utilizada en la comunicación de los distintos nodos y finalmente Wi – Fi por su gran velocidad y facilidad para transmitir gran cantidad de información se emplea en la comunicación al usuario para supervisar en línea de los contaminantes.

## **1.5 Sensores**

Dispositivo de entrada diseñado para detectar variables físicas o químicas y generar una salida analógica o digital manipulable. Caracterizados por ser un intermediario entre la variable a medir y el sistema de medición (Corona, Abarca y Mares, 2014, p. 317). Dentro de los sensores enfocados a la medición de gases para determinar la calidad del aire, presentamos las siguientes familias:

### **Figaro**

Sensores de óxido metálico de película gruesa capaces de detectar gases explosivos, tóxicos y de calidad del aire como de monóxido de carbono, son producidos en grandes cantidades. Estos son aplicados en campos como seguridad, sistemas de control e instrumentación y salud (Figaro, 2014) (Requena et al., 2015, p. 1). Este tipo de sensores viene listo para su instalación debido a que ya salen calibrados de fábrica. (G.M. ELECTRONICA, 2018, p. 1)

### **MQ**

Los sensores de gas MQ están diseñados para medir contaminantes en el aire. Incluyen placas de medición estándar que permiten obtener mediciones en forma analógica o digital, trabajan conectados a procesadores o microcontroladores y requieren ser calibrados antes de efectuar una medición precisa. Necesita de un calentador con su propia alimentación para generar la sensibilidad del sensor al gas contaminante. Existe variedad de sensores MQ cada modelo está diseñado para detectar una o más sustancias químicas desde gases inflamables, calidad del aire entre otros. (Llamas Luis, 2016).

### **Alphasense**

Son sensores con tecnología de baja potencia validada para aplicaciones de gran volumen y entre ellas la supervisión de contaminantes atmosféricos. Proporciona dos grupos paralelos de sensores de gas: A4 pequeño (20 mm) con buena sensibilidad diseñado para redes de calidad de aire en

espacios reducidos y el B4: con mayor tamaño (32 mm), robusto para redes de monitorización al aire libre (Alphasense, 2013b). y sensores OPC con salidas digitales para material particulado PM10, PM2.5 y PM1 por segundo, junto con histogramas del recuento de partículas para cada tamaño (Alphasense, 2013a).

## DFRobot

Proveedor de robótica y *hardware* de código (DFROBOT, 2016). Entrega sensores con sensibilidad configurable y genera una alarma en cuanto el gas o humo se escapa. Proporciona componentes y widgets como sensores, plataformas robóticas, módulos de comunicación (Digi-Key Electronics, 2018).

## Plantower

Proporcionan sensores de calidad del aire, entre ellos se encuentran los de la serie PMSX003, tienen un diseño mecánico que evita la acumulación del polvo en el área del nodo y del láser, aumentando durabilidad y precisión de datos. Entregan lecturas en concentraciones de masa  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Plantower, 2017).

### 1.5.1 Análisis comparativo de sensores de gases contaminantes

En la selección de sensores de gases contaminantes del aire, se ha considerado las siguientes familias: Figaro, MQ, y Alphasense, a continuación, se exponen sus parámetros en la Tabla 5-1.

**Tabla 5-1:** Cuadro comparativo de familias de sensores de gases contaminantes.

Parámetros	Figaro	MQ	Alphasense
Tipos de Gas	CO, CO2, SO2	CO, CO2, O3, NO2, SO2, H, NH3, etc.	CO, O3, NO2, SO2, partículas, etc.
Señal salida	Digital	Analógico y digital	PWM
Vida Útil	Hasta 2 años	Hasta 5 años	Hasta 3 años
Costo	Alto	Bajo	Alto
Ventajas	Alta sensibilidad Corto tiempo de respuesta	Fácil de conectar a microcontroladores y dispositivos autómatas.	Variedad de sensores de contaminantes.
Desventajas	Requieren de su propio microprocesador provisto por su fabricante.	No son precisos en su medición, necesitan de calibración previa a su instalación.	Tiene un elevado costo de adquisición y operación. Para su manejo se requiere de personal capacitado.

Realizado Por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

Se determina a partir de la tabla 5-1, que los sensores de la familia MQ son los adecuados para medir los gases de interés: CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> Y O<sub>3</sub>, debido a su compatibilidad con variedad de microcontroladores, su durabilidad, menor costo y fácil adquisición.

### 1.5.2 Análisis comparativo de sensores de material particulado

De igual forma en la tabla 6-1 se detallan características de familias de sensores, RFrobot, Alphasense y Plantower para material particulado PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>1</sub>.

**Tabla 6-1:** Cuadro comparativo de familias de sensores de Material Particulado.

Parámetros	RFrobot	Alphasense	Plantower
Tipo material particulado	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>1</sub>	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>1</sub>	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>1</sub>
Consumo de energía	Máximo 120 mA transmitiendo, y menos de 200 uA en reposo	Máximo 180 mA transmitiendo, menos de 45 mA en reposo.	Máximo 100 mA transmitiendo, y menos de 200 uA en reposo.
Ventajas	Estabilización y rapidez en la lectura de datos.	Sin calibración. Realizan medición de aire urbano y en interiores.	Entrega mediciones confiables, principalmente de PM <sub>2.5</sub> . Fácil uso.
Desventajas	Requiere de calibración.	Alto costo.	La protección metálica está conectada a GND, se debe tener cuidado de no cortocircuitar las otras partes del circuito.

**Fuente:** (Alphasense air, 2015), (AQMD, 2016), (Javier, 2017)

**Realizado Por:** ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

Realizado el análisis de la tabla 6-1, se define que los sensores de la familia Plantower serie PMSX003 son los indicados para medir los contaminantes de material particulado, debido a su medición confiable, bajo consumo de energía y facilidad de uso.

### 1.6 Tarjetas de desarrollo

Son placas de desarrollo *hardware*, cuentan con un sistema operativo y lenguaje de programación propio, útiles al implementar sistemas que realizan funciones específicas, se describen las tarjetas de desarrollo más empleadas:

**Arduino**, de código abierto, basado en *hardware* y *software* flexible diseñado para crear entornos interactivos, posee microcontrolador para que las actividades requeridas sean programadas usando Arduino Programming Lenguaje como también el lenguaje de programación C. Sirven

para controlar actuadores, obtener mediciones de sensores o para leer información de una fuente (Arduino, 2018a). **Raspberry Pi**, plataforma diseñada como mini ordenador por la fundación Rapberry Pi con la finalidad de crear un dispositivo de bajo costo y consumo de energía; posee gran capacidad de procesamiento, ejecuta sistemas operativos basados en Linux. Útil para automatizar procesos, crear aplicaciones con interfaces gráficas. Los lenguajes de programación para esta plataforma son de alto nivel como Phyton, C, Java, entre otros («HETPRO», 2017, p. 1).

Placa **NodeMCU** de código abierto, basada en el chip ESP8266 fue desarrollada para aplicaciones que requieran conexión a WiFi en un menor tiempo, tiene alta capacidad de procesamiento y almacenamiento que utiliza lenguaje de programación Lua, es compatible con Arduino. NodeMCU puede realizar aplicaciones para IoT (Intertnet of Thing por sus siglas en inglés) de manera rápida, conectando dispositivos a la nube (Electronilab, 2017).

### 1.6.1 Análisis Comparativo de Tarjetas de Desarrollo.

A continuación, la tabla 7-1, contiene información comparativa de las características que sobresalen de las tarjetas de desarrollo en análisis.

**Tabla 7-1:** Cuadro comparativo de tarjetas de desarrollo.

Características	Raspberry Pi	Arduino	NodeMCU
Fabricante	Raspberry Pi Fundation	Arduino	Amica
Modelo	Raspberry Pi 3 Modelo B	Arduino Mega	NodeMCU v2
Procesador	Cortex-A53 (ARMv8)	ATmega 2560	ESP8266
Voltaje: operación	5V	5V(7-12V)	5V (USB)
Corriente operación	2.5A	40 mA	200 mA
RAM	1 Gb LPDDR2	2Kb	32Kb
Flash	Tarjeta SD	256 Kb	4Mb
Frecuencia de reloj	1.2 Ghz	16Mhz	80Mhz
Puertos disponibles	GPIO (40 pines) 1 puerto serie (UART)	54 puertos digitales, 16 Analógicos y 4 UARTs	1 Analógico ADC, 2 UARTs y GPIO 17 (pines)
Ventajas	Ejecuta varias tareas y programas en un segundo plano. Memoria propia.	Gran capacidad de procesamiento. Compatible con cualquier SO. Entorno de desarrollo propio.	Tiene compatibilidad con el IDE de Arduino y librerías. Rápida conexión a Wi-Fi
Desventajas	No flexible para lecturas analógicas, requiere hardware adicional.	Coste adicional por adquisición de módulos agregados (shields) para estandarización.	No posee conexión estándar para antena Wifi.
Costo	\$ 40	\$ 22	\$15

**Fuente:** (Naylamp Mechatronics, [sin fecha]) (Pastor, 2018) (JADIAZ, 2016) (IONOS, 2018) (Saqi, 2018) (PROMETEC, 2016)

**Realizado por:** ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

Realizado el análisis de la tabla 7-1 se selecciona la tarjeta de desarrollo Arduino Mega debido a su capacidad de procesamiento, número de puertos analógicos y comunicación UARTs suficientes, el NodeMCU, por su rápida conexión a Wi-Fi y facilidad de programación en IDE de código abierto.

## 1.7 Plataformas IoT

Se conectan a redes de datos y distintos puntos de acceso (Cárdenas, 2016), maneja tareas de visualización y gestión en tiempo real. Compuesto por: **hardware** refiriéndose a sensores que recolectan datos; **conectividad** para transmitir datos recopilados a la nube; **software** analiza datos receptados y generar acciones concretas e **interfaz del usuario** necesario para interactuar con sistemas IoT (News America Digital, 2018).

### 1.7.1 Análisis comparativo de las plataformas IoT

En la tabla 8-1, se presenta información comparativa de las características de las plataformas IoT.

**Tabla 8-1:** Cuadro comparativo de plataformas IoT.

Parámetros	ThingsSpeak	Carriots	Ubidots
Código	Código abierto	No es de código abierto.	Pocas líneas de código
Hardware compatible	Arduino, Raspberry Pi, BeagleBone.	Cualquier dispositivo es compatible con esta plataforma siempre y cuando haya conexión a internet.	Soporte de Arduino. Raspberry, etc.
Requerimientos	Consta de una API de almacenamiento.	Utiliza un API Key que se caracteriza por un Token que reemplaza a un user+pass.	Necesita de un Token proporcionado por la plataforma para almacenamiento.
Almacenamiento	Almacena y publica datos por canales	Almacena datos, gestiona y crea aplicaciones.	Guarda los datos por dispositivo y en variables.
Ventajas	Empleado en Smart Home, prototipos.	Tiene integrado mecanismos como DropBox, Twitter, Mailing, SMS internacionales y Socket.	Visualizar datos en forma dinámica y comprensible. Realizar prototipos y aplicaciones 100% funcionales. Seguridad de datos, ahorro de tiempo y dinero.
Desventajas	La documentación limitada a cierto hardware.	Registra hasta 10 dispositivos gratuitamente con restricción. No orientada a prototipos. Poca documentación.	Limita el número de dispositivos a conectar de ser así se procede con un pago.

**Fuente:** (Thingspeak, 2017), (Palacios E., 2017)

**Realizado por:** ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

Considerando las características descritas en la tabla 8-1 de cada una de las plataformas IoT, se optó por emplear Ubidots debido a que presenta cualidades que aportan en la realización del siguiente proyecto, proporciona la visualización de información de forma dinámica y comprensible no requiere de código extenso y ahorro de recursos como tiempo y dinero.

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO METODOLÓGICO

El siguiente capítulo detalla la metodología del Prototipo de Nodos Inteligentes Integrables a Red Inalámbrica para la Supervisión en Línea de Contaminantes del Aire, denominado (MyAIR). Contenido que expone las características, requerimientos técnicos, diseño tanto *hardware* como *software* del prototipo y los componentes electrónicos con sus características y especificaciones a utilizar en el proyecto.

#### 2.1 Definición de requerimientos *hardware* del prototipo MyAIR

Basado en el estudio realizado en el capítulo I, se define los requerimientos *hardware* del prototipo inalámbrico considerados a continuación:

- Obtener mediciones válidas de los gases contaminantes y material particulado: monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), material particulado PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>1</sub>.
- Implementar el prototipo a un bajo costo con componentes de fácil adquisición e instalación.
- Proporcionar una red escalable capaz de incorporar más nodos inteligentes de medición.
- Todos los nodos se deben comunicar inalámbricamente.
- Recibir datos GPS, para determinar la posición geográfica del Nodo de Adquisición de Datos.
- Capacidad de adaptación del prototipo, a cualquier lugar y condiciones ambientales.
- Realizar mediciones en tiempo real y almacenar los valores de obtenidos de los distintos contaminantes.
- Proveer disponibilidad en la red basándose en enlaces redundantes en el cual si un nodo se avería no afecte la adquisición de datos.

#### 2.2 Diseño del prototipo MyAIR

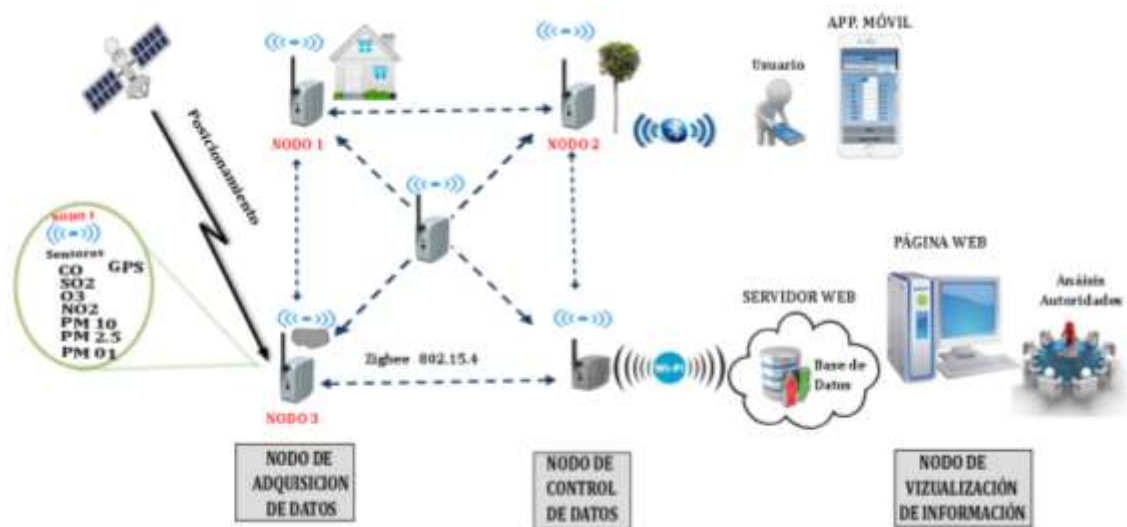
Partiendo de los requerimientos planteados se presenta el diseño de funcionamiento de cada uno de los nodos y componentes del prototipo inalámbrico para la supervisión de contaminantes del aire a continuación.



### 2.2.1 Concepción de la arquitectura general del prototipo MyAIR

Se plantea la concepción de la arquitectura general del prototipo mostrada en la Figura 1-2, se definen tres nodos: Nodo de Adquisición de Datos (NAD), Nodo de Control de Datos (NCD) y Nodo de Visualización de Información (NVI).

El NAD, es el encargado de adquirir mediciones de los gases contaminantes: CO, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, y material particulado: PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>01</sub> presentes en el aire en tiempo real, determina la ubicación geográfica del NAD y procesar estos datos para luego ser enviados de forma inalámbrica al NCD, todo ello mediante sensores, tarjeta de desarrollo, módulos de posicionamiento y comunicación inalámbrica, a la vez, mostrar esta información en una aplicación para dispositivos móviles cercanos al nodo. El NCD realizará la recepción de los datos procesados y se encargan de controlar el envío y almacenamiento de la información en una base de datos en internet por medio de módulos con tecnología inalámbrica, tarjeta de desarrollo. Posteriormente, en el NVI se muestra la información de manera detallada en un sitio web. El NAD y NCD son alimentados por la red de energía eléctrica.



**Figura 1-2:** Concepción de la arquitectura general del prototipo MyAIR

Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

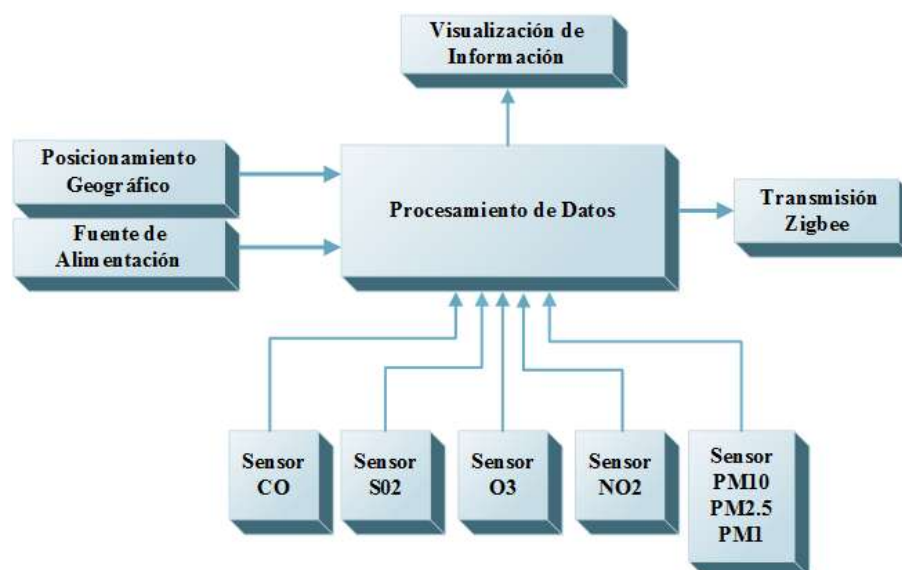
### 2.3 Arquitectura del prototipo MyAIR

A continuación, a través de diagramas de bloques se describe brevemente el funcionamiento de cada uno de los módulos que conforman los nodos de adquisición, control y visualización de datos.

### 2.3.1 *Nodo de Adquisición de Datos (NAD)*

En la Figura 2-2 mediante un diagrama de bloques se presenta la conformación del NAD. Empieza en los bloques de Sensores MQ y PMS, encargados de medir los contaminantes: CO, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>1</sub>, de manera analógica y digital. Seguidamente el bloque de Procesamiento de Datos conformado por un Arduino Mega, el cual recibe cada dato para transformarlo a voltaje y posteriormente a microgramos por metro cúbico (ug/m<sup>3</sup>) unidad de medición de los contaminantes. Un bloque de Posicionamiento Geográfico compuesto por un módulo de GPS para identificar la ubicación geográfica del NAD; latitud longitud fecha y hora en el que fue realizada la medición.

Finalmente, estos datos procesados se envían al bloque Visualización de Información correspondiente a la aplicación para dispositivos móviles que accedan vía comunicación Bluetooth y al bloque Transmisión Zigbee para enviarlos al nodo NCD, compuesta por transceptores XBee basados en tecnología Zigbee para establecer una red tipo malla. El NAD también cuenta con el bloque Fuente de Alimentación que corresponde a la red de energía eléctrica o a su vez un cargador solar portátil.



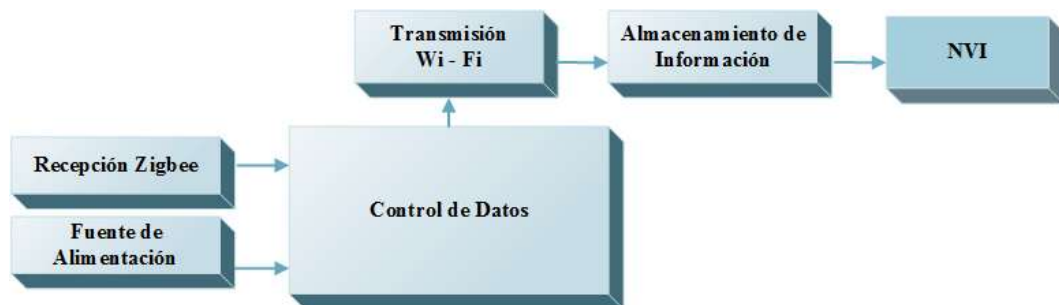
**Figura 2-2:** Diagrama de Bloques del NAD.

Realizado por: ASADOBAY Marfa, PACA Adriana, 2019

### 2.3.2 *Nodo de Control de Datos (NCD) y Nodo de Visualización de Información (NVI)*

En la Figura 3-2 se presenta el diagrama de bloques del NCD junto al NVI. El NCD conformado por el bloque Recepción Zigbee recibe paquetes de datos procesados del NAD mediante los

módulos XBee. Estos datos son reunidos en el bloque de Control de Datos compuesto por la placa NodeMCU8266 el cual se encarga de controlar el envío y almacenamiento de la información en la red. La información es enviada al nodo NVI por medio del bloque Transmisión Wi – Fi para recolectar la información en el bloque Almacenamiento de Información que corresponde a la plataforma de IoT, Ubidots. Finalmente, el NVI que es un portal web para que accedan los usuarios, muestra la información de calidad del aire de manera detallada y comprensible. El NCD cuenta con una Fuente de Alimentación propia.



**Figura 3-2:** Diagrama de Bloques del nodo NCD y NVI.

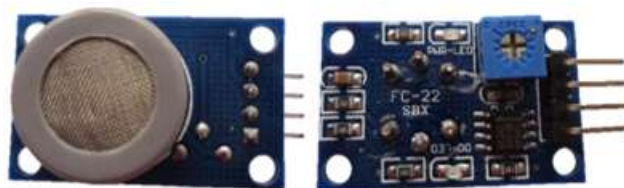
Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

## 2.4 Selección del *hardware* para el prototipo MyAIR

Se detalla los elementos electrónicos que conforman el prototipo, con sus características principales y especificaciones técnicas de funcionamiento. Se adjunta la hoja de datos de los componentes en los Anexos 1-9.

### 2.4.1 *Sensor de gas MQ-7*

Fabricado por Hanwei Electronics Co, Ltd., sensor electro-químico, consta de un tubo de cerámica de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, capa sensible al dióxido de estaño (SnO<sub>2</sub>), un electrodo de medición y un calentador con una corteza de plástico que proporciona las condiciones de temperatura requeridas para la sensibilidad ante el gas CO. El MQ-7 con envoltura tiene 6 pines, 4 son para captar señales y los 2 para proporcionar corriente como se muestra en la figura 4-2 (Parallax-Datasheet, 2017, pp. 1-3).



**Figura 4-2:** Módulo del sensor MQ-7.

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

En la tabla 1-2 se presenta el resumen de las características principales correspondientes al sensor MQ-7 (Parallax-Datasheet, 2017).

**Tabla 1-2:** Especificaciones técnicas del sensor MQ7.

Especificaciones	Sensor MQ-7
Tipo de gas	CO
Rango de detección	20 - 2000 ppm
Salida de señal	Analógica
Tiempo de respuesta	$\leq 1$ s
Voltaje de operación	5V DC
Corriente requerida	70 mA
Rango de temperatura y humedad	$-20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 65% $\pm 5\%$
Resistencia de carga	Ajustable

**Realizado por:** ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

#### 2.4.2 Sensor de gas MQ-131

Semiconductor de Hanwei Electronics Co, Ltd., formado del material sensible SnO<sub>2</sub>, el cual posee baja conductividad en el aire limpio, la presencia de gas, como el ozono, aumenta esta conductividad del sensor indicando que hay mayor concentración de O<sub>3</sub>, convierte esta conductividad en la señal de salida correspondiente a la concentración del gas. Tiene una alta sensibilidad a O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CL<sub>2</sub> y otros. Basándose en la curva característica se puede escalar la medición del gas requerido, está disponible comercialmente en el módulo como se aprecia en la figura 5-2 (Didácticas Electrónicas, 2017).



**Figura 5-2:** Módulo del sensor MQ-131.

**Realizado por:** ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

En la tabla 2-2 se describen las características principales del sensor MQ-131 (Hanwei-Electronics-Co, 2016).

**Tabla 2-2:** Especificaciones técnicas del sensor MQ131

Especificaciones	Sensor MQ-131
Tipo de gas	O3, NO2
Concentración	10-1000ppm
Salida de señal	Analógica
Tiempo de respuesta	$\leq 30$ s
Voltaje de operación	5V DC
Corriente requerida	180 mA
Rango de temperatura y humedad	20°C±2°C ; 65% ±5% RH
Resistencia de carga	10KΩ - Ajustable

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

### 2.4.3 Sensor de gas MQ-136

Fabricado por Hanwei Electronics Co, Ltd., está compuesto por un tubo de cerámica micro AL2O3, capa sensible al dióxido de estaño (SnO2), electrodo de medición y un calentador en una corteza hecha de plástico y red de acero inoxidable como se muestra en la figura 6-2. Alta respuesta y sensibilidad, capaz de detectar SO2, H2S, etc (China-Total, 2017, p. 1-2), está disponible comercialmente en el módulo como se aprecia en la figura 6-2.



**Figura 6-2:** Módulo del sensor MQ-136.

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

En la tabla 3-2 se describen las características principales del sensor MQ-136 (China-Total, 2017).

**Tabla 3-2:** Especificaciones técnicas del sensor MQ136

Especificaciones	Sensor MQ-136
Tipo de gas	SO2
Concentración	1-200ppm
Salida de señal	Analógica
Voltaje de operación	5V DC
Corriente requerida	180 mA
Rango de temperatura y humedad	20°C±2°C ; 65% ±5% RH
Resistencia de carga	Ajustable

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

#### 2.4.4 Sensor de material particulado PMS5003

Sensor fabricado por Plantover, ideal para mediciones de material particulado: PM10, PM2.5 y PM1 su funcionamiento está basado en el principio de dispersión de la luz láser para medir el valor de las partículas de polvo existentes en el aire (AQMD, 2016, p. 3). El sensor PMS5003 mostrado en la figura 7-2, proporciona datos correctos en tiempo real y tiene un alto rendimiento ante interferencia debido a su estructura de protección resistente (AQMD, 2016).



**Figura 7-2:** Sensor PMS5003

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

En la tabla 4-2 se resume las características técnicas del sensor de material particulado PMS5003 (AQMD, 2016).

**Tabla 4-2:** Especificaciones técnicas del sensor PMS5003

Especificaciones	Sensor PMS5003
Voltaje de operación	5V DC
Corriente requerida	$\leq 100$ mA (activo) $\leq 200$ uA (reposo)
Tiempo de respuesta	$\leq 10$ s
Error de consistencia máxima PM2.5	$\pm 10\%$ @100~500 $\mu$ g/m <sup>3</sup> $\pm 10\mu$ g/m <sup>3</sup> @0~100 $\mu$ g/m <sup>3</sup>
Rango de detección	$\geq 1000$ ug/m <sup>3</sup>
Tamaño	50 * 38 * 21 mm

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

## 2.4.5 Tarjetas de desarrollo para el prototipo MyAIR

Se detallan las características principales de las placas *hardware* que intervienen en el diseño del prototipo.

### 2.4.5.1 Arduino Mega

Es un dispositivo basado en el microcontrolador ATmega2560, superior al ATmega320 del Arduino Uno, de plataforma open-source y su IDE puede ser descargado gratuitamente. Electrónicamente, el Arduino Mega mostrado en la figura 8-2, cuenta con suficientes puertos PWM, digitales, analógicos y de comunicación serial, siendo adecuado para proyectos que necesitan más pines, velocidad y potencia (Arduino, 2018a) (Perez, 2015, p. 3).



**Figura 8-2:** Arduino Mega

**Realizado por:** ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

En la tabla 5-2 se aprecian las características de funcionamiento del componente electrónico Arduino Mega. (Mantech.co, 2016).

**Tabla 5-2:** Especificaciones técnicas de Arduino Mega

Especificaciones	Arduino Mega
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de alimentación	7-12V
Corriente máxima por pin E/S	40 mA por pin E/S 50 mA por pin 3.3V
Entradas analógicas:	16 (pines)
Pines E/S Digitales:	54
Salidas PWM:	14
Frecuencia de reloj:	16 MHz
Memoria Flash:	256 KB
EEPROM:	4KB

**Realizado por:** ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

#### 2.4.5.2 NodeMCU ESP8266

Es una placa con conexión Wi Fi de código abierto (Del Valle Hernández, 2018), fabricado por la empresa Espressif, es más integrado a la industria se encuentra debido a que favorece el desarrollo proyectos del IoT o dispositivos conectados. Incluye un firmware que utiliza lenguaje Lua, para su programación y alimentación requiere un convertor Serie-USB, es de fácil acceso a los pines y cuenta con leds para indicar su estado como se muestra en la figura 9-2, entre sus aplicaciones tenemos control de relés, de sensores, envío de datos a internet, domótica y control industrial (Martín, 2017).



**Figura 9-2:** NodeMCU ESP8266

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

En la tabla 6-2 se describen las características de funcionamiento de la placa NodeMCU ESP8266 (EINSTRONIC, 2017).

**Tabla 6-2:** Especificaciones técnicas del NodeMCU ESP8266

Especificaciones	NodeMCU8266
Voltaje	3.3 V
Corriente de operación	200 mA
Protocolos Wi-Fi	802.11 b/g/n
Rango de frecuencia	2.4 a 2.5 Ghz
Seguridad	WPA/WPA2
Capacidad IO	UART, I2C, GPIO, 1ADC
Protocolos de Red	IPV4, TCP/UDO/HTTP/FTP
Memoria	EEPROM
Temperatura de Operación	-40 a 125 °C

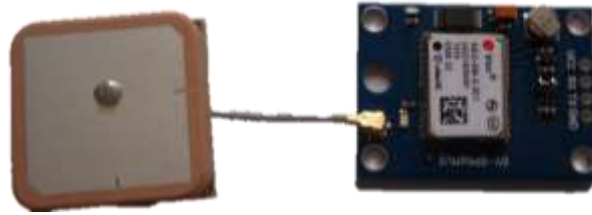
Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

#### 2.4.6 Módulo de GPS u-blox NEO 6M

Cuenta con un motor de posicionamiento basado en el receptor u-blox serie NEO 6M de módulos de GPS, adquiere señales de satélite con una corrección de posición. Una vez que tenga mantendrá una posición fija y parpadeará el LED de a bordo. El módulo de GPS mostrado en la figura 10-2



es compatible con dispositivos con capacidad UART como Arduino, Raspberry Pi y otros (AFEL, 2018, p. 1).



**Figura 10-2:** Módulo de GPS u-blox NEO-6M.

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

En la tabla 7-2 se presentan las características principales del GPS u-blox NEO-6M (U-Blox, 2016).

**Tabla 7-2:** Especificaciones técnicas del GPS u-blox NEO-6M.

Especificaciones	GPS u-blox NEO-6M
Tamaño de módulo	25 mm* 35 mm
Voltaje de Alimentación	3-5V
Corriente requerida	55 mA
Precisión de posición	2 m, mejora con múltiples buenas señales de satélite.
Tiempo de inicio	35s en promedio
Almacenamiento externo	EEPROM serial externo para guardar configuraciones.
Interface	Serial UART 5V
Velocidad en baudios predeterminada	9600 bps
Aspectos adicionales	Batería incorporada para RAM.

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

#### 2.4.7 Módulo Bluetooth HC-05

Idóneo para conexiones inalámbricas sencillas y fiable, se configura mediante comandos AT, funcionando como maestro o esclavo. Los pines de TX y RX deben ser conectados a RX y TX respectivamente, de las pacas de desarrollo a conectar. El módulo mostrado en la figura 11-2, dispone de un pulsador para entrar a modo comando, y un led que informa el estado en el que se encuentra transmitiendo o en modo configuración (BricoGeek, 2016).



**Figura 11-2:** Módulo Bluetooth HC-05

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

A continuación, en la tabla 8-2 se describen las especificaciones técnicas del módulo de Bluetooth (ITEad Studio, 2015).

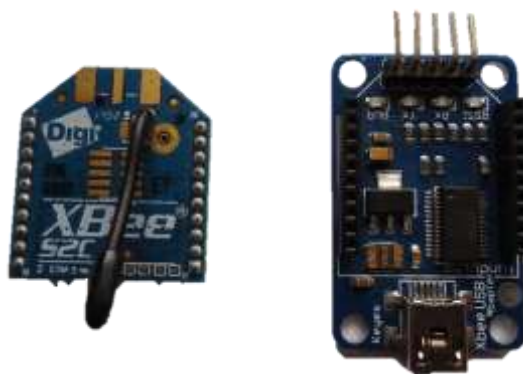
**Tabla 8-2:** Especificaciones técnicas del módulo de Bluetooth HC-05

Especificaciones	Módulo Bluetooth HC-05
Voltaje de operación	3.3V – 6V
Corriente requerida	<50 mA (operación) <1 mA (reposo)
Frecuencia:	ISM de 2.4 GHz
Modulación:	GFSK
Temperatura de trabajo:	-5° C – 45° C
Potencia de transmisión:	> 4 dbm clase 2
Sensibilidad:	> -84 dbm en 0.1% BER

**Realizado por:** ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

#### 2.4.8 Módulo XBee S2C

Fabricados por Digi Interntional, Inc., para comunicación inalámbrica bajo el protocolo de red IEEE 802.15.4 (Ro-botica Global S. L., 2017), internamente este módulo utiliza un ADC y envía tramas de datos a XBee remotos (Saqui, 2018, p. 40), permite establecer topologías de red: Punto-a-punto, punto-a-multipunto, Malla, son de bajo costo y fácil configuración. Necesita un XBee Explorer para ser configurado, el cual se encarga de regular el voltaje de entrada (5V) a 3.3V (ICM electronics, 2017), ambos elementos son mostrados en la figura 12-2.



**Figura 12-2:** Mód. XBee S2C (izquierda) y XBee explorer (derecha)

**Realizado por:** ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

En la tabla 9-2 se describen las características de funcionamiento del módulo XBee (DIGI, 2018).

**Tabla 9-2:** Especificaciones técnicas del XBee S2C

Especificaciones	Módulos XBee S2C
Voltaje	(2.1 – 3.6 )V
Corriente de operación	33 mA a 3.3V
Frecuencia de Operación	ISM 2.4 – 2.5 MHz
Rango de alcance - urbano	más de 60 m
Rango de alcance – línea de vista	más de 1200 m
Interface de comunicación	UART 250 Kb/s
Frecuencia de Operación	ISM 2.4 – 2.5 MHz
Temperatura funcionamiento	-40 a 85 °C

**Realizado por:** ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

#### **2.4.9 Cargador solar portátil**

Cargador fabricado para adaptarse a cualquier ambiente, resistente al agua, cuenta con protección de material impermeable y de goma ante caídas. Provee de energía extra a cualquier dispositivo ya sea teléfonos, tablets, dispositivos electrónicos con características similares, entre otros, en caso de no disponer de energía se carga con el sol, es fácil de transportar ya que es liviano y de tamaño compacto (Mercado libre, 2018) como se muestra en la figura 13-2.



**Figura 13-2:** Cargador portátil solar impermeable.

**Realizado por:** ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

En la tabla 10-2 se resumen las características técnicas más relevantes del cargador.

**Tabla 10-2:** Características principales del cargador solar

Especificaciones	Cargador solar portátil
Voltaje de entrada	DC 5V/1A
Voltaje de salida (2 puertos)	DC 5V/1A
Temperatura de funcionamiento	0-45 grados
Puerto USB	2
Interfaz de salida	Doble USB
Interfaz de entrada	Micro USB
Indicador de batería	4 leds
Panel solar	2W

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

## 2.5 Esquema de conexión del prototipo MyAIR

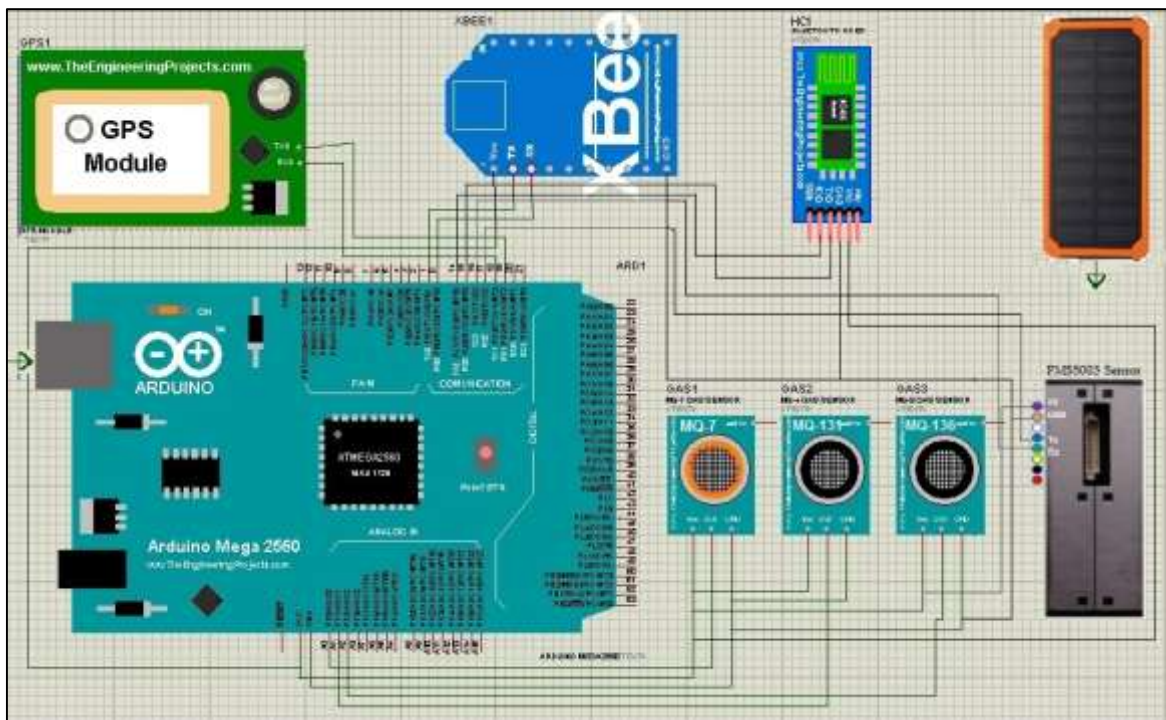
Seguidamente se detalla la conexión de los componentes electrónicos en el programa Isis Proteus 8 (Super Mavster, 2018), por cada nodo que conforma el prototipo.

### 2.5.1 Esquema de conexión del NAD

El Nodo de Adquisición de Datos (NAD) está compuesto por un Arduino Mega, sensores MQ7, MQ 136, MQ131, PMS 5003, convertidor de nivel lógico de 3.3V a 5V, módulo XBee S2C, un shield de Arduino para XBee y módulos Bluetooth y GPS como se muestra en la figura 14-2, los componentes se conectan de la siguiente manera.

- El cargador solar portátil se encuentra conectado mediante cable USB a la tarjeta de desarrollo Arduino Mega.
- El módulo XBee está conectado al Arduino Mega a través del shield, conectando las terminales TX y RX del XBee a los terminales 0 (TX) y 1 (RX) del Arduino, respectivamente. El transceptor XBee es alimentado con los 5 voltios y GND que proporciona el Arduino.
- El Sensor de Monóxido de Carbono MQ7 (Sensor Mq7) se conecta al terminal A0 de la placa Arduino Mega.
- El Sensor de Dióxido de Azufre MQ136 (Sensor Mq136) se conecta al terminal A1 de la placa Arduino Mega.
- El Sensor de Ozono y Dióxido de Nitrógeno MQ131 (Sensor Mq131) se conecta al terminal A2 de la placa Arduino Mega.

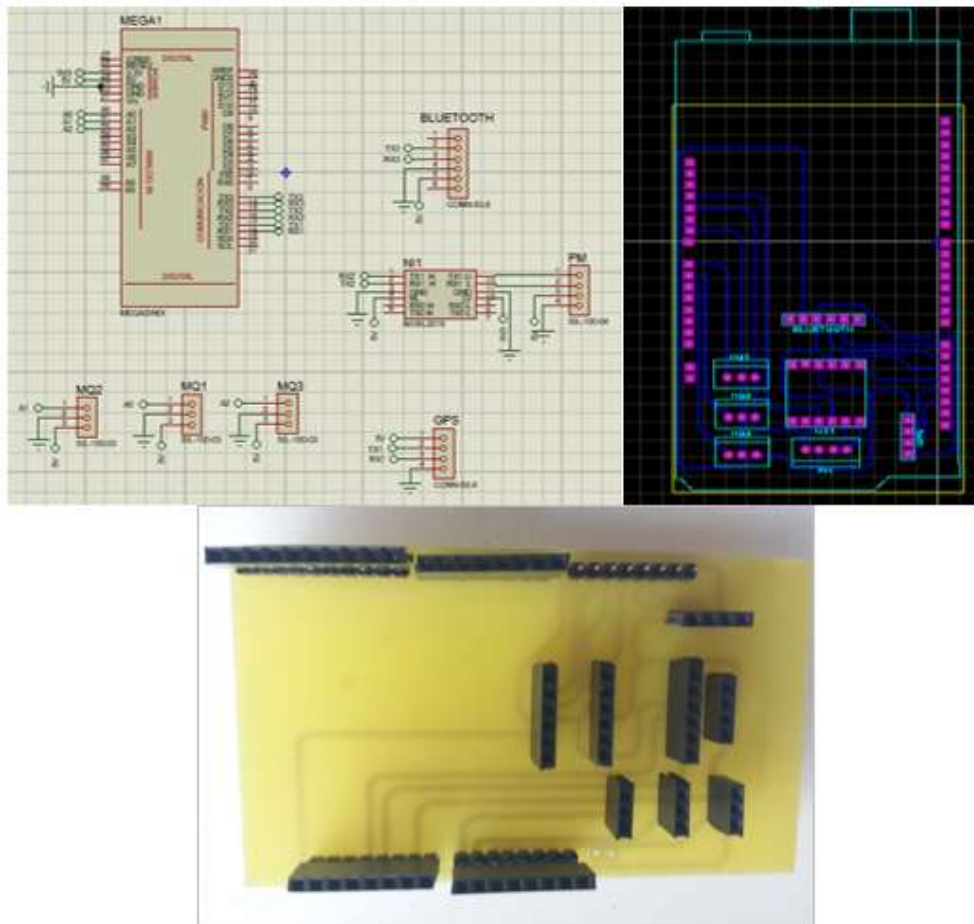
- El módulo GPS está conectado al Arduino a través del puerto Serial1, conectando TX al terminal 19 (RX) y RX al terminal 18 (TX) del Arduino Mega y está alimentado con 5Voltios y GND que el mismo Arduino proporciona.
- El sensor PMS5003 utiliza un convertidor de nivel lógico de 3.3V a 5V, por lo cual conecta el terminal 5 (TX) al TX de uno de los canales del convertidor lógico, seguidamente el terminal 4 (RX) al RX del canal perteneciente al convertidor lógico; ambas conexiones en el lado del nivel bajo. Posteriormente a partir de lado nivel alto, conecta el TX al terminal 17 (RX) y el RX al terminal 16 (TX) del Arduino.
- El módulo Bluetooth está conectado al Arduino Mega por el Serial3, conectando TX al terminal 15 (RX) y RX al terminal 14 (TX) del Arduino.
- La comunicación inalámbrica se establece entre el NAD y NCD para el envío de las lecturas mediante RF. La comunicación inalámbrica se establece entre el NAD y NCD para el envío de las lecturas mediante RF.



**Figura 14-2:** Esquema de conexión del NAD

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

Se generó el diseño del circuito en PCB, para transferirlo a la placa de fibra, perforar, soldar los conectores y adaptar los componentes. Los componentes incorporados se muestran en la figura 15-2.



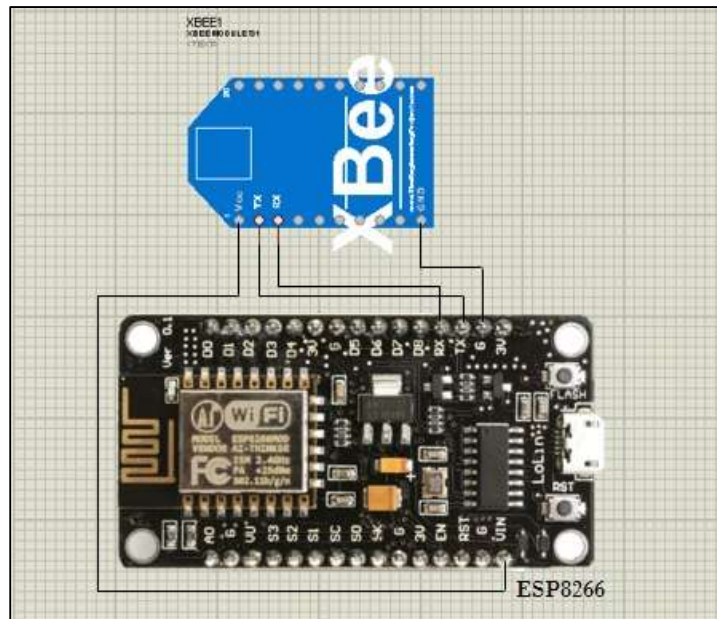
**Figura 15-2:** Placa del NAD con sus componentes

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

### 2.5.2 Esquema de conexión del NCD

En la Figura 16-2 se indica la conexión del Nodo de Control de Datos (NCD) constituido por un módulo XBee S2C y el NodeMCU ESP8266 el cual permite la conectividad a Internet mediante la tecnología Wi-Fi. La conexión para este nodo se presenta a continuación:

- El módulo XBee sobrepuesto en el XBee Explorer, está conectado con el NodeMCU ESP8266 a través de las terminales TX y RX que cada uno posee, y alimentado por el mismo ESP8266 con 5 voltios y GND.
- La alimentación del NCD se realizará conectando directamente a una fuente de la red de energía eléctrica.



**Figura 16-2:** Esquema de conexión del NCD

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

## 2.6 Selección del *software* para el prototipo MyAIR

Para el funcionamiento del prototipo se necesita de *software* capaz de controlar los componentes electrónicos antes mencionados, para ello se expone previamente sus requerimientos, seguidamente de los programas y plataformas empleadas.

### 2.6.1 *Requerimientos software del prototipo MyAIR*

Se precisa los requerimientos *software* de los nodos NAD y el NCD del prototipo.

#### **Requerimientos *software* del NAD**

- Recolectar mediciones de los contaminantes y aplicar su conversión a voltaje, a concentración en ppm, posteriormente transformar a ug/m3, cada contaminante.
- Obtener para cada NAD, su ubicación en longitud y latitud, fecha y hora por medición.
- Visualizar información de los contaminantes en tiempo real a través de una aplicación móvil conectada vía Bluetooth.
- Enviar los datos procesados al NCD, a través de la comunicación Zigbee.
- Emitir niveles de alerta basados en la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire (NECA).

## **Requerimientos *software* del NCD**

- Coordinar y establecer la red malla.
- Receptar las tramas Zigbee provenientes del NAD.
- Controlar el registro de datos de los gases contaminantes, material particulado, latitud, longitud y número de nodo, a la base de datos de internet.

### **2.6.2 *Software de desarrollo para el prototipo MyAIR***

Se exponen los programas y plataformas a utilizar para la configuración, control y funcionamiento del prototipo.

#### **Arduino IDE**

Programa de código abierto que se puede ejecutar en varios sistemas operativos como Windows, Mac OS o Linux, está basado en el lenguaje de programación C++, siendo empleado para configurar *hardware* Arduino (Gusqui, 2017). Integra un administrador de biblioteca y es sencillo de utilizar debido a que no requiere mayor configuración para empezar la programación (Azzola Francesco, 2018). Para crear los sketches o programas controladores del *hardware* se utilizó la versión de IDE 1.8.7 (Arduino, 2018b).

#### **App Inventor**

Entorno de desarrollo de programación visual intuitivo para dispositivos con sistema operativo Android, requiere únicamente un dispositivo y el navegador web. Permite editar, guardar, importar y exporta el proyecto en formato apk. Trabaja con dos herramientas: App Inventor block que define el comportamiento de componentes que utiliza la aplicación y App Inventor Designer que construye la interfaz de usuario (Ricoy R. Antonio, 2016, p. 1). La versión a utilizar es app inventor versión 2.50 (MIT APP INVENTOR, 2018).

#### **Ubidots**

Es una plataforma de Internet de las cosas, que permite almacenar administrar y supervisar de forma remota los datos obtenidos de sensores en tiempo real para ser visualizados en una página web (Rodríguez et al., 2017). Utiliza librerías para ser compatible con variedad de dispositivos entre ellos Arduino, NodeMCU, Raspberry pi (Ubidots, 2016), interpreta protocolos de comunicación



como HTTP, MQTT y TCP/UDP (Toquica y Guzman, 2016, p. 38). Proporciona dos tipos de cuentas: educativo o industrial donde de acuerdo a las necesidades se puede optar para aplicaciones y soluciones a los dispositivos conectados a internet (Ubidots, 2018).

## XCTU

Aplicación gratuita de fácil manejo desarrollada por Digi, para la configuración de módulos de radio frecuencia RF XBee empleando archivos firmware. Permite acceder, configurar dispositivos conectados y testear la comunicación entre los XBee que conforman la red. Es compatible con Windows, MacOS y Linux (Digi, 2018) (Buriticá y González, 2015).

Los módulos XBee fueron configurados en el *software* X-CTU versión 6.4.1 (Digi, 2018), mediante un XBee Explorer USB con un cable mini USB para conexión a la PC. En la tabla 11-2 se presenta los parámetros relevantes, configurados para el funcionamiento del XBee coordinador y router pertenecientes a la red malla.

**Tabla 11-2:** Parámetros configurados en los módulos XBee.

Parámetro	Coordinador	Router
ID	1243	1234
CE	Enable [1]	Disable [0]
SH	13A200	13A200
SL	4106AF74	4106AF72
DH	0000	0000
DL	FFFF	0000
AP	API enable [1]	Transparente mode [0]
JV	Disable [0]	Enable [1]

Realizado Por: ASADOBAY María, PACA Adriana; 2019

Una vez finalizada la configuración cada módulo XBee estará marcado con la letra C (rojo) y R (verde) indicando que es un XBee *coordinador* y XBee *router*, respectivamente, se detalla la configuración en el Anexo 9. Los demás parámetros quedan configurados por defecto.

### 2.6.3 Diagramas de flujo del Prototipo MyAIR

A continuación, se presenta los diagramas de flujo del *software* desarrollado para cada uno de los nodos, las librerías que emplean y las funciones que realizan.

## Diagrama de flujo del NAD

En la figura 18-2 se muestra el diagrama de flujo en el que se describe su proceso. La programación presenta las siguientes actividades:

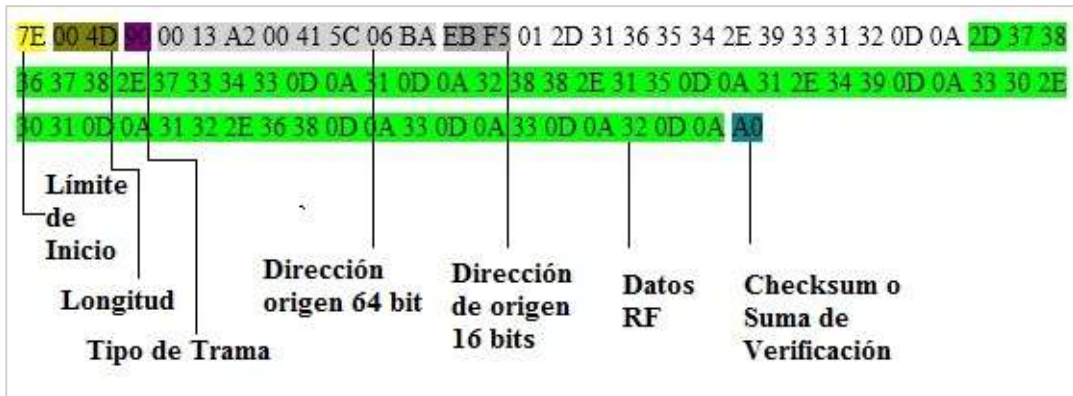
### Inicialización

- Se define la librería **TinyGPS++.h** para analizar flujos de datos NMEA que son entregados por el módulo GPS y crear una instancia **TinyGPSPLUS gps** para obtener los datos de localización y tiempo.
- Asignación de puertos analógicos de ingreso **A0, A1, A2** para cada uno de los contaminantes: **CO, SO2, O3 y NO2** para los sensores **MQ7, MQ136 y MQ131**, indicando que O3 y NO2 son medidos por el mismo puerto **A2**.
- Se declara la variable: **LENG 31** correspondiente a la longitud de trama, recibida por serial2 del sensor PM.
- Se declaran variables de almacenamiento float: **CO, SO2, O3, NO2**, int: **NAD, MM, SSS, PM10Value, PM2\_5Value y PM01Value**, variables booleanas de control: **control y controlf** inicializadas en 0.
- Inicialización de los puertos serial0, serial1, serial2 y Serial3 para establecer comunicación con los XBee, GPS, sensor PM y Bluetooth, respectivamente.

### Bucle Repetitivo

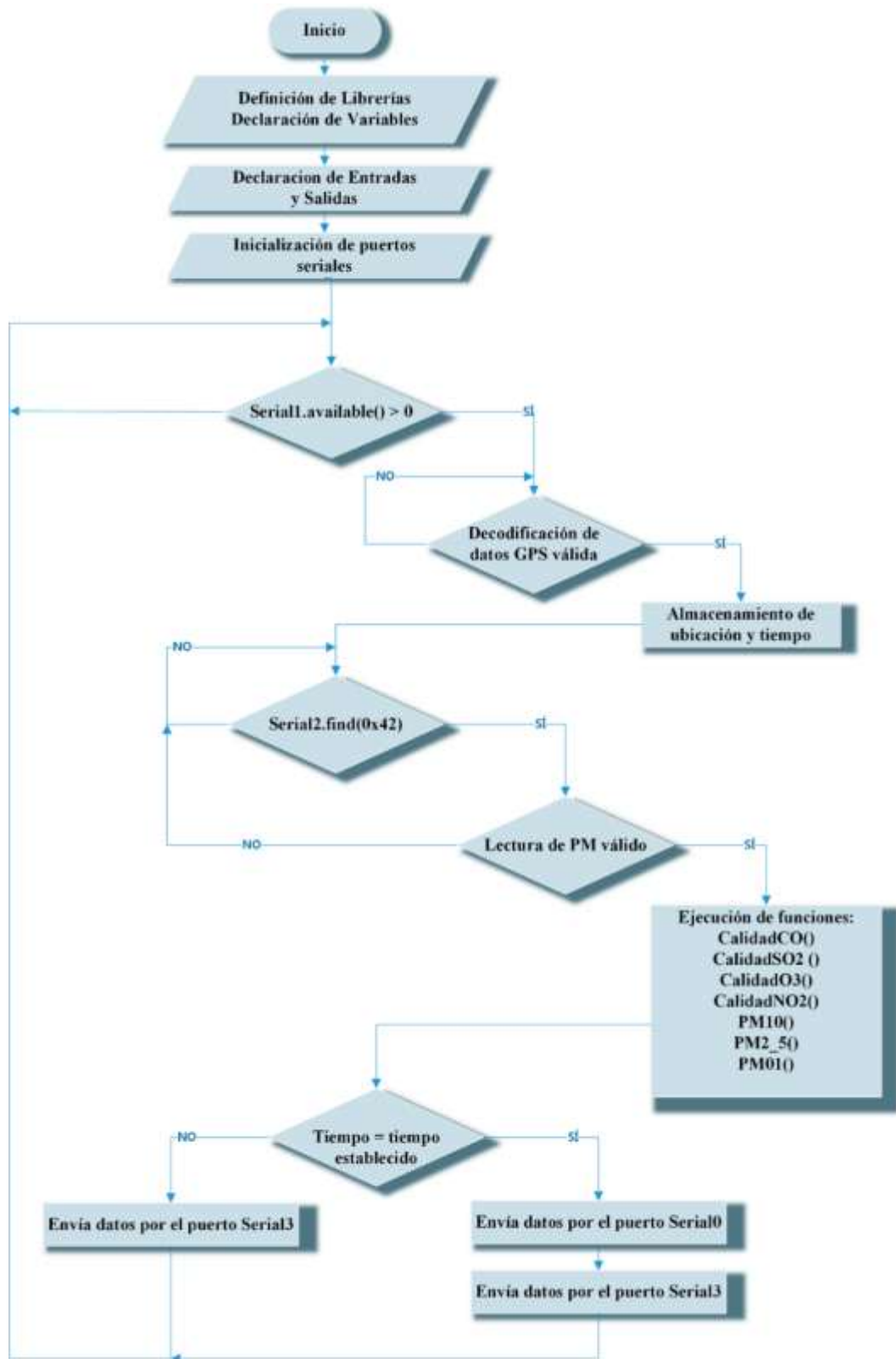
- Revisión de datos GPS disponibles diferentes de cero, en el serial1 mediante el comando (**Serial1.available(>0)**) y decodificación de datos seriales leídos, con el método (**gps.encode (Serial1.read())**).
- Si la decodificación es correcta se almacena los datos de ubicación (**lat, lng**) y tiempo (**HH, MM, SSS**), necesarios para fijar, cuándo enviar los datos procesados al NCD o a la aplicación móvil.
- Si en el serial2 se detecta tramas (**Serial2.find(0x42)**), se procede a verificar si coincide con la longitud de trama declarada anteriormente (**CHECKVALUE(BUF,LENG)**).
- De ser así se ejecutan las funciones: **CalidadCO(), CalidadSO2(), CalidadO3(), CalidadNO2(), PM10(), PM2\_5() y PM01()**. Todos los resultados son almacenados en las variables declaradas.
- Se compara el tiempo actual con un tiempo establecido, (**(MM == 1 || MM == 5) &&(SSS == 0 || SSS == 1)**), para transmitir la trama de datos, por el puerto de comunicación Zigbee y

por el puerto serial3 de comunicación Bluetooth. En la figura 17-2, se expone la estructura de la trama transmitida.



**Figura 17-2:** Estructura de la trama transmitida por comunicación RF.

Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019



**Figura 18-2:** Diagrama de flujo del NAD

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

## Diagrama de flujo del NCD

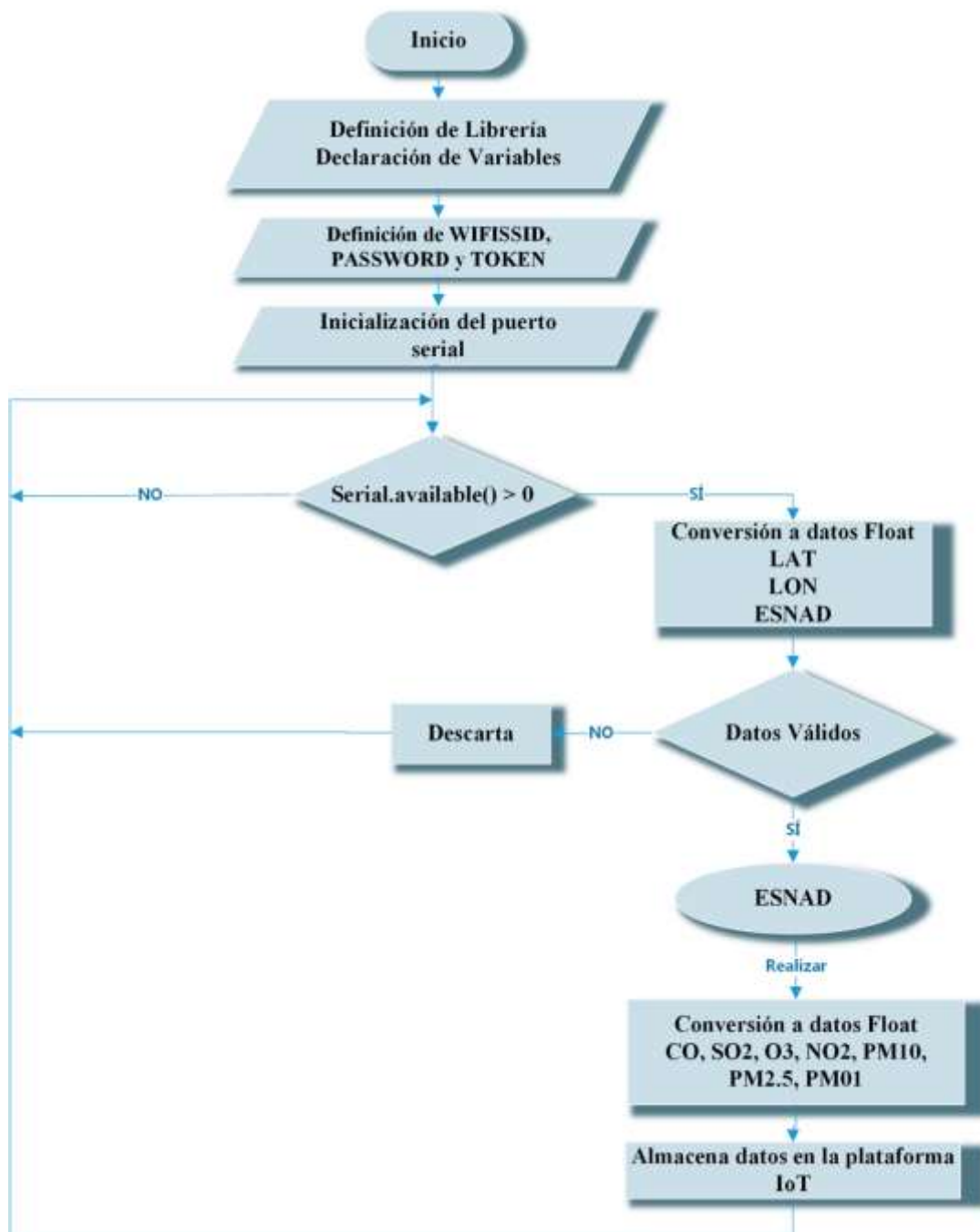
En la figura 19-2 se presenta el diagrama de flujo del NCD, detallando el proceso que realiza. La programación presenta las siguientes actividades:

### Inicialización

- Inclusión de la librería **UbidotsMicroESP8266** para establecer comunicación entre el NodeMCU ESP8266 y la plataforma IOT Ubidots.
- Declaración de las variables: **ESNAD, LAT, LON, CO, SO2, O3, NO2, PM10, PM25 y PM01** para almacenar los datos que son receptados del NAD.
- Se define **WIFISSID, PASSWORD** más el **TOKEN** de Ubidots para establecer conexión.
- Se inicializa el puerto serial0 para la comunicación con el módulo XBee.

### Bucle Repetitivo

- Se verifica recepción de datos por el puerto serial0 empleando el comando **Serial.available()**.
- Los datos recibidos en hexadecimal son transformados a datos flotante, con el comando **Serial.parseFloat()**.
- Se filtran los datos válidos y se almacenan en las variables declaradas anteriormente.
- Los datos **LAT, LON y ESNAD** se envían a Ubidots a modo contexto con cada variable medida. Se emplea el comando **context**.
- Los datos de los siete contaminantes son enviados a Ubidots, a través de un Switch Case, se considera un tiempo de espera para almacenarlos correctamente. El código es: **client.add("MP1-n2", MP1,context);** y **client.sendAll(true);**



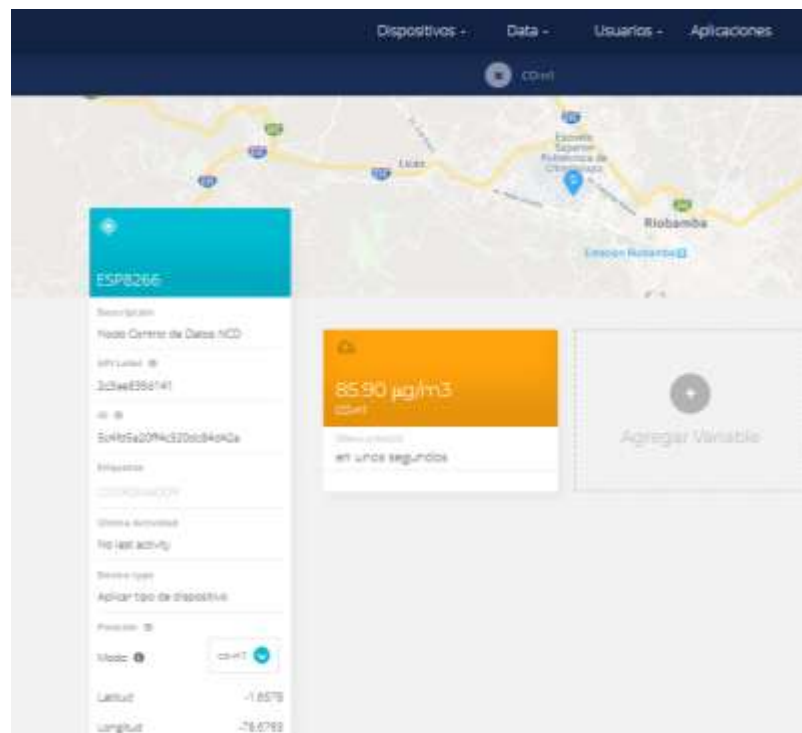
**Figura 19-2:** Diagrama de flujo del NCD

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

## 2.7 Plataforma de Visualización de Información Ubidots

Presentar los datos actuales en forma gráfica y dinámica en una página web, para ello se ha creado una cuenta enfocada al proyecto en (Ubidots, 2019), se introduce datos previos de nombre de usuario, correo electrónico y una contraseña para la creación de la cuenta. El registro de los datos se lo realiza por dispositivos y dentro de cada dispositivo por variables, cada variable registrada

permite editar una unidad de medida, ubicación geográfica y una descripción. En la figura 20-2 se observa el dispositivo ESP8266 y la variable CO-n1.



**Figura 20-2:** Dispositivo y variable creada en Ubidots

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

Un dispositivo interactúa con la plataforma mediante librerías de conexión, para conectar la red inalámbrica se empleó la placa NodeMCU ESP8266 la cual requiere ser configurada con la librería, e ID de Ubidots. La placa Wi-Fi utiliza un **TOKEN** que es el ID principal generado por Ubidots, un **WIFISSID** y **PASSWORD** que corresponden al SSID y contraseña de la red en la cual se tiene acceso a internet.

Para incorporar las variables medidas a la plataforma se lo realizará de dos maneras: por la asignación de nombres a las variables en el programa de ejecución del NodeMCU ESP8266 o crear las variables desde la plataforma y obtener sus IDs generadas. Se optó asignar nombres a las variables como se muestra en la figura 21-2. Ver (Anexo 11).

```

sprintf(context, "lat=-1.6701&lng=-78.6637&NAD=1");

CO = Serial.parseFloat();
client.add("CO-n1", CO, context);
client.sendAll(true);
delay(2000);

SO2 = Serial.parseFloat();
client.add("SO2-n1", SO2, context);
client.sendAll(true);
delay(2000);

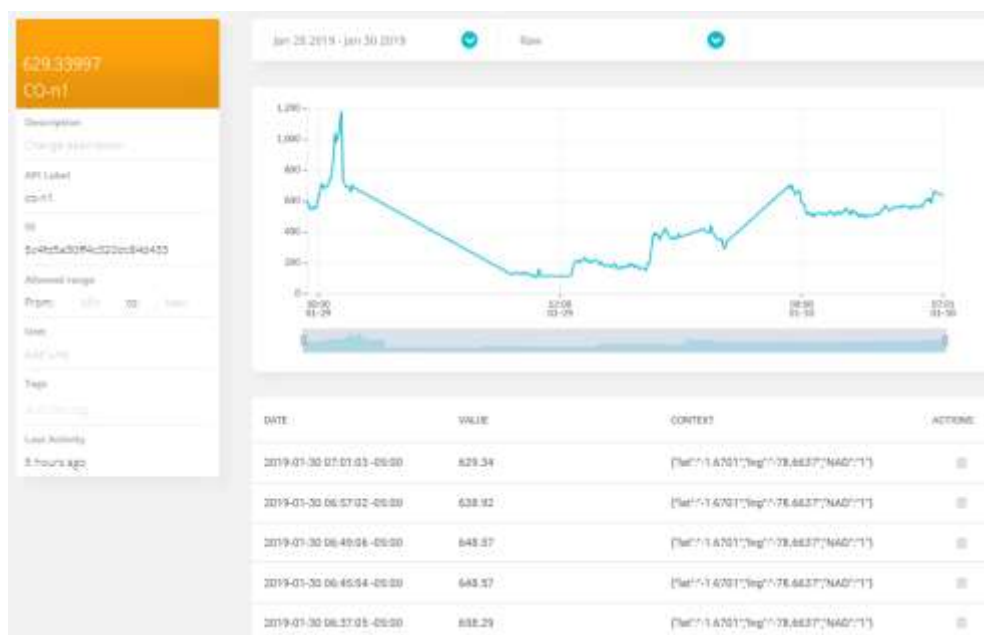
O3 = Serial.parseFloat();
client.add("O3-n1", O3, context);
client.sendAll(true);
delay(2000);

```

**Figura 21-2:** Código de variables creadas en Ubidots

**Realizado por:** ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

Ubidots a través de su menú permite organizar los datos por fecha, hora, valores máximos, mínimos, valores promedio o sumados. Cada variable puede contener un contexto que es información adicional enviada desde el NAD. En la figura 22-2, se presenta los datos registrados del contaminante CO y su gráfica en forma continua.

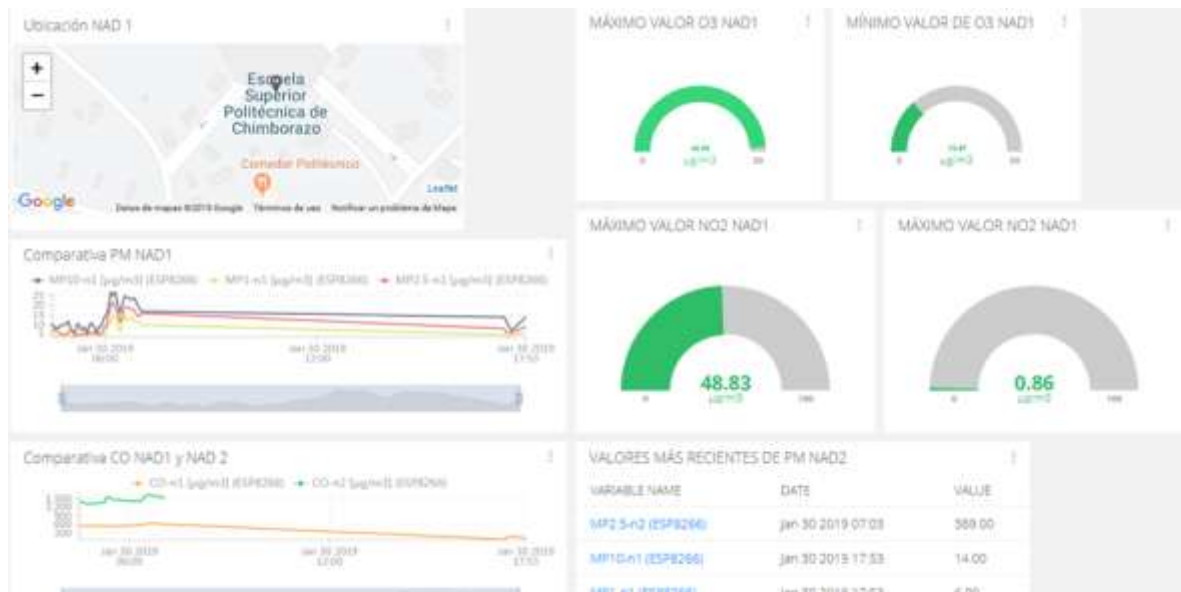


**Figura 22-2:** Datos registrados en Ubidots

**Realizado por:** ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

Posteriormente la plataforma permite organizar los datos en dashboards o tableros que son presentaciones visuales y dinámicas para el usuario. En la figura 23-2 se muestran tableros de los contaminantes mostrados por valor máximo, mínimo, gráficas comparativas, cuadros de valores actuales entre otros.



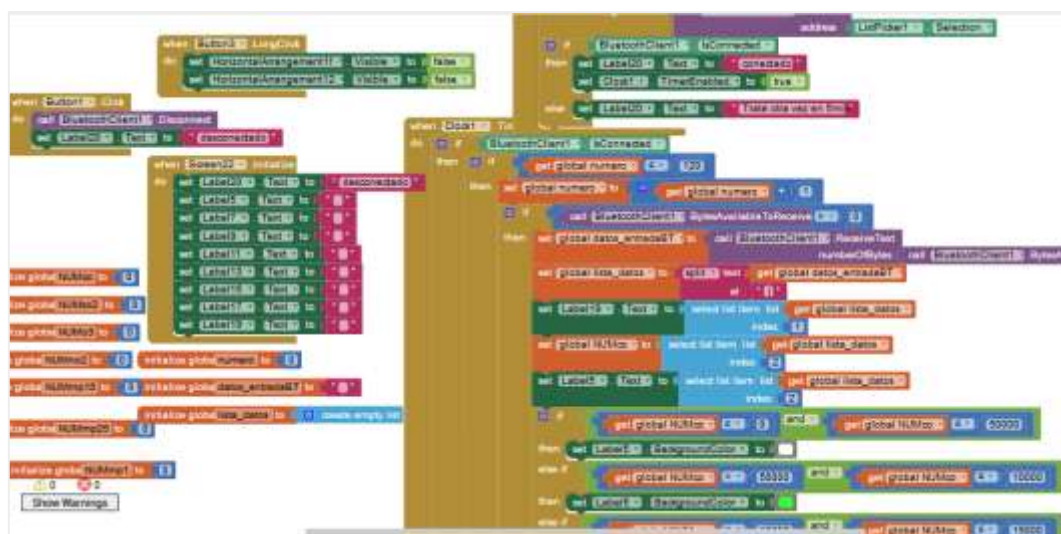


**Figura 23-2:** Visualización de datos en Ubidots

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

## 2.8 Software para Dispositivos Móviles

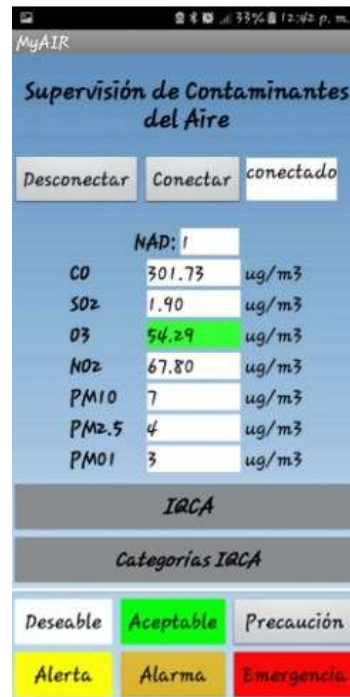
El prototipo cuenta con una aplicación móvil, desarrollada en el *software* App Inventor 2.5 50 (MIT APP INVENTOR, 2018), disponible para dispositivos móviles que cuenten con sistema operativo Android. El objetivo de la aplicación es dar a conocer el nivel de contaminación, presente en la zona de medición, a través de comunicación Bluetooth en un tiempo no mayor a 5 minutos. En la figura 24-2 se observa los bloques de programación desarrollados para la ejecución de la aplicación. La información completa se ve en el Anexo 13.



**Figura 24-2:** Bloques de programación en App Inventor

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

Esta aplicación tiene una interfaz amigable para el usuario. La pantalla principal está constituida por botones de comunicación: conectado o desconectado, número de NAD y los valores medidos de los gases contaminantes: CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y material particulado PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>01</sub> en unidades de ug /m<sup>3</sup> obtenidas en tiempo real. En la figura 25-2 se observa la pantalla principal la app.



**Figura 25-2:** Pantalla principal de la aplicación móvil.

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

Incluye un control de seis colores, en los valores medidos para ayudar a las personas con una rápida interpretación del mensaje sobre los rangos permitidos del contaminantes en el aire, tomando como referencia el Índice Quiteño de Calidad del Aire o IQCA (Ambiente, 2016, p. 8). Contiene pantallas secundarias que explican en que consiste cada categoría IQCA y los límites establecidos.

## CAPÍTULO III

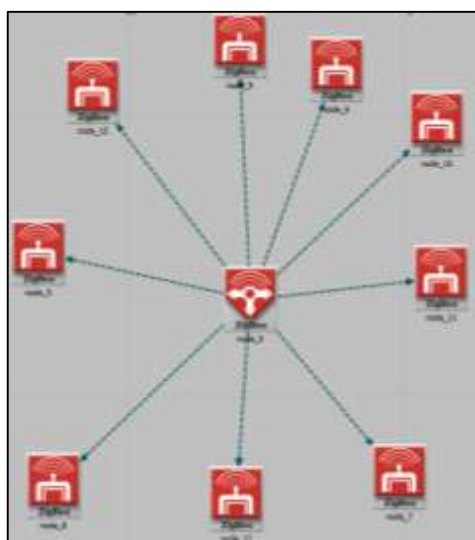
### 3 PRUEBAS Y RESULTADOS

El siguiente capítulo presenta los resultados de las pruebas realizadas a los componentes *hardware* y *software* que conforman el prototipo, se realizó doce pruebas divididas en cuatro grupos: selección de la topología de red, caracterización de sensores, caracterización de comunicación inalámbrica y almacenamiento de datos, finalmente se muestra el prototipo MyAIR funcionando.

#### 3.1 Selección de la topología de red

El objetivo de la simulación, es elegir la topología que mejor se ajusta a los requerimientos del prototipo. El *software* empleado es Riverbed Modeler versión 17.5.A PL7 (Riverbed Support, 2018), el cual posee propiedades de la tecnología Zigbee lo que es idóneo, ya que el prototipo a implementar utiliza la tecnología antes mencionada. Para medir el rendimiento de una red los parámetros a analizar dependerán de la naturaleza y diseño de la propia red, es por ello que se ha determinado simular las topologías: malla y estrella durante 60 minutos; para analizar el retardo, carga total y el throughput.

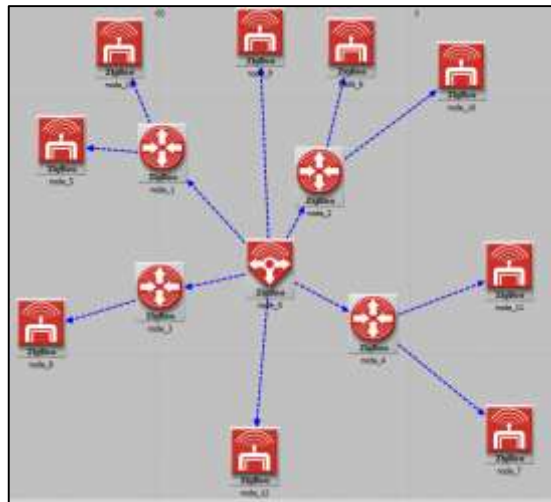
En la topología estrella se empleó nodos de la siguiente manera; un coordinador con nueve dispositivos finales como se aprecia en la figura 1-3.



**Figura 1-3:** Topología Estrella

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

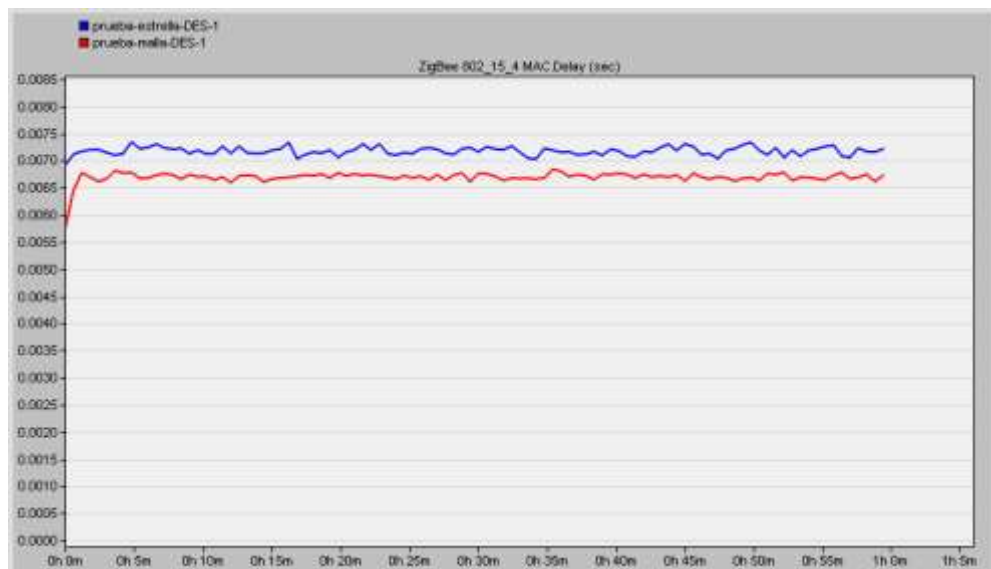
En la topología malla se empleó un nodo coordinador, cuatro routers y nueve dispositivos finales, mostrado a continuación, en la figura 2-3.



**Figura 2-3:** Topología Malla

Realizado por: ASADOBAY María, PACA Adriana, 2019

Realizada la simulación, se presentan los resultados obtenidos de los parámetros para efectuar el análisis entre ambas topologías.

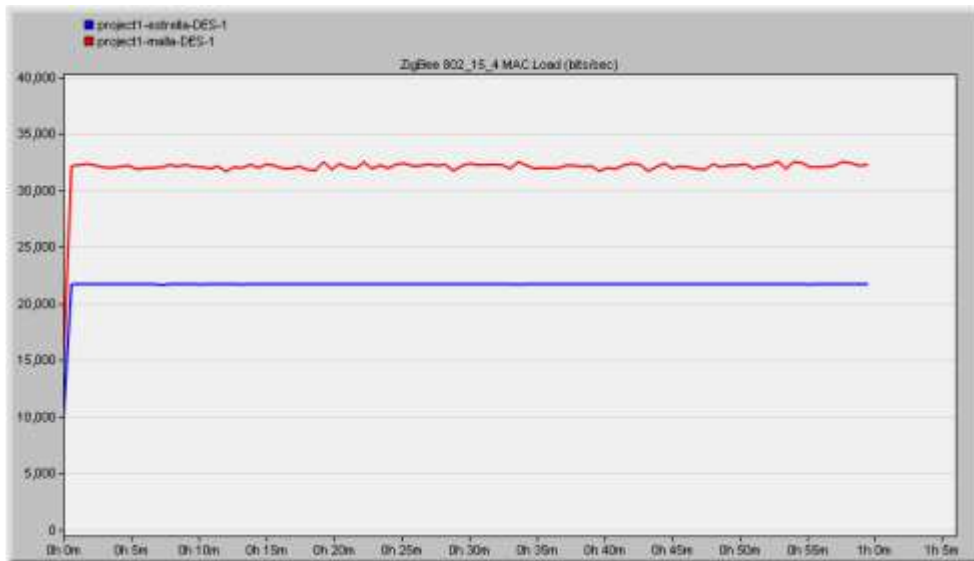


**Figura 3-3:** Retardo de datos en la topología malla (rojo) y estrella (azul)

Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

**Retardo:** Se evaluó este parámetro para saber el tiempo que tarda un bit de datos en viajar desde el dispositivo final al coordinador en la red. En los resultados mostradas en la figura 3-3 se observa que la topología malla tiene un menor retardo con un valor promedio de 0.0068sec con respecto

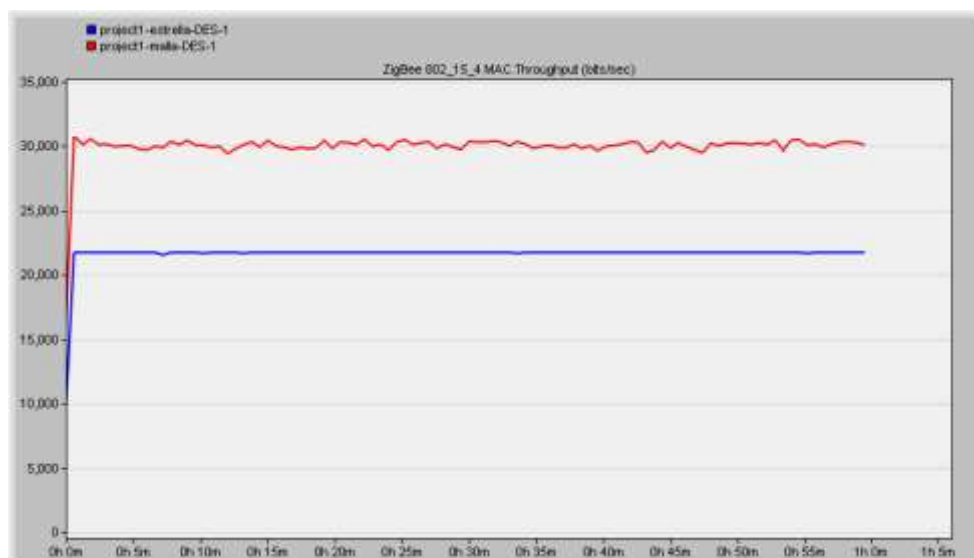
a la topología estrella que presenta un valor de retardo promedio de 0.0073sec. La diferencia es de 0.0005sec observando que no hay mayor variación entre ambas topologías.



**Figura 4-3:** Carga total de datos en la topología malla (rojo) y estrella (azul)

Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

**Carga total:** Se evaluó el siguiente parámetro para evidenciar el tamaño de paquete promedio permitido en la red, de acuerdo a los resultados generados en la simulación se observa en la figura 4-3, que la topología malla posee mayor carga de datos, con un promedio de 32000 bits/sec, con respecto a la topología estrella que tiene en promedio 21000 bits/sec. Al analizar los valores se visualiza que existe una diferencia considerable de 11000bits/sec.



**Figura 5-3:** Throughput de datos en la topología malla (rojo) y estrella (azul)

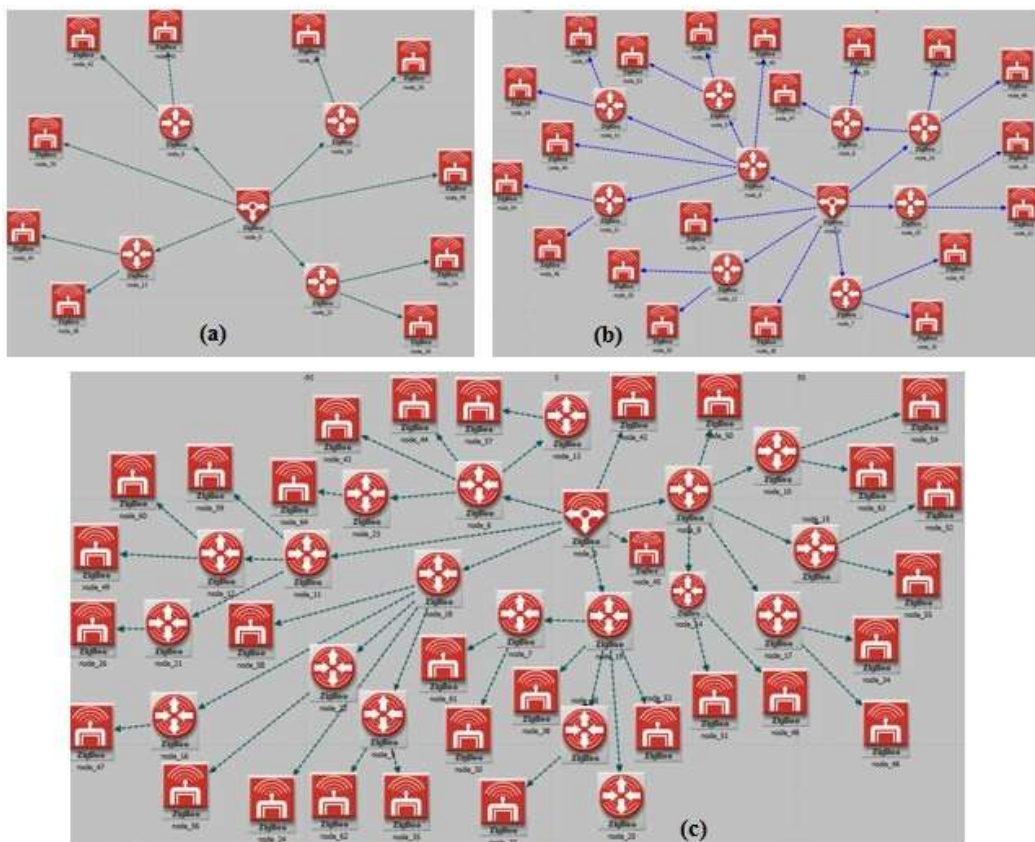
Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

**Throughput:** se ha analizado este parámetro para verificar el número de datos recibidos correctamente. De los resultados obtenidos en la figura 5-3 se observa que la entrega exitosa de datos de la topología malla es en promedio de 30000 bits/sec, y de la topología estrella en promedio 22000 bits/sec, indicando que la red malla tiene mayor capacidad de transferencia en comparación a la red estrella, con diferencia entre ambos de 8000 bits/sec, promedio.

Se determina a partir de las figuras 3-3, 4-3 y 5-3, que la topología malla es la más adecuada para ser empleada en el prototipo MyAIR debido a su mayor capacidad de carga de datos 11000 bits/sec, mayor throughput de 8000 bits/sec, y bajo retardo de 0.0005sec, diferencias notables en comparación a su contrario la topología estrella.

### 3.1.1 Número de nodos conectados en la red malla

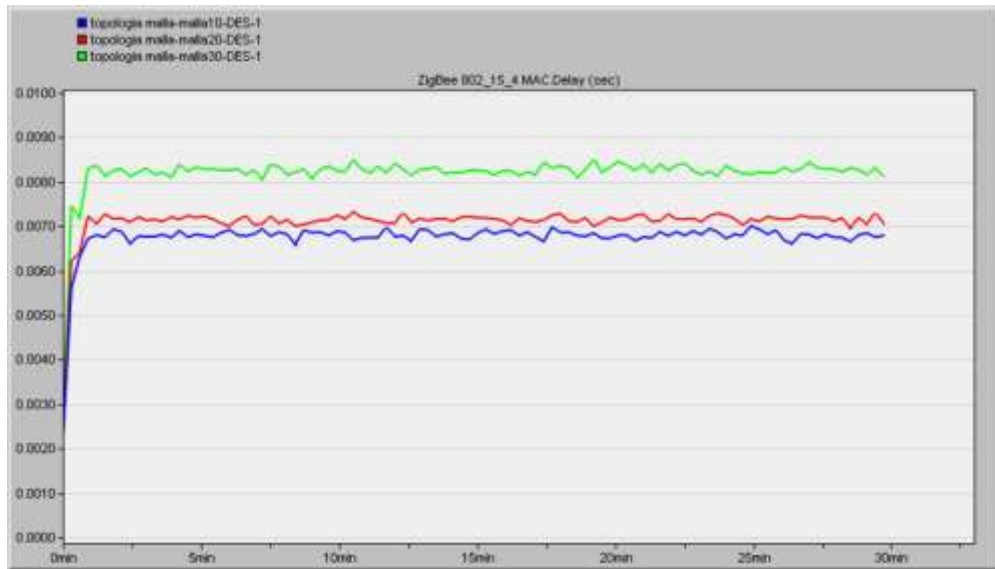
La finalidad es analizar el número de nodos que soportaría la red malla con tecnología Zigbee. Se simuló tres redes, de 10, 20 y 30 nodos finales conectados, en un tiempo de 30 minutos para posteriormente calcular el valor estimado de números de nodos que soportaría la red, en base a los retardos que resulten de cada red simulada, como se muestra en la figura 6-3.



**Figura 6-3:** Topología malla con 10 (a), 20 (b) y 30 (c) nodos

Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

Tomando en cuenta las redes de la figura 6-3 se genera la ventana de resultados de las 3 redes simuladas obteniendo así los valores promedio de retardo, con 10 nodos conectado es de 0.007sec, con 20 nodos el retardo aumenta a 0.0073sec y con 30 nodos se tiene un retardo de 0.0084sec, a mayor número de nodos el retardo presenta un incremento como se aprecia en la figura 7-3.

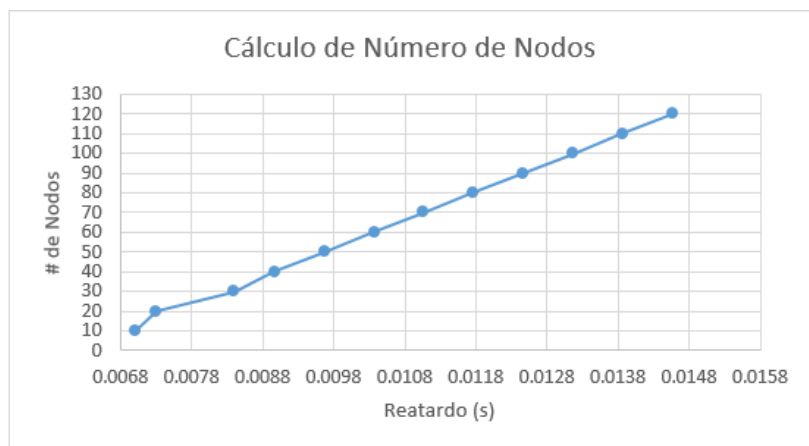


**Figura 7-3:** Retardo de la topología malla con 10 (azul), 20 (rojo) y 30 (verde) nodos.

Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

Tomando los valores de retardos de la figura 7-3 y considerando el parámetro de latencia, el cual señala que, para que una red trabaje en condiciones aceptables el tiempo de demora empleado en cumplir la comunicación en la red no debe ser mayor a 15ms según (Alverca y Berrazueta, 2015, p. 1), se relaciona el número de nodos con el valor de los retardos, obteniendo un número estimado de nodos conectados, en la herramienta Excel versión 2016, como se muestra en la figura 8-3.

Retardo (s)	# Nodos
0.0070	10
0.0073	20
0.0084	30
0.0090	40
0.0097	50
0.0104	60
0.0111	70
0.0118	80
0.0125	90
0.0132	100
0.0139	110
0.0146	120



**Figura 8-3:** Número de nodos a partir del retardo en la red malla.

Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

Al analizar la gráfica de la figura 8-3 se determinó que bajo el parámetro de latencia establecido por la tecnología Zigbee, el número de nodos conectados correspondería a 120 nodos aproximadamente, teniendo en cuenta que el incremento de retardo para 10 nodos conformando una red, inicia con un retardo de 0.007sec.

### 3.1.2 *Cálculo de distancia entre nodos en la red malla*

La finalidad es calcular la distancia mínima aceptable entre nodos, se ha empleado el parámetro Received Signal Strength indicator (RSSI por sus siglas en inglés), indicador de potencia de señal recibida (Vara y Poletto, p. 3) disponible en Zigbee, siendo una escala de referencia que se utiliza para medir la potencia de la antena del módulo receptor. Para obtener el valor del RSSI se utilizó el *software* XCTU versión 6.4.1 (DIGI, 2018), mediante su herramienta “Range Test y a partir de esta referencia se calculó la distancia entre dos nodos. Se empleó la siguiente fórmula 1-3.

$$d = 10^{\frac{RSSI-A}{10n}} \quad \text{Fórmula 1 - 3}$$

Donde:

$n$ : Constante de pérdida en el espacio libre

$d$ : distancia entre nodos transmisor y receptor (metros)

$A$ : RSSI tomada a una distancia de un metro.

Se concluye en base al resultado obtenido que la distancia mínima entre nodos a la que deben encontrarse es de aproximadamente 71m.

### 3.1.3 *Pérdida de paquetes en la red malla*

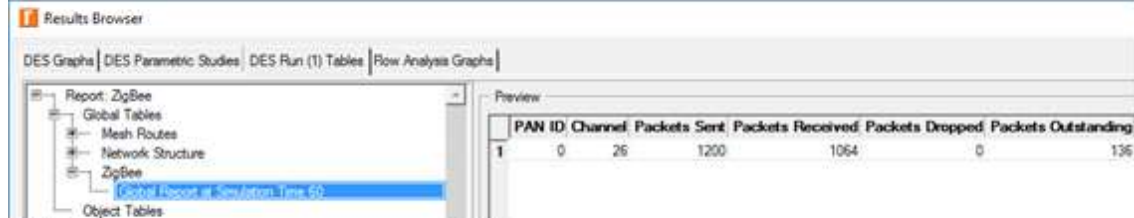
El propósito es analizar el número de paquetes que se pierde en la red, tomando en cuenta el número de nodos conectados en topologías de red malla de 10, 20, 30 hasta 40 nodos, se genera el navegador de resultados del software Riverbed donde se muestran los valores de paquetes enviados y recibidos de cada red, se visualiza en la figura 9-3.



## 10 Nodos



## 20 Nodos



## 30 Nodos



## 40 Nodos



**Figura 9-3:** Número de paquetes enviados y recibidos en la red de 10, 20, 30 y 40 nodos

**Realizado por:** ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

Al analizar la figura 9-3, se obtienen los siguientes resultados con 10 nodos conectados existe un 2.66% de paquetes en espera del total de paquetes enviados, con 20 y 30 nodos un 11.33% y 35.45% respectivamente, a partir de una red con 40 nodos se observa una pérdida de 40 paquetes siendo el 1.6% del total de paquetes enviados, lo que indica que una red de hasta 30 nodos aproximadamente no presentará pérdida de paquetes de datos.

### 3.2 Caracterización del Nodo de Adquisición de Datos

La siguiente evaluación corresponde a los sensores, para lo cual se realizó tres pruebas: calibración de sensores, caracterización de sensores y repetitividad. En la figura 10-3, se observa el NAD con sus componentes incorporados en un gabinete, para proporcionar un resguardo ante cambios ambientales que puedan afectar el desempeño del prototipo.

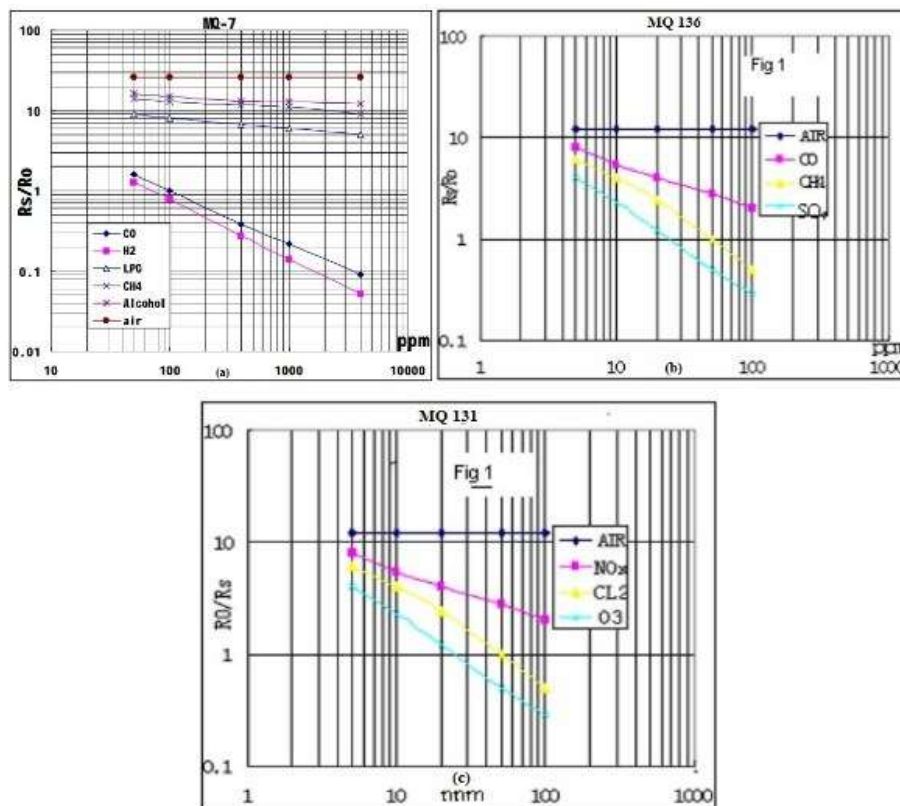


**Figura 10-3:** Componentes (izquierda), NAD implementado (derecha)

Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

### 3.2.1 Calibración de sensores MQ

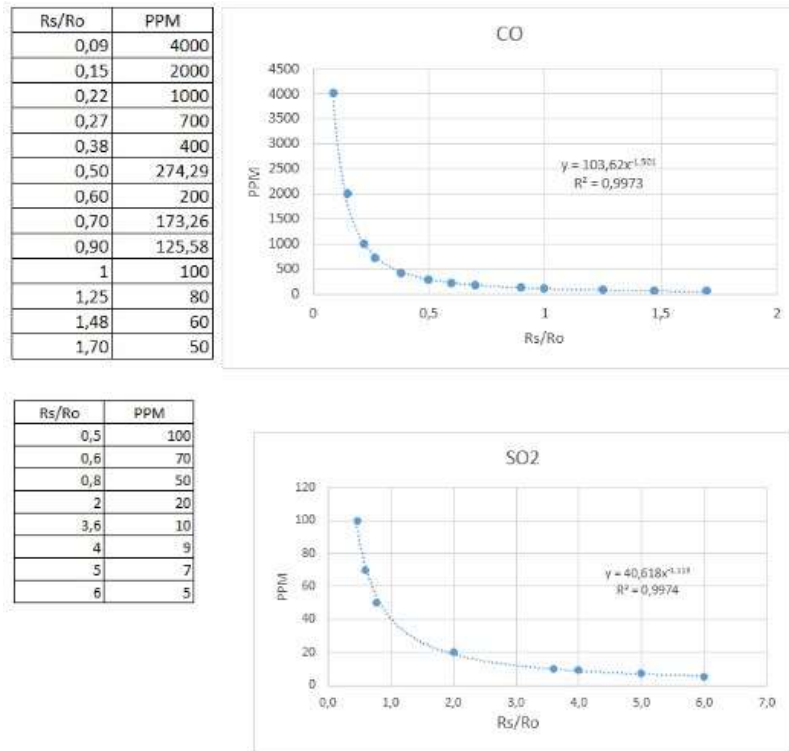
El objetivo es la comprobación del apropiado funcionamiento de los sensores, para ello se realizó el precalentamiento durante 48 horas, posteriormente en base a la hoja de datos de cada sensor (Anexo 1 a 3), se empleó las curvas características de sensibilidad del gas, mostradas en la figura 11-3.



**Figura 11-3:** Curva característica de sensibilidad CO (a), SO2 (b), O3 (c) y NO2 (c)

Fuente: (China-Total, 2017), (Hanwei-Electronics-Co, 2016), (China-Total, 2017)

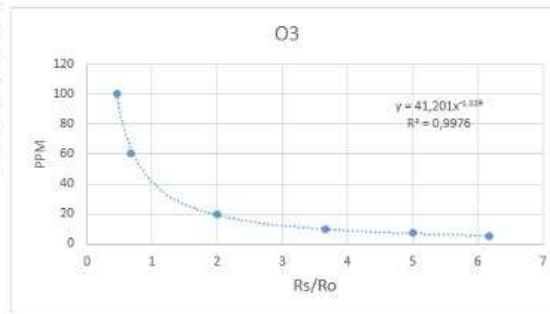
De la figura 11-3, al estimar la curva característica de sensibilidad, se tomó varios puntos de referencia para obtener,  $Y = ax^b$  que es la ecuación de la curva con tendencia potencial de cada gas y el coeficiente de determinación  $R^2$ , indicador de calidad de resultados, mediante Microsoft Excel 2016 como se muestra en las figuras 12-3 y 13-3.



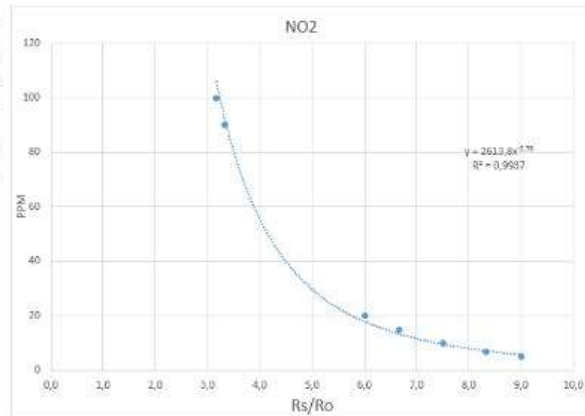
**Figura 12-3:** Curva con tendencia potencial del CO, SO2

Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

Rs/Ro	PPM
0,47	100
0,67	60
2	20
3,7	10
5,0	7
6,2	5



Rs/Ro	PPM
3,2	100
3,3	90
6,0	20
6,7	15
7,5	10
8,3	7
9,0	5



**Figura 13-3:** Curva con tendencia potencial del O3, NO2

Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

Los resultados de la figura 12-3 y figura 13-3, son aplicados en la tabla 1-3, adicionalmente se obtuvo  $R_L$ ,  $R_S$  y  $R_O$  resistencias de los sensores MQ para obtener las señales de salida analógica, empleando las fórmulas 2-3 y 3-3.

$$R_S = \left( \frac{V_c - V_{RL}}{V_{RL}} \right) \cdot R_L \quad \text{Fórmula 2 - 3}$$

$$X = \frac{R_S}{R_O}, \quad \text{Fórmula 3 - 3}$$

Donde:

$R_L$ : Resistencia de carga (recomendada en la hoja de datos)

$R_S$ : Resistencia superficial

$V_C$ : Voltaje de entrada

$V_{RL}$ : Voltaje de salida

$R_O$ : Resistencia interna del sensor

Al aplicar la fórmula 2-3 y 3-3 para todos los sensores se obtuvo los resultados que se adjuntan en la tabla 1-3.

**Tabla 1-3:** Valores para la calibración de sensores MQ.

Sensor del gas	Ecuación de tendencia potencial	Coefficiente de determinación	R <sub>L</sub> (KΩ)	R <sub>S</sub> (Ω)	R <sub>O</sub> (Ω)
CO	$Y = 103,62x^{-1,501}$	0,997	10	425	250
SO <sub>2</sub>	$Y = 40,618x^{-1,113}$	0,997	20	34,44	5,74
O <sub>3</sub>	$Y = 41,201x^{-1,119}$	0,997	15	183	30
NO <sub>2</sub>	$Y = 2613,0x^{-2,78}$	0,993	20	4590	510

Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

En base a la tabla 1-3 se establece que, el coeficiente de determinación tiende a 1 indicando que la curva de tendencia potencial obtenida se ajusta a los datos del sensor, finalmente la ecuación de tendencia potencial, más los valores de las resistencias son utilizados en la calibración del sensor en el programa, para dar cumplimiento al requerimiento de proporcionar lecturas válidas.

### 3.2.2 Caracterización de mediciones de gases contaminantes y material particulado

La prueba se efectuó para determinar si no se incorpora un error adicional por parte del prototipo a los sensores utilizados. Se solicitó apoyo a la alcaldía de Ambato para tener acceso a la Estación de Monitoreo Automático de calidad del Aire, ubicado en el GAD Municipalidad de Ambato. Para la evaluación de los sensores de CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, MP10 y MP2.5 se comparó las mediciones con los resultados diarios generados por los equipos de características similares pertenecientes a la estación. La evaluación de SO<sub>2</sub> y PM01 no se realizó en razón de que no se cuenta con equipos patrones accesibles.

Los equipos referencia utilizados son los denominados: Advanced Pollution Instrumentation Teledyne modelo T204 para O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub>, que posee un rango de medición de 0-1000 ppb para ozono y de 0-20000 ppb para dióxido de nitrógeno, con una precisión de 0,5 (Tapi, 2014). El analizador Teledyne modelo T300 para CO, con rango de medición de 0-1000 ppm con una precisión de 0.5% (Teledyne, 2012), y el equipo Particulate Monitor BAM 1020 para PM10 y PM2.5, con un rango de medición de 0 a 1000 ug/m<sup>3</sup>, con resolución de datos de 1ug/m<sup>3</sup> (Met One Instruments, 2010). En la figura 14-3 se muestran los analizadores mencionados en funcionamiento.



**Figura 14-3:** Equipos de la Estación de Monitoreo Automático del Aire.

**Realizado por:** ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

La caracterización de los sensores del prototipo MyAIR, consistió en mantener en funcionamiento continuo al NAD cerca de los equipos de la estación, en diferentes horarios en tres días, y se obtuvo un total de 25 muestras para su análisis respectivo. Se informa que los errores relativos de los analizadores fueron proporcionados por el Departamento de Gestión Ambiental GADMA, errores obtenidos, según la guía de calidad Hands Book volumen 2 enero 2017 de la EPA (EPA, 2017).

### 3.2.2.1 Caracterización del Sensor de CO

A continuación, en la tabla 2-3 se presentan los datos obtenidos por el sensor de CO del prototipo MyAIR, y por el analizador Teledyne T300 el cual tiene un error relativo de 0,8%. Calculando el porcentaje en su valor equivalente  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , se procedió a la comparación con el error absoluto obtenido.

**Tabla 2-3: Error absoluto del sensor de CO**

<b>N° muestra</b>	<b>REFERENCIA Teledyne T300 CO (ug/m3)</b>	<b>0,8 % Teledyne T300 CO (ug/m3)</b>	<b>Prototipo MyAIR CO (ug/m3)</b>	<b>Error Absoluto CO ug/m3</b>
1	1332,5	10,7	1333,3	0,8
2	1195,1	9,6	1195,9	0,8
3	1081,1	8,6	1080,9	0,2
4	1068,8	8,6	1068,4	0,4
5	1044,8	8,4	1043,6	1,2
6	1092,6	8,7	1093,5	0,9
7	1050,2	8,4	1051,5	1,3
8	1236,7	9,9	1236,9	0,2
9	1182,9	9,5	1182,3	0,6
10	1230,4	9,8	1229,1	1,3
11	1180,4	9,4	1179,8	0,6
12	1180,2	9,4	1179,8	0,4
13	1179,7	9,4	1179,8	0,1
14	1061,2	8,5	1060,5	0,7
15	1062,4	8,5	1062,5	0,1
16	1133,6	9,1	1133,4	0,2
17	1177,1	9,4	1177,8	0,7
18	1156,1	9,2	1155,5	0,6
19	1228,6	9,8	1229,1	0,5
20	1034	8,3	1033	1
21	1148,1	9,2	1148,2	0,1
22	1054,2	8,4	1054,8	0,6
23	1269,1	10,2	1269,7	0,6
24	1222,8	9,8	1222,5	0,3
25	1290,8	10,3	1291,6	0,8

Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

En base a la tabla 2-3, se determina que ninguno de los valores de error absoluto obtenidos, sobrepasa el error de 0,8% perteneciente al analizador Teledyne T300, demostrando que las mediciones de CO son aceptables en relación al analizador avalado.

### 3.2.2.2 Caracterización del Sensor de O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub>

Seguidamente en la tabla 3-3 se muestran los errores absolutos, obtenidos de las mediciones del sensor MQ131 del prototipo y los del analizador Teledyne T204 que presenta un error relativo de

5% para O3 y error de 14% para NO2. Calculando el porcentaje en su valor equivalente ug/m3, se procedió a la comparación con el error absoluto conseguido por cada gas.

**Tabla 3-3:** Errores absolutos del sensor de O3 y NO2

N° Muestra	REFERENCIA Teledyne modelo T204				Prototipo MyAIR		Errores Absolutos	
	O3 ug/m3	NO2 ug/m3	5 % O3 ug/m3	14% NO2 ug/m3	O3 ug/m3	NO2 ug/m3	O3 ug/m3	NO2 ug/m3
1	18,91	3,14	0,95	0,44	18,16	2,92	0,75	0,22
2	20,14	4,25	1,01	0,60	21,00	4,65	0,86	0,40
3	22,84	11,80	1,14	1,65	22,24	11,08	0,60	0,72
4	16,41	13,70	0,82	1,92	17,12	13,44	0,71	0,26
5	26,08	8,18	1,30	1,15	27,14	9,11	1,06	0,93
6	30,35	11,35	1,52	1,59	30,10	12,82	0,25	1,47
7	32,29	6,32	1,61	0,88	31,67	5,82	0,62	0,50
8	27,40	4,83	1,37	0,68	28,41	4,29	1,01	0,54
9	25,55	4,87	1,28	0,68	26,60	4,39	1,05	0,48
10	26,19	2,70	1,31	0,38	26,50	2,46	0,31	0,24
11	24,03	2,88	1,20	0,40	22,99	3,04	1,04	0,16
12	26,87	2,04	1,34	0,29	27,50	2,19	0,63	0,15
13	24,50	1,06	1,23	0,15	24,22	1,00	0,28	0,06
14	24,77	0,92	1,24	0,13	25,19	1,03	0,42	0,11
15	19,21	2,50	0,96	0,35	20,08	2,19	0,87	0,31
16	21,13	1,06	1,06	0,15	20,98	0,97	0,15	0,09
17	18,45	2,12	0,92	0,30	18,23	1,86	0,22	0,26
18	15,40	0,50	0,77	0,07	16,00	0,52	0,60	0,02
19	13,96	0,42	0,70	0,06	14,04	0,39	0,08	0,03
20	29,31	0,97	1,47	0,14	28,53	1,00	0,78	0,03
21	25,28	0,92	1,26	0,13	25,60	1,02	0,32	0,10
22	25,80	1,90	1,29	0,27	26,71	1,79	0,91	0,11
23	21,12	3,55	1,06	0,50	20,13	3,35	0,99	0,20
24	27,17	4,07	1,36	0,57	25,90	3,93	1,27	0,14
25	29,83	7,14	1,49	1,00	31,10	6,38	1,27	0,76

Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

Analizando la tabla 3-3, se concluye que los errores obtenidos de O3 y NO2, no superan los errores del 5% y 14%, lo que indica que el prototipo no incorpora un error, manteniendo el entregado por el propio sensor.



### 3.2.2.3 Caracterización del Sensor de PM10 y PM2.5

De igual forma en la tabla 4-3, se detallan los resultados de error obtenidos por el sensor del prototipo y el equipo BAM 1020, con un error máximo de  $\pm 8$  ug/m<sup>3</sup>. Considerando que el sensor PMS5003 entrega valores enteros.

**Tabla 4-3:** Errores absolutos del sensor de PM10 y PM2.5

N° de Muestra	REFERENCIA Particulate Monitor BAM 1020		Prototipo MyAIR		Errores Absolutos	
	PM2.5 ug/m <sup>3</sup>	PM10 ug/m <sup>3</sup>	PM2.5 ug/m <sup>3</sup>	PM10 ug/m <sup>3</sup>	PM2.5 ug/m <sup>3</sup>	PM10 ug/m <sup>3</sup>
1	2,8	22,1	2	21	0,8	1,1
2	2,1	21,9	2	20	0,1	1,9
3	2	15,2	2	14	0,0	1,2
4	2	18,4	2	18	0,0	0,4
5	2,6	20,6	2	20	0,6	0,6
6	2,7	19,1	3	18	0,3	1,1
7	2,2	15,7	2	16	0,2	0,3
8	2,6	15,3	3	14	0,4	1,3
9	2,4	13,0	2	14	0,4	1,0
10	2,3	7,9	2	6	0,3	1,9
11	2,2	12,6	2	12	0,2	0,6
12	2,1	10,6	1	8	1,1	2,6
13	2,1	8,2	1	6	1,1	2,2
14	1,9	6,4	2	6	0,1	0,4
15	1,9	5,5	2	5	0,1	0,5
16	3,2	5,2	2	5	1,2	0,2
17	3,2	19,9	4	17	0,8	2,9
18	2,8	15,8	3	14	0,2	1,8
19	3,1	17,4	3	15	0,1	2,4
20	3,5	19,6	2	17	1,5	2,6
21	3,8	16,1	3	15	0,8	1,1
22	3	8,2	3	6	0,0	2,2
23	2,1	10,9	2	10	0,1	0,9
24	2,1	16,3	2	15	0,1	1,3
25	3	15,0	3	15	0,0	0,0

Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

En base a los resultados de la tabla 4-3, los errores absolutos oscilan entre 0,1 a 1,5 para PM2.5 y de 0,2 a 2,9 para PM10, se determina que los errores absolutos generados no son errores

representativos indicando que el prototipo diseñado no incorpora un error adicional, manteniendo el error del sensor correspondiente a  $\pm 10$  ug/m<sup>3</sup>.

### 3.2.3 Repetitividad del NAD

La intención de la prueba es determinar la estabilidad del prototipo MyAIR, consistió en obtener 10 muestras en intervalos de un minuto consecutivos, en un ambiente cerrado. Las lecturas se presentan en la tabla 5-3.

**Tabla 5-3:** Repetitividad del NAD.

N° de muestra	Horario	CO ug/m <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> ug/m <sup>3</sup>	O <sub>3</sub> ug/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> ug/m <sup>3</sup>	PM <sub>10</sub> ug/m <sup>3</sup>	PM <sub>2.5</sub> ug/m <sup>3</sup>	PM <sub>1.0</sub> ug/m <sup>3</sup>
1	14:30	885.91	1.27	35.25	0.36	18	3	8
2	14:31	885.91	1.25	36.05	0.36	18	3	8
3	14:32	899.69	1.25	35.88	0.36	19	3	8
4	14:33	859.61	1.23	34.98	0.35	20	3	9
5	14:34	909.02	1.23	34.88	0.34	18	3	8
6	14:35	948.82	1.23	34.68	0.34	19	2	9
7	14:36	948.76	1.21	34.06	0.35	18	3	9
8	14:37	956.7	1.19	33.6	0.35	19	3	9
9	14:38	976.93	1.19	33.26	0.34	18	3	8
10	14:39	976.93	1.17	33.06	0.35	19	3	9
Media Aritmética		924.83	1.22	34.57	0.35	18.60	2.90	8.50
Desviación Estándar		41.84	0.03	1.05	0.008	0.70	0.32	0.53
Coeficiente de Variación		4.5%	2.6%	3.0%	2.3%	3.8%	11%	6.20%

Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

Con los datos recopilados en la tabla 5-3, se realizó un análisis estadístico calculando la media ( $\bar{x}$ ), desviación estándar ( $\sigma$ ) y el coeficiente de variación (CV) (ekuatío, 2017), en los resultados obtenidos se destaca el coeficiente de variación encontrándose de 2.3% a 11%, valores que presentan una variabilidad no mayor al 15% indicando que el prototipo MyAIR es estable de acuerdo a (INE, 2016, p. 5).

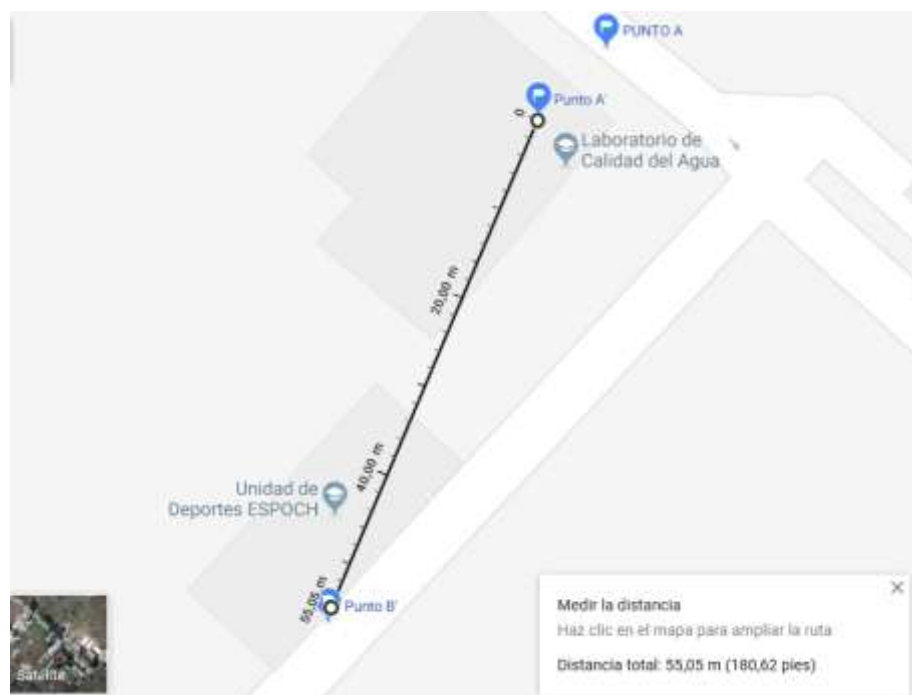
### 3.3 Caracterización de comunicación inalámbrica

La evaluación siguiente tiene el propósito de determinar el alcance y pérdida de datos en la comunicación, consistiendo en tres pruebas: alcance de comunicación RF entre nodos, integridad de datos entre los nodos del prototipo, y comunicación Bluetooth con la aplicación móvil.

### 3.3.1 Alcance de comunicación RF entre los nodos del prototipo

La prueba es para determinar la distancia máxima de comunicación alcanzada por el prototipo. Se evaluó la transmisión/recepción con interferencia y con línea de vista, ubicando los nodos coordinador (NCD) y router (NAD), en el área cercana al Edificio de Investigación de Calidad del Agua – ESPOCH, debido a que presenta condiciones adecuadas para valorar su funcionamiento. Se estableció tramos de 10m hasta cuando los datos no se receptados, la medición se efectuó empleando Google Maps.

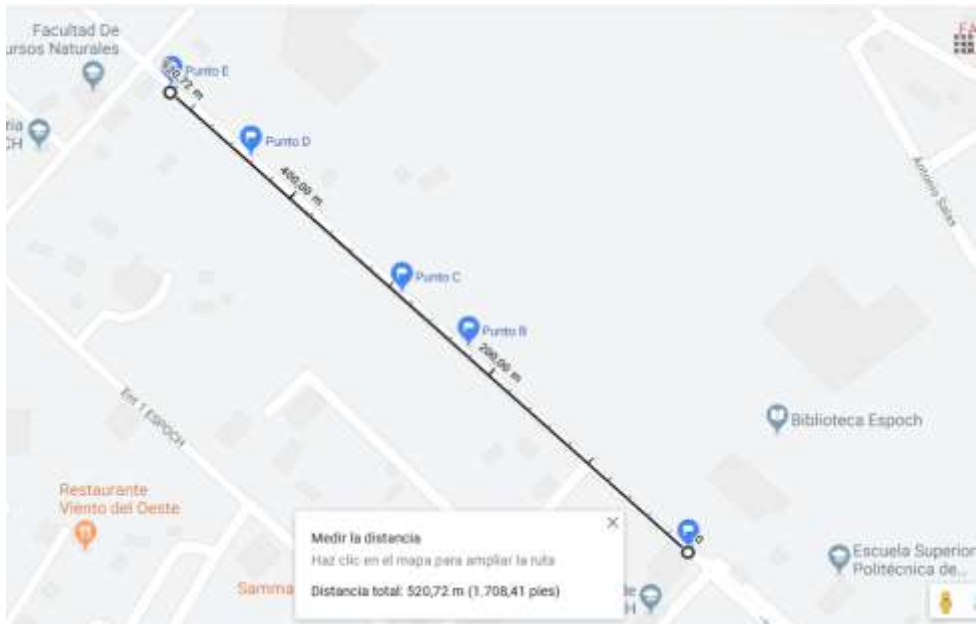
En la figura 15-3 se observa el alcance de comunicación con interferencia. El coordinador se encuentra en el interior del edificio Punto A' y el router en el exterior Punto B'.



**Figura 15-3:** Comunicación RF alcanzada con interferencia

**Realizado por:** ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

En la figura 16-3 se observa la comunicación alcanzada con línea de vista en un área despejada entre el punto A al punto E.



**Figura 16-3:** Comunicación RF alcanzada con línea de vista

Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

Estableciendo las siguientes categorías de comunicación con línea de vista: Excelente de 0 a 220m la red se establece automáticamente y los paquetes de datos son receptados correctamente, Alto de 220 a 290m no existe pérdida de paquetes, Medio de 290 a 425m los paquetes de datos son recibidos con un mínimo retardo, Bajo de 425 a 520m existe pérdida de paquetes y error en los datos recibidos, Nulo de 520 en adelante no se evidencia comunicación entre los nodos. En la tabla 6-3 se resume las categorías de comunicación de radiofrecuencia alcanzada.

**Tabla 6-3:** Alcance de comunicación RF

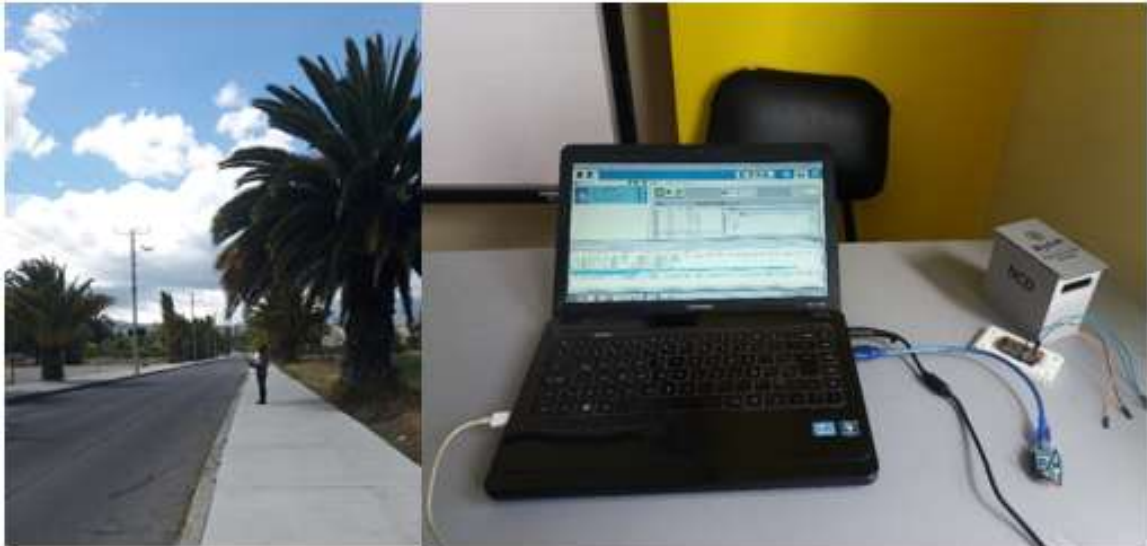
Puntos	Distancia (m)	Calidad señal
A-B	0 - 220	Excelente
B-C	220 – 290	Alto
C-D	290 – 425	Medio
D-E	425 – 520	Bajo
E	>520	Nulo

Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

Se concluye que basado a la figura 15-3, la distancia máxima alcanzada entre el coordinador y el router es de 55m con interferencia y analizando la figura 16-3 y tabla 6-3 la red del prototipo MyAIR tiene una comunicación libre de pérdidas a 425 m con línea de vista.

### 3.3.2 Integridad de comunicación RF entre los nodos del prototipo

Esta prueba se ejecutó para verificar que la trama enviada y recibida entre el router y el coordinador sea la correcta. Se lo realizó supervisando los puertos de comunicación serial mediante *software* Arduino IDE y XCTU en los nodos NAD y NCD respectivamente, como se muestra en la figura 17-3.



**Figura 17-3:** Supervisión de tramas transmitida (derecha) y recibida (izquierda)

**Realizado por:** ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

Se evaluó las tramas transmitidas cada minuto durante cinco horas hasta una distancia de 220 metros perteneciente al rango de excelente de la prueba anterior, obteniendo los resultados mostrados en la tabla 7-3.

**Tabla 7-3:** Trama transmitida y recibida por comunicación RF

N de Trama	Trama Transmitida NAD	Tramas Recibida NCD	
		Hexadecimal	Decimal
1	-1654.9312 / - 78678.7343 / 1 / 288.15 / 1.49 / 30.01 / 12.68 / 3 / 3/2	7E 00 4D 90 00 13 A2 00 41 5C 06 BA EB F5 01 2D 31 36 35 34 2E 39 33 31 32 0D 0A 2D 37 38 36 37 38 2E 37 33 34 33 0D 0A 31 0D 0A 32 38 38 2E 31 35 0D 0A 31 2E 34 39 0D 0A 33 30 2E 30 31 0D 0A 31 32 2E 36 38 0D 0A 33 0D 0A 33 0D 0A 32 0D 0A A0	-1654.9312 / - 78678.7343 / 1 / 288.15 / 1.49 / 30.01 / 12.68 / 3 / 3/2
2	-1654.9659 / - 78678.7343 / 1 / 281.47 / 1.43 / 32.95 / 15.92 / 4 / 2/2	7E 00 4D 90 00 13 A2 00 41 5C 06 BA EB F5 01 2D 31 36 35 34 2E 39 36 35 39 0D 0A 2D 37 38 36 37 38 2E 37 33 34 33 0D 0A 31 0D 0A 32 38 31 2E 34 37 0D 0A 31 2E 34 33 0D 0A 33 32 2E 39 35 0D 0A 31 35 2E 39 32 0D 0A 34 0D 0A 32 0D 0A 32 0D 0A 8B	-1654.9659 / - 78678.7343 / 1 / 281.47 / 1.43 / 32.95 / 15.92 / 4 / 2/2
3	-1655.0379 / - 78678.8750 / 1 / 288.15 / 1.32 / 33.87 / 17.08 / 7 / 2/2	7E 00 4D 90 00 13 A2 00 41 5C 06 BA EB F5 01 2D 31 36 35 35 2E 30 33 37 39 0D 0A 2D 37 38 36 37 38 2E 38 37 35 30 0D 0A 31 0D 0A 32 38 38 2E 31 35 0D 0A 31 2E 33 32 0D 0A 33 33 2E 38 37 0D 0A 31 37 2E 30 38 0D 0A 37 0D 0A 32 0D 0A 32 0D 0A 8D	-1655.0379 / - 78678.8750 / 1 / 288.15 / 1.32 / 33.87 / 17.08 / 7 / 2/2
4	-1654.3946 / - 78678.2500 / 1 / 301.73 / 1.35 / 32.49 / 16.37 / 7 / 2/2	7E 00 4D 90 00 13 A2 00 41 5C 06 BA EB F5 01 2D 31 36 35 34 2E 33 39 34 36 0D 0A 2D 37 38 36 37 38 2E 32 35 30 30 0D 0A 31 0D 0A 33 30 31 2E 37 33 0D 0A 31 2E 33 35 0D 0A 33 32 2E 34 39 0D 0A 31 36 2E 33 37 0D 0A 37 0D 0A 32 0D 0A 32 0D 0A A1	-1654.3946 / - 78678.2500 / 1 / 301.73 / 1.35 / 32.49 / 16.37 / 7 / 2/2
5	-1655.0573 / - 78678.9062 / 1 / 301.73 / 1.32 / 32.80 / 16.14 / 8 / 2/2	7E 00 4D 90 00 13 A2 00 41 5C 06 BA EB F5 01 2D 31 36 35 35 2E 30 35 37 33 0D 0A 2D 37 38 36 37 38 2E 39 30 36 32 0D 0A 31 0D 0A 33 30 31 2E 37 33 0D 0A 31 2E 33 32 0D 0A 33 32 2E 38 30 0D 0A 31 36 2E 31 34 0D 0A 38 0D 0A 32 0D 0A 32 0D 0A A9	-1655.0573 / - 78678.9062 / 1 / 301.73 / 1.32 / 32.80 / 16.14 / 8 / 2/2

Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

De la supervisión realizada y en base a los resultados obtenidos de la tabla 7-3, se confirma que las tramas transmitidas y recibidas por el coordinador son correctas, asegurando integridad en los datos comunicados.

### 3.3.3 Comunicación Bluetooth con la aplicación móvil

Se realizó la prueba para evidenciar que no existan pérdidas de información en la aplicación móvil comunicada vía Bluetooth. Consistió en supervisar los datos generados por el NAD y en un dispositivo móvil conectado que la información enviada a la pantalla principal de la aplicación sea completa y correcta, el procedimiento se muestra en la figura 18-3.



**Figura 18-3:** Datos enviados desde el NAD (izquierda) y datos recibidos en la aplicación móvil (derecha).

Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

El NAD está programado para enviar y actualizar los datos de contaminación cada diez segundos es por ello que se evaluó cinco tramas de datos recibidos durante un minuto a la distancia de 30m. En la tabla 8-3 se muestran los resultados de la prueba obtenidos.

**Tabla 8-3:** Datos enviados desde el NAD a la aplicación móvil.

N de dato	Datos enviados por el NAD	Datos recibidos en la APP
11:30:10	1-94.36 -0.77- 34.98- 19.93-23-16- 10	1-94.36 -0.77- 34.98- 19.93-23-16- 10
11:30:20	1-98.71-0.80-41.14-37.64-20-15-10	1-98.71-0.80-41.14-37.64-20-15-10
11:30:30	1-98.71-0.77-55.25-81.03-10-9-8	1-98.71-0.77-55.25-81.03-10-9-8
11:30:40	1-98.71-0.74-57.98-92.96-13-7-6	1-98.71-0.74-57.98-92.96-13-7-6
11:30:50	1-98.71-0.77-59.00-106.69-12-7-5	1-98.71-0.77-59.00-106.69-12-7-5

Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

A partir de la tabla 8-3, se evidencia que el 100% de los datos son receptados correctamente, en tiempo real con un alcance de 30m, considerando esta información recibida como mensaje de interpretación rápida para el usuario.

### 3.4 Caracterización del Nodo de Control de Datos

La finalidad es verificar el correcto almacenamiento de los datos en la plataforma de internet. Se realizó dos pruebas de registro de datos y visualización en la plataforma. En la figura 19-3 se observa el NCD con sus componentes, implementado.



**Figura 19-3:** Componentes (izquierda) y NCD implementado (derecha).

Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

#### 3.4.1 Registro de datos a Ubidots

La prueba se realizó para confirmar el correcto registro de los datos del NCD en la plataforma de internet. Para ello se envía un grupo de siete datos desde la placa NodeMCU8266 a la plataforma. En la figura 20-3 se muestra una captura de los datos enviados desde la placa wifi y la llegada de los mismos a Ubidots.



**Figura 20-3:** Datos en el IDE de Arduino y en la plataforma.

Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019



Se comprueba que los datos direccionados a la plataforma de internet son receptados y registrados correctamente en tiempo real, manteniendo el orden y variable establecida.

### 3.4.2 Almacenamiento de datos en Ubidots

El propósito es evidenciar el almacenamiento y visualización de la información en la base de datos provista por Ubidots. En la plataforma se puede guardar variables recolectadas de hasta 10 dispositivos y cada variable además de su valor medido puede contener información adicional, denominado contexto; se ha añadido la longitud, latitud y número de nodo en el presente caso. En la figura 21-3 se muestra las variables con sus respectivos datos guardados.

DATE	VALUE	CONTEXT	ACTIONS
2019-01-29 13:13:03-05:00	236.51	["lat":-1.6791,"lng":-78.6637,"NAD":11]	🗑
2019-01-29 13:09:06-05:00	218.25	["lat":-1.6791,"lng":-78.6637,"NAD":11]	🗑
2019-01-29 13:05:04-05:00	212.29	["lat":-1.6791,"lng":-78.6637,"NAD":11]	🗑
2019-01-29 13:01:03-05:00	218.25	["lat":-1.6791,"lng":-78.6637,"NAD":11]	🗑
2019-01-29 12:57:03-05:00	200.59	["lat":-1.6791,"lng":-78.6637,"NAD":11]	🗑
2019-01-29 12:53:03-05:00	212.29	["lat":-1.6791,"lng":-78.6637,"NAD":11]	🗑
2019-01-29 12:49:06-05:00	212.29	["lat":-1.6791,"lng":-78.6637,"NAD":11]	🗑
2019-01-29 12:45:04-05:00	206.41	["lat":-1.6791,"lng":-78.6637,"NAD":11]	🗑
2019-01-29 12:41:04-05:00	194.84	["lat":-1.6791,"lng":-78.6637,"NAD":11]	🗑
2019-01-29 12:33:03-05:00	116.83	["lat":-1.6791,"lng":-78.6637,"NAD":11]	🗑

**Figura 21-3:** Datos almacenados en Ubidots

**Realizado por:** ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

A continuación, se exponen los dashboards que muestran los datos de manera detallada y dinámica de los contaminantes medidos por: ubicación geográfica del dispositivo, valor actual, máximos, mínimos o cuadros comparativos entre dos o más variables como se muestra en la figura 22-3.



**Figura 22-3:** Dashboard con la información de MyAIR.

Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

A la vez, Ubidots a través de los dashboards permite descargar la información en un archivo Excel, definiendo la fecha y contaminante de interés como se muestra en la figura 23-3.

	A	B	C	D
1	human_readable_date	value	context	
2	2019-01-30 07:01:03.196000-05:00	629,34	b{"lat": "-1.6701", "lng": "-78.6637", "NAD": "1"}	
3	2019-01-30 06:57:02.906000-05:00	638,92	b{"lat": "-1.6701", "lng": "-78.6637", "NAD": "1"}	
4	2019-01-30 06:49:06.421000-05:00	648,57	b{"lat": "-1.6701", "lng": "-78.6637", "NAD": "1"}	
5	2019-01-30 06:45:04.360000-05:00	648,57	b{"lat": "-1.6701", "lng": "-78.6637", "NAD": "1"}	
6	2019-01-30 06:37:05.480000-05:00	658,29	b{"lat": "-1.6701", "lng": "-78.6637", "NAD": "1"}	
7	2019-01-30 06:33:04.026000-05:00	668,08	b{"lat": "-1.6701", "lng": "-78.6637", "NAD": "1"}	
8	2019-01-30 06:25:06.362000-05:00	582,47	b{"lat": "-1.6701", "lng": "-78.6637", "NAD": "1"}	
9	2019-01-30 06:21:04.245000-05:00	619,83	b{"lat": "-1.6701", "lng": "-78.6637", "NAD": "1"}	
10	2019-01-30 06:17:04.139000-05:00	601,01	b{"lat": "-1.6701", "lng": "-78.6637", "NAD": "1"}	
11	2019-01-30 06:13:04.816000-05:00	610,38	b{"lat": "-1.6701", "lng": "-78.6637", "NAD": "1"}	
12	2019-01-30 06:09:03.539000-05:00	601,01	b{"lat": "-1.6701", "lng": "-78.6637", "NAD": "1"}	
13	2019-01-30 06:05:04.338000-05:00	582,47	b{"lat": "-1.6701", "lng": "-78.6637", "NAD": "1"}	
14	2019-01-30 06:01:05.195000-05:00	564,21	b{"lat": "-1.6701", "lng": "-78.6637", "NAD": "1"}	
15	2019-01-30 05:57:04.349000-05:00	564,21	b{"lat": "-1.6701", "lng": "-78.6637", "NAD": "1"}	
16	2019-01-30 05:53:03.505000-05:00	573,30	b{"lat": "-1.6701", "lng": "-78.6637", "NAD": "1"}	
17	2019-01-30 05:49:04.964000-05:00	564,21	b{"lat": "-1.6701", "lng": "-78.6637", "NAD": "1"}	
18	2019-01-30 05:45:03.023000-05:00	555,18	b{"lat": "-1.6701", "lng": "-78.6637", "NAD": "1"}	
19	2019-01-30 05:41:06.291000-05:00	564,21	b{"lat": "-1.6701", "lng": "-78.6637", "NAD": "1"}	
20	2019-01-30 05:37:04.244000-05:00	564,21	b{"lat": "-1.6701", "lng": "-78.6637", "NAD": "1"}	
21	2019-01-30 05:33:03.996000-05:00	573,30	b{"lat": "-1.6701", "lng": "-78.6637", "NAD": "1"}	
22	2019-01-30 05:29:05.435000-05:00	555,18	b{"lat": "-1.6701", "lng": "-78.6637", "NAD": "1"}	
23	2019-01-30 05:25:05.120000-05:00	546,21	b{"lat": "-1.6701", "lng": "-78.6637", "NAD": "1"}	

**Figura 23-3:** Datos de CO descargados en Excel.

Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

### 3.5 Alimentación del prototipo MyAIR

Se establece que el prototipo funcione las 24 horas del día de manera continua para medir los contaminantes del aire, para ello se ha considerado realizarlo mediante conexión a la red de energía eléctrica. En la tabla 9-3 se obtiene el consumo de potencia total del prototipo.

**Tabla 9-3** Cálculo de potencia total del prototipo MyAIR

Nodo	Componente	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Potencia (W)	
NAD	Arduino Mega	5	50	0,25	
	Sensor MQ7	5	70	0,35	
	Sensor MQ131	5	180	0,9	
	Sensor MQ136	5	180	0,9	
	Sensor PMS5003	5	100	0,5	
	Módulo GPS	5	55	0,275	
	Módulo XBee	3,3	33	0,1089	
	Bluetooth HC-05	5	50	0,25	
	<b>Corriente requerida del NAD</b>			718 mA	
	<b>Potencia requerida del NAD</b>			3,5339 W	
NCD	Node MCU8266	5	200	1	
	Módulo XBee	3,3	33	0,1089	
	<b>Corriente requerida del NCD</b>			233 mA	
	<b>Potencia requerida del NCD</b>			1,1089 W	
<b>Consumo de potencia total del prototipo MyAIR</b>				4,6428 W	
<b>Capacidad del cargador</b>		10000 mA.			
<b>Duración del cargador en horas</b>		(capacidad de la batería/consumo del dispositivo) *0,7 (10000mA/718mA) *0,7 10 horas			

Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

Se calcula la cantidad de potencia requerida en un mes de treinta días por los nodos NAD y NCD, aplicando la fórmula 4-3 (Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2015)

$$C = \frac{p \cdot h \cdot d}{1000} \quad \text{Fórmula 4 - 3}$$

Donde:

*C*: Consumo en el mes (KWH)

*p*: Potencia del dispositivo a alimentar (W)

*h*: Horas de funcionamiento al día

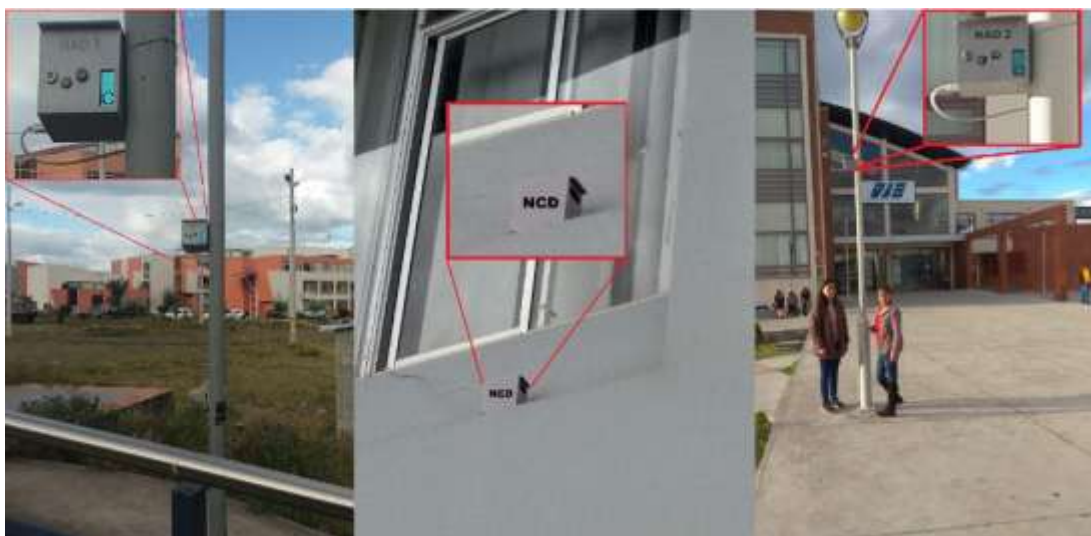
*d*: Días de funcionamiento al mes

Obteniendo como resultado que el consumo de potencia en el mes del NAD es 2,544 KWH/mes y el NCD de 0,798 KWH/mes, con un total de consumo del prototipo de 3.342 KWH/mes, siendo la demanda de energía mayor en el NAD.

En la ciudad de Riobamba se observa que se establecen horarios de suspensión de energía eléctrica que puede durar entre dos a tres horas en un día, en distintas zonas según sean programadas por lo que se optó alimentar el prototipo con un cargador solar portátil durante ese lapso de tiempo (eersa Riobamba, 2019). El cargador con capacidad de 10000 mA/h resulta adecuado debido a que su salida es de 5V-1A. En la tabla 9-3, se procedió al cálculo teórico de duración de la batería, con resultado de 10 horas de alimentación alternativa. Estableciendo que la duración de la batería en autonomía cubre totalmente el tiempo de cortes estándar expuesto, como se muestra en los resultados de corriente total del NAD y NCD igual a 718 y 233 mA, respectivamente.

### 3.6 Funcionamiento del prototipo MyAIR

Una vez validados todos los nodos que conforman el prototipo, se procedió con la prueba de funcionamiento de prototipo, se lo instaló en los alrededores del Edificio de la Facultad de Informática y Electrónica a una distancia de 60 metros NAD 1 y 45 metros NAD 2 con línea de vista al NCD. En la figura 24-3 se muestra el prototipo MyAIR en funcionamiento.



**Figura 24-3:** Prototipo MyAIR funcionando.

**Realizado por:** ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

De las pruebas realizadas se determina que el prototipo en conjunto, no presenta problemas de funcionamiento, cumpliendo con los requerimientos planteados.

### 3.7 Presupuesto del prototipo MyAIR

En la tabla 10-3, se presenta el presupuesto utilizado en la implementación del prototipo MyAIR. Para el análisis se consideró el costo de todos los componentes electrónicos adquiridos, sin considerar la mano de obra.

**Tabla 10-3** Presupuesto del prototipo MyAIR

<b>Nodo</b>	<b>Componentes</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo (USD)</b>
<b>NAD</b>	Sensor MQ7	1	6,00
	Sensor MQ131	1	50,00
	Sensor MQ136	1	43,00
	Sensor PMS5003	1	78,50
	Módulo Convertidor de Nivel Lógico	1	2,50
	Módulo GPS	1	18,00
	Módulo Bluetooth HC05	1	8,00
	Módulo XBee S2C	1	48,00
	Shield de Arduino para XBee	1	14,00
	Arduino Mega	1	17,00
	Gabinete de resguardo	1	10,00
	Cargador Solar Portátil	1	10,00
	Cable de conexión	1	2,00
	<b>Costo del nodo NAD</b>		
<b>NCD</b>	NodeMCU-ESP8266	1	14,00
	Módulo XBee S2C	1	48,00
	Explorer USB	1	12,00
	Gabinete de resguardo	1	5,00
	<b>Costo del nodo NCD</b>		
<b>Costo Total del prototipo MyAir</b>			378,00

Realizado por: ASADOBAY María y PACA Adriana, 2019

Al analizar el presupuesto de la tabla 10-3 se observa que el costo total del prototipo es de \$378, en el que el nodo de adquisición de datos presenta el mayor porcentaje del costo de la implementación con el 79.1%, mientras que el nodo de control de datos representa el 20.9%, del costo total. Se concluye que el prototipo implementado corresponde a un 97.78% de ahorro en relación al costo de equipos comerciales.

## CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó un prototipo de nodos inteligentes integrables a una red inalámbrica para supervisión en línea de contaminantes del aire, constituido por tres nodos: adquisición, control y visualización de información, basado en las tecnologías Bluetooth, Zigbee y Wi-Fi con el fin de mostrar el nivel de contaminantes presentes en el aire en una página web y mediante una aplicación móvil en el área de medición.
- A partir de pruebas de simulación se estableció que la topología malla es la más adecuada para ser empleada en el prototipo MyAIR debido a su mayor capacidad de carga de datos 11000 bits/sec, mayor throughput de 8000 bits/sec y bajo retardo de 0.0005sec, diferencias notables en comparación a su contrario la topología estrella.
- Por simulación se determinó que la topología malla con tecnología Zigbee está en condiciones de integrar redes de hasta 120 nodos a una distancia mínima de 71 metros aproximadamente.
- De las pruebas realizadas al comparar las mediciones con equipos de referencia, se determinó que el prototipo no incorpora un error adicional al generado por los sensores manteniendo errores menores a 0,8% de CO, 5% de O3, 14% de NO2 y un margen de error de +-10ug/m3 en material particulado, concluyendo que el prototipo MyAIR, entrega mediciones confiables con relación a equipos comerciales.
- Aplicando el coeficiente de variación se determina que el prototipo presenta un rango de variabilidad de 2.3% a 11%, lo que indica que no supera el 15% según lo reportado por autores, demostrando la estabilidad del prototipo MyAIR.
- Al evaluar la comunicación de radiofrecuencia se determinó que la distancia alcanzada entre los nodos es de 55 metros con interferencia y de hasta 425 metros con línea de vista libre de pérdidas.
- Se concluye que el prototipo implementado corresponde a un 97.78% de ahorro en relación al costo de equipos comerciales.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda que, en el almacenamiento de datos del prototipo, se continúe con la plataforma activa mediante pago o se implemente una plataforma privada de registro de datos para garantizar seguridad, mayor espacio de almacenamiento y mejores características de administración de los datos.
- Se sugiere desarrollar estudios con la posibilidad de reducción e incorporar los sensores en teléfonos móviles y brinde un servicio más personalizado de supervisión de calidad de aire.
- En futuras investigaciones se invita incorporar sensores de temperatura, humedad, CO<sub>2</sub>, COV como el benceno, butano de manera que se establezca, una red de mejores capacidades en el monitoreo de calidad del aire.
- En el caso de la comunicación inalámbrica se recomienda emplear transceptores con antenas de mayor ganancia para obtener un mayor alcance de comunicación si así lo requiere el establecimiento de la red.
- Se recomienda emplear los datos históricos en procesos de análisis por personal experto en el área, con el fin promover modelos matemáticos para la toma de decisiones que contribuyan en la mejora de la calidad de aire.

## BIBLIOGRAFIA

**AFEL**. [en línea]. 2018. [Consulta: 23 octubre 2018]. Disponible en: <https://afel.cl/producto/gps-ublox-neo-6m-v2-con-memoria-eeeprom/?v=3fd6b696867d>.

**AIR VISUAL**, AirVisual | Air quality information you can trust. [en línea]. 2018. [Consulta: 16 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.airvisual.com/>.

**ALPHASENSE**, Particulates. [en línea]. 2013a. [Consulta: 8 junio 2018]. Disponible en: <http://www.alphasense.com/index.php/products/optical-particle-counter/>.

**ALPHASENSE**, Products. [en línea]. 2013b. [Consulta: 8 junio 2018]. Disponible en: <http://www.alphasense.com/index.php/air/products/>.

**Alphasense Air**, Alphasense air-SENSOR FOR AIR QUALITY NETWORKS. [en línea]. 2015. [Consulta: 8 febrero 2019]. Disponible en: [http://www.alphasense.com/index.php/products/nitrogen-dioxide-2/?fbclid=IwAR1kiRizWWpO-SQySAqntSRkBzTtDT-\\_NWI9Ly-RN1IUNURrEFsAhyPvBp4](http://www.alphasense.com/index.php/products/nitrogen-dioxide-2/?fbclid=IwAR1kiRizWWpO-SQySAqntSRkBzTtDT-_NWI9Ly-RN1IUNURrEFsAhyPvBp4).  
Alverca, Y. Y Berrazueta, F., ZIGBEE COMO UNA APLICACIÓN A LA DOMOTICA , Y EL ESTANDAR IEEE 802.15.4. [en línea], 2015. p. 1. Disponible en: [http://clusterfie.epn.edu.ec/ibernal/html/CURSOS/Oct05Marzo06/In-alambricas/Trabajo1/Paper/Proyecto1\\_g2.pdf](http://clusterfie.epn.edu.ec/ibernal/html/CURSOS/Oct05Marzo06/In-alambricas/Trabajo1/Paper/Proyecto1_g2.pdf).

**Ambiente, S. de**, Contaminantes comunes del Aire y sus Efectos sobre la Sallud Humana. [en línea]. S.l.: 2016. Disponible en: [http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria\\_Ambiente/red\\_monitoreo/informacion/contaminantes\\_aire\\_efec\\_salud.pdf](http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/contaminantes_aire_efec_salud.pdf).

**AQMD**, AQMD-Manual. [en línea]. S.l.: 2016. [Consulta: 22 octubre 2018]. Disponible en: [http://www.aqmd.gov/docs/default-source/aq-spec/resources-page/plantower-pms5003-manual\\_v2-3.pdf](http://www.aqmd.gov/docs/default-source/aq-spec/resources-page/plantower-pms5003-manual_v2-3.pdf).

**Arduino**, Arduino.cl. [en línea]. 2018a. [Consulta: 22 abril 2018]. Disponible en: <http://arduino.cl/que-es-arduino/>.

**Arduino**, Arduino - Software. [en línea]. 2018b. [Consulta: 8 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>.



**Azzola Francesco**, DZone. [en línea]. 2018. [Consulta: 8 noviembre 2018]. Disponible en: <https://dzone.com/articles/10-arduino-ide-alternatives-to-start-programming>.

Bassi Clara, Contaminación atmosférica y cáncer de pulmón | EROSKI CONSUMER. [en línea]. 2013. [Consulta: 15 mayo 2018]. Disponible en: [http://www.consumer.es/web/es/salud/investigacion\\_medica/2013/08/23/217490.php](http://www.consumer.es/web/es/salud/investigacion_medica/2013/08/23/217490.php).

**Bricogeek**, [en línea]. 2016. [Consulta: 22 junio 2018]. Disponible en: <http://tienda.bricogeek.com/modulos-bluetooth/800-modulo-bluetooth-hc-05.html>.

BSC, B.S.C., Sistema CALIOPE. Descripción. [en línea]. 2015. [Consulta: 19 mayo 2018]. Disponible en: <http://www.bsc.es/calioppe/es/descripcion>.

**CAPCOG**, Air Central Texas. [en línea]. 2015. [Consulta: 30 octubre 2018]. Disponible en: <https://aircentraltexas.org/es/calidad-del-aire/ozono-troposferico>.

Cárdenas, A., Secmotic. [en línea]. 2016. [Consulta: 26 enero 2019]. Disponible en: <https://secmotic.com/plataforma-iot/>.

**Carignano, M.F.**, NFC (Near Field Communication). [en línea], 2017. p. 19. [Consulta: 16 mayo 2018]. Disponible en: <https://rdu.iua.edu.ar/handle/123456789/462>.

**Carranco, S.**, Sistema de monitoreo de calidad del aire y ruido ambiental para la determinación de índices de contaminación basado en redes inalámbricas de sensores. *hasdbjaskjbsad*, 2017.

China-Total, China-Total. [en línea]. S.l.: 2017. [Consulta: 22 octubre 2018]. Disponible en: <http://www.china-total.com/Product/meter/gas-sensor/MQ136.pdf>.

**Chio Cho Nayibe, Tibaduiza Burgos Diego Alexander, A.Z.L.C. Y Caro Ortiz, L.M.**, Redes de Sensores. *II congreso Hogar Digital* [en línea], 2014. p. 3-5. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Diego\\_Tibaduiza\\_Burgos/publication/267214014\\_Red\\_de\\_sensores\\_inalambricos/links/5451077a0cf24884d886f4e9/Redes-de-sensores-inalambricos.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Diego_Tibaduiza_Burgos/publication/267214014_Red_de_sensores_inalambricos/links/5451077a0cf24884d886f4e9/Redes-de-sensores-inalambricos.pdf).

**Chuet Juan**, NO<sub>2</sub>, el peligroso contaminante que afecta a la capacidad de atención de los niños. [en línea]. 2017. [Consulta: 15 mayo 2018]. Disponible en: <http://www.lavanguardia.com/natural/20170226/42280025427/no2-dioxido-de-nitrogeno-peligroso.html>.

**CNN ESPAÑOL**, El aire sucio de América Latina. [en línea]. 2017. [Consulta: 19 mayo 2018]. Disponible en: <http://cnnespanol.cnn.com/2017/05/22/el-aire-sucio-de-america-latina/#0>.

**Corona, L., Abarca, G. Y Mares, J.**, *Sensores y actuadores Aplicaciones con Arduino* [en línea]. Primera. México: s.n. 2014. [Consulta: 14 mayo 2018]. ISBN 9786074388008. Disponible en: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/espochsp/reader.action?docID=4569609&query=>.

**Da Paz Teixeira, J.O.**, *Una Red de Sensores para las Smart Cities*. S.l.: s.n. 2015.

**Del Valle Hernández, L.**, Programarfácil. [en línea]. 2018. [Consulta: 14 enero 2019]. Disponible en: <https://programarfácil.com/podcast/nodemcu-tutorial-paso-a-paso/>.

**DFROBOT**, DFRobot Distributor | Mouser México. [en línea]. 2016. [Consulta: 12 junio 2018]. Disponible en: <https://www.mouser.mx/dfrobot/>.

**Díaz, V.**, Informe de la calidad de aire-2016. [en línea], 2017. p. 15. Disponible en: [http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria\\_Ambiente/red\\_monitoreo/informacion/ICA2016.pdf](http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/ICA2016.pdf).

**Didácticas Electrónicas**, Didácticas Electrónicas. [en línea]. 2017. [Consulta: 21 octubre 2018]. Disponible en: <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/sensores/sensor-de-ozono-mq131-gas-sen-ozono-2-detail>.

**Digi-Key Electronics**, Distribuidor DFRobot | DigiKey Electronics. [en línea]. 2018. [Consulta: 12 junio 2018]. Disponible en: <https://www.digikey.com/es/supplier-centers/d/dfrobot>.

**DIGI, DIGI**. [en línea], 2018. [Consulta: 8 octubre 2018]. Disponible en: [https://www.digi.com/pdf/ds\\_xbee-s2c-802-15-4.pdf](https://www.digi.com/pdf/ds_xbee-s2c-802-15-4.pdf).

**DIGI, XCTU** - Next Gen Configuration Platform for XBee/RF Solutions - Digi International. [en línea]. 2018. [Consulta: 24 julio 2018]. Disponible en: <https://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/xctu-software/xctu>.

**EINSTRONIC**, INTRODUCTION to NodeMCU ESP8266. *Einstronic* [en línea], 2017. ISSN 0717-6163. DOI 10.1016/B978-0-240-81203-8.00002-7. Disponible en: <https://einstronic.com/wp-content/uploads/2017/06/NodeMCU-ESP8266-ESP-12E-Catalogue.pdf>.

**EKUATIO**, ▷ Desviación media, varianza y desviación típica. Ejercicios resueltos. [en línea]. 2017. [Consulta: 12 febrero 2019]. Disponible en: <https://ekuat.io/medidas-de-dispersion->

recorrido-desviacion-media-varianza-y-desviacion-tipica/.

**ELECTRONILAB**, [en línea]. 2017. [Consulta: 23 abril 2018]. Disponible en: <https://electronilab.co/tienda/nodemcu-board-de-desarrollo-con-esp8266-wifi-y-lua/>.

**EPA**, QA Handbook for Air Pollution Measurement Systems Volume II Ambient Air Quality Monitoring Program. [en línea]. 2017. [Consulta: 20 febrero 2019]. Disponible en: [https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P100FUYK.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA](https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P100FUYK.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2006) &Index=2006 Thru 2010&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQField.

**FIGARO**, Products - FIGARO USA,INC. [en línea]. 2014. [Consulta: 11 junio 2018]. Disponible en: <http://www.figarosensor.com/products/>.

**G.M. ELECTRONICA**, G.M. ELECTRONICA S.A. [en línea]. 2018. [Consulta: 19 octubre 2018]. Disponible en: <http://www.gmelectronica.com.ar/catalogo/pag41.html>.

**Gusqui, Y.**, *DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE RED WSN PARA EL MONITOREO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE CO2 EXISTENTE EN EL CENTRO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA* [en línea]. S.l.: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2017. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8001>.

**Hanwei-Electronics-Co**, MQ131 Semiconductor Sensor for Ozone. [en línea], 2016. Disponible en: <http://www.cooking-hacks.com/skin/frontend/default/cooking/pdf/MQ-131.pdf>.

**HETPRO**. [en línea], 2017. [Consulta: 22 abril 2018]. Disponible en: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/que-es-raspberry/>.

**ICM ELECTRONICS**, XBee.cl. [en línea]. 2017. [Consulta: 7 febrero 2019]. Disponible en: <https://xbee.cl/xbee-explorer-usb/>.

**INE**, I.N. de E., Coeficiente de variación y error asociado al estimador Encuesta Nacional de Empleo (ENE). [en línea], 2016. p. 5. Disponible en: [http://historico.ine.cl/ene/files/pdf/anexo\\_estadistico\\_coeficiente\\_de\\_variacion\\_y\\_error\\_asociado\\_al\\_estimador\\_v20160429.pdf](http://historico.ine.cl/ene/files/pdf/anexo_estadistico_coeficiente_de_variacion_y_error_asociado_al_estimador_v20160429.pdf).

**INSPIRACTION**, Contaminación del aire. [en línea], 2009. [Consulta: 17 abril 2018]. Disponible en: <https://www.inspiration.org/cambio-climatico/contaminacion/contaminacion-del-aire>.

**IONOS**, Digital Guide. [en línea]. 2018. [Consulta: 8 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/arduino-vs-raspberry-pi/>.

**IQCA**, I.Q. de C. de A., Índice quiteño de la calidad del aire. [en línea], 2015. Disponible en: [http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria\\_Ambiente/red\\_monitoreo/informacion/iqca.pdf](http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/iqca.pdf).

**ITEAD STUDIO**, HC-05-Bluetooth to Serial Port Module. [en línea]. S.l.: 2015. [Consulta: 18 febrero 2019]. Disponible en: [https://components101.com/sites/default/files/component\\_datasheet/HC-05\\_Datasheet.pdf](https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/HC-05_Datasheet.pdf).

Jadiaz, Arduino. [en línea]. 2016. [Consulta: 1 mayo 2018]. Disponible en: <http://www.iescamp.es/miarduino/2016/01/21/placa-arduino-uno/>.

**Javier, N.**, Hacklab Almería. [en línea]. 2017. [Consulta: 17 febrero 2019]. Disponible en: <https://foro.hacklabalmeria.net/t/comparativa-sensores-humedad-del-suelo/9053>.

**Kurawar, A., Koul, A. Y Patil, V.**, Survey of Bluetooth and Applications. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology* [en línea], 2014. p. 2832-2837. Disponible en: <http://ijarcet.org/wp-content/uploads/IJARCET-VOL-3-ISSUE-8-2832-2837.pdf>.

**Llamas Luis**, Detector de gases con Arduino y la familia de sensores MQ. [en línea]. 2016. [Consulta: 11 junio 2018]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/arduino-detector-gas-mq/>.

**LMNEUQUEN**, lmneuquen.com. [en línea]. 2016. [Consulta: 15 mayo 2018]. Disponible en: <https://www.lmneuquen.com/el-tabaco-y-su-renombrado-gas-toxico-el-humo-n526212>.

**MANTECH.CO**, Arduino Mega 2560. [en línea], 2016. Disponible en: <http://www.mantech.co.za/datasheets/products/a000047.pdf>.

**Martín, G.**, Programarfacil. [en línea]. 2017. [Consulta: 14 enero 2019]. Disponible en: <https://programarfacil.com/esp8266/proyectos-con-esp8266-iot/>.

**Mercado Libre**, [en línea]. 2018. [Consulta: 15 enero 2019]. Disponible en:

[https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-418397219-cargador-portatil-para-celulares-con-panel-solar-integrado-\\_JM?quantity=1](https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-418397219-cargador-portatil-para-celulares-con-panel-solar-integrado-_JM?quantity=1).

**MET ONE INSTRUMENTS**, Bam 1020 Particulate Monitor With BX-970 Touch Screen Display Operation Manual - BAM-1020-9803 REVISION K. [en línea], 2010. Disponible en: [https://metone.com/wp-content/uploads/2017/08/bam-1020-9803\\_touch\\_screen\\_manual\\_rev\\_k.pdf](https://metone.com/wp-content/uploads/2017/08/bam-1020-9803_touch_screen_manual_rev_k.pdf).

**Ministerio De Energía Y Recursos Naturales No Renovables, Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables**. [en línea]. 2015. [Consulta: 12 febrero 2019]. Disponible en: <http://www.centrosur.gob.ec/calcular-consumo>.

**MIT APP INVENTOR**, MIT App Inventor. [en línea]. 2018. [Consulta: 7 febrero 2019]. Disponible en: <http://appinventor.mit.edu/explore/>.

**Montes Gabriel**, REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS (WSN). [en línea]. 2012. [Consulta: 16 abril 2018]. Disponible en: <http://redesdesensoreswsn.blogspot.com/2012/07/redes-de-sensores-inalambricas-wsn-upt.html>.

**Morales Gordon, J.L.**, Control para la navegación pre-programada de trayectorias de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) aplicado a la supervisión y transmisión en línea de la calidad del aire. [en línea], 2016. Disponible en: <http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/6065>.

**NAYLAMP MECHATRONICS**, 2016 [en línea]. [sin fecha]. [Consulta: 25 junio 2018]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/inalambrico/153-nodemcu-esp8266.html>.

**(NECA)**, N.E. de calidad del aire, Norma ecuatoriana de calidad del aire. [en línea], 2017. [Consulta: 23 abril 2018]. Disponible en: <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/norma-ecuatoriana-de-la-calidad-del-aire>.

**News America Digital**, News America Digital. [en línea]. 2018. [Consulta: 26 enero 2019]. Disponible en: <https://news.america-digital.com/iot-plataformas-implementacion-exitosa/>.

**OMEGA TM**. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 15 abril 2018]. Disponible en: <https://es.omega.com/prodinfo/sensores-inalambricos-transmisores.html>.

**Ortega Castro, J. Y García Abad, R.**, Medición de los niveles de contaminación de CO y CO<sub>2</sub>,

a través de un sistema electrónico basado en PLC's, para el monitoreo de la calidad del aire en la Universidad Católica de Cuenca, Sede Azogues. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo - RIAT* [en línea], 2015. p. 217-224. ISSN 0718-235X. DOI 10.4067/riatvol110iss2pp217-224%0718-235X. Disponible en: <http://riat.ugal.cl/index.php/test/article/view/285>.

**Paho & Who**, Ambient Air Pollution. [en línea]. 2017. [Consulta: 25 abril 2018]. Disponible en: [http://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12918%3A2017-ambient-air-pollution&catid=2619%3Aenvironmental-health&Itemid=42246&lang=eshttps://www.google.com.ec/?gfe\\_rd=cr&dcr=0&ei=FyKgWovqJNPLXrbHqJAK](http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12918%3A2017-ambient-air-pollution&catid=2619%3Aenvironmental-health&Itemid=42246&lang=eshttps://www.google.com.ec/?gfe_rd=cr&dcr=0&ei=FyKgWovqJNPLXrbHqJAK).

**Palacios E., J.**, *UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE &quot;DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES (WSN) CON TECNOLOGÍA 802.15.4, BASADO EN EL CONCEPTO AGRICULTURA DE PRECISIÓN PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE CULTIVOS DE HORTALIZAS BAJO INVERNADERO EN LA GRANJA LA PRADERA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE&quot;*; [en línea]. S.l.: s.n. 2017. [Consulta: 29 enero 2019]. Disponible en: [http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6699/1/04\\_RED\\_153\\_TRABAJO\\_DE\\_GRADO.pdf](http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6699/1/04_RED_153_TRABAJO_DE_GRADO.pdf).

**PARALLAX-DATASHEET**, Parallax-Datasheet. [en línea]. S.l.: 2017. [Consulta: 22 octubre 2018]. Disponible en: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>.

**Paredes Vinueza, M.N.**, *Implementación de un prototipo de WSN con nodos inteligentes para el sistema de riego aplicado a la agricultura de precisión para el CER – ESPOCH*. [en línea]. S.l.: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2017. [Consulta: 16 mayo 2018]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7956>.

**Pastor, J.**, Raspberry Pi 3 B. [en línea]. 2018. [Consulta: 1 mayo 2018]. Disponible en: <https://www.xataka.com/ordenadores/raspberry-pi-3-model-b-analisis-mas-potencia-y-mejor-wifi-para-un-minipc-que-sigue-asombrando>.

**Peñaloza García, Y.M.**, *Diseño e implementación de un sistema prototipo digitalizador de señales sísmicas, empelando tecnología ZigBee para la Red Sísmica del Austro*. [en línea], 2018. [Consulta: 15 mayo 2018]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30329>.

**Perez, S.**, *Enlace Zigbee para la Gestión de un Sistema de Alumbrado Basado en LEDs (Link*

*ZigBee for the Management of a Lighting System Based on LEDs*) [en línea]. S.l.: s.n. 2015. [Consulta: 14 enero 2019]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/7714/378446.pdf;sequence=1>.

**PLANTOWER**, The Plantower PMS5003 and PMS7003 Air Quality Sensor experiment. [en línea]. 2017. [Consulta: 8 febrero 2019]. Disponible en: [https://aqicn.org/sensor/pms5003-7003/?fbclid=IwAR36UXJXOGP7Jm0NbqhdRfsN3WhaGi0laGI5RUnPzVAcMNO-AVgt9GJQL\\_Y](https://aqicn.org/sensor/pms5003-7003/?fbclid=IwAR36UXJXOGP7Jm0NbqhdRfsN3WhaGi0laGI5RUnPzVAcMNO-AVgt9GJQL_Y).

**PROMETEC**, Prometec. [en línea]. 2016. [Consulta: 8 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.prometec.net/los-nuevos-modelos-de-esp8266/>.

**Requena, A., Quintanilla, R., Bolarín, J.M., Vázquez, A., Bastida, A., Zúñiga J. Y L.M.**, Programa de Actualización y Especialización "Nuevas Tecnologías y Contaminación de Atmósferas para PYMEs" [en línea]. 2015. [Consulta: 17 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.um.es/LEQ/Atmosferas/index.htm>.

**Richarte, J.**, *Servicio Técnico 20: Redes Wi-Fi: Curso visual y práctico: PCS • NOTEBOOKS • REDES • MOBILE • Y MÁS* [en línea]. REDUSERS. S.l.: s.n. 2018. [Consulta: 23 abril 2018]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=NipNDwAAQBAJ&pg=PA1&dq=wi+fi+tecnologia+inalámbrica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjJhcPUt9DaAhVMzFMKHfO5AnEQ6AEIQjAG#v=onepage&q=wi fi tecnologia inalámbrica&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=NipNDwAAQBAJ&pg=PA1&dq=wi+fi+tecnologia+inalámbrica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjJhcPUt9DaAhVMzFMKHfO5AnEQ6AEIQjAG#v=onepage&q=wi%20fi%20tecnologia%20inalámbrica&f=false).

**Ricoy R. Antonio**, App Inventor. [en línea]. 2016. [Consulta: 15 noviembre 2018]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/appinventormegusta/primeros-pasos>.

**Riverbed Support**, Riverbed Modeler. [en línea]. 2018. [Consulta: 9 febrero 2019]. Disponible en: <https://support.riverbed.com/content/support/software/steelcentral-npm/modeler-index.html>.

**Ro-Botica Global S. L.**, RO-BOTICA. [en línea]. 2017. [Consulta: 14 enero 2019]. Disponible en: <https://ro-botica.com/Producto/Modulo-XBee-Arduino/>.

**Rodríguez, E., Lopez, V.**, DISTRITAL, U. y JOSÉ DE CALDAS, F., *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA INTELIGENTE PARA UN EDIFICIO MEDIANTE IOT UTILIZANDO EL PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN LORAWAN* [en línea]. S.l.: s.n. 2017. [Consulta: 14 enero 2019]. Disponible en:

<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/7394/1/RodriguezMorenoEdwardStiven2017.pdf>.

**Saqui, J.**, *IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO INALÁMBRICO PARA SUPERVISIÓN, AVISO Y CONTROL DE GASES CONTAMINANTES EN INVERNADEROS ARTESANALES*. S.l.: s.n. 2018.

**Super Mavster**, Descargar e Instalar Proteus 8.7 Full + Librerías | Supermavster. [en línea]. 2018. [Consulta: 19 febrero 2019]. Disponible en: <https://supermavster.com/post/software-proteus-87#content>.

**TAPI**, T.A.P.I., Nitrogen Oxides + O<sub>3</sub> Analyzer. [en línea], 2014. Disponible en: <http://www.teledyne-api.com/prod/Downloads/07889A - T204 Operation Manual.pdf>.

**TAPONAZUL**, Taponazul. [en línea]. 2017. [Consulta: 30 octubre 2018]. Disponible en: <http://taponazul.com/2017/11/03/la-calidad-del-aire-pone-en-serio-peligro-nuestra-salud/>.

**TELEDYNE**, A., Carbon Monoxide Analyzer. [en línea], 2012. Disponible en: <http://www.teledyne-api.com/prod/Downloads/06864D - T300%26T300M Manual.pdf>.

**THINGSPEAK**, Aprendiendo Arduino. [en línea]. 2017. [Consulta: 29 enero 2019]. Disponible en: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/thingspeak/>.

**Toquica, L. Y Guzman, L.**, *Desarrollo de Sistema de Seguridad para Automóviles con IOT y Smartphone* [en línea]. S.l.: UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA ELECTRÓNICA. 2016. [Consulta: 8 febrero 2019]. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/2750/1/GuzmánRuizMichaelLeandro2016.pdf>.

**Torres B., C.J.**, Metodología Orientada a Prototipos. [en línea]. 2019. [Consulta: 13 febrero 2019]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/235836608/Metodologia-Orientada-a-Prototipos>.

**U-BLOX**, R7\_GY-NEO6MV2-GPS-Module-Datasheet. [en línea], 2016. Disponible en: [https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6\\_DataSheet\\_\(GPS.G6-HW-09005\).pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005).pdf).



**UBIDOTS**, [en línea]. 2016. [Consulta: 17 febrero 2019]. Disponible en: <https://ubidots.com/docs/devices/#devices>.

**UBIDOTS**, [en línea]. 2018. [Consulta: 30 octubre 2018]. Disponible en: <https://ubidots.com/about/>.

**UBIDOTS**, IoT platform | Internet of Things | Ubidots. [en línea]. 2019. [Consulta: 8 febrero 2019]. Disponible en: <https://ubidots.com/>.

**Vara, N. Y Poletto, G.A.**, Función Del Parámetro Rssi. [en línea], [sin fecha]. p. 3. Disponible en: <http://revistas.unne.edu.ar/index.php/eitt/article/view/275/241>.

**Vazquez, E.**, Contaminación del aire: causas, consecuencias y soluciones - EcoSiglos. [en línea]. 2017. [Consulta: 1 mayo 2018]. Disponible en: <https://www.ecosiglos.com/2017/09/contaminacion-del-aire-causas-consecuencias-y-soluciones.html>.

**Vela, A.**, Estudio de la Agricultura de Precisión Enfocado en la Implementación de una Red de Sensores Inalámbricos (WSN) para el Monitoreo de Humedad y Temperatura en Cultivos. *Revista Politécnica-Abril* [en línea], 2016. p. 3. [Consulta: 8 junio 2018]. Disponible en: [http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11112/Artículo científico Andrés Vela-Revista EPN.PDF?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11112/Artículo%20científico%20Andrés%20Vela-Revista%20EPN.PDF?sequence=1&isAllowed=y).

**Vera, C., Barbosa, J. Y Pabón, D.**, La Tecnología ZigBee estudio de las características de la capa física. *Scientia et Technica Año XXII* [en línea], 2017. p. 1-2. ISSN 0122-1701. Disponible en: <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/viewFile/9831/10581>.

**WiMAX - Banda Ancha**. [en línea], 2014. [Consulta: 23 abril 2018]. Disponible en: <http://www.minetad.gob.es/telecomunicaciones/banda-ancha/tecnologias/inalambrico/Paginas/WiMAX.aspx>.

# ANEXOS

## Anexo 1: Hoja de especificaciones técnicas 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
V <sub>cc</sub>	Power supply voltage	5V ± 0.1	Ac or Dc
V <sub>cc(H)</sub>	Heating voltage (High)	5V ± 0.1	Ac or Dc
V <sub>cc(L)</sub>	Heating voltage (Low)	1.4V ± 0.1	Ac or Dc
R <sub>L</sub>	Load resistance	Can adjust	
R <sub>0</sub>	Heating resistance	110 ± 5%	Room temperature
T <sub>heat</sub>	Heating time (High)	600 ± 1 seconds	
T <sub>cool</sub>	Heating time (Low)	80 ± 1 seconds	
PH	Heating consumption	About 1.5Watt	

##### B. Environment condition

Symbol	Parameter	Technical condition	Remark
T <sub>op</sub>	Using temperature	-20°C ~ 50°C	
T <sub>stg</sub>	Storage temperature	-20°C ~ 60°C	Advice using scope
RH	Relative humidity	Less than 95%RH	
O <sub>2</sub>	Oxygen concentration	21% natural condition No oxygen concentration can affect the sensitivity characteristic.	Minimum value is over 2%

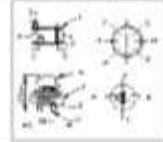
##### C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter	Technical parameters	Remark
R <sub>0</sub>	Surface resistance	2-10k	At 100ppm
R <sub>s</sub>	Surface resistance of sensitivity body	2-10k	Carbon Monoxide
C (100-200ppm)	Concentration change rate	Less than 0.5%	R <sub>0</sub> 100ppm/200ppm
Standard working condition	Temperature: 20°C ± 2°C, Relative humidity: 60% ± 5%, R <sub>L</sub> : 10K Ω ± 5%		
Refresh time	No less than 48 hours	Heating range: 20ppm-200ppm carbon monoxide	

##### D. Structure and configuration, basic measuring circuit

Structure and configuration of MQ-7 gas sensor is shown in Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by sinter Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic tube, Tin Dioxide (SnO<sub>2</sub>) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a metal tube by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work condition for work of sensitive components. The developed MQ-7 has

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



Pin	Function
1	Vcc
2	RL
3	Vcc
4	Vcc
5	Vcc
6	Vcc

Fig.1



##### Standard circuit:

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

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Heating voltage is 5V

##### Heating voltage is 1.4V

##### Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

##### Fig.2 sensitivity characteristic curve

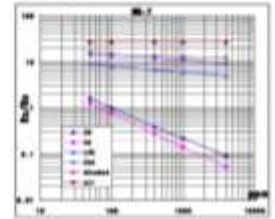


Fig. 3 shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-7 for several gases, in that Temp: 20°C, Humidity: 60%, O<sub>2</sub> concentration: 21%, R<sub>L</sub>: 10K Ω, CO is the clean air. By sensor resistance of various concentrations of gases.

Fig.3 sensitivity characteristics of the MQ-7

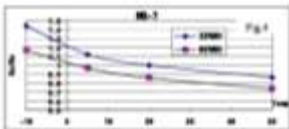


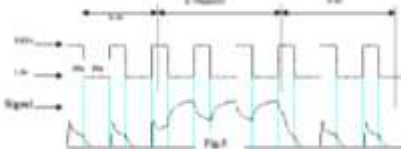
Fig.4 shows the typical dependence of the MQ-7 on temperature and humidity. By sensor resistance of 10Kppm CO or 100ppm and 200ppm. By sensor resistance of 10Kppm CO at different temperatures and humidity.

#### OPERATION PRINCIPLE

The surface resistance of the sensor R<sub>s</sub> is obtained through affected voltage signal output of the load resistance R<sub>L</sub> which series wound. The relationship between them is described:

$$R_{s/R_L} = (V_{cc} - V_{RL}) / V_{RL}$$

Fig. 5 shows alternate situation of R<sub>L</sub> 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 (2.2 minute from high voltage to low voltage).

Sensitive type of MQ-7 gas sensitive components is made of SnO<sub>2</sub> with stability, So, it has excellent long-term stability, its service life can reach 5 years under using conditions.

#### SENSITIVITY ADJUSTMENT

Sensitivity value of MQ-7 is different 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<sub>L</sub> about 10 K Ω (2K 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 influences. The sensitivity adjusting progress:

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

Repeat steps a-d until you get the sensitivity value you want.

## Anexo 2: Hoja de especificaciones técnicas del sensor MQ-131

### MQ131 Semiconductor Sensor for Ozone

Sensitive material of MQ131 gas sensor is  $\text{SnO}_2$ , which with lower conductivity in clean air. When Ozone gas exists, the sensor's conductivity is more higher along with the gas concentration rising. Please use simple electronic circuit. Convert change of conductivity to correspond output signal of gas concentration.

MQ131 gas sensor has high sensitivity to Ozone, also sensitive to  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{NO}_2$ , etc.

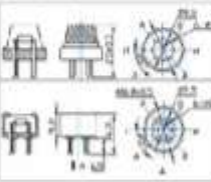
#### Character

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

#### Application

- \* Domestic Ozone concentration overlevel Detector
- \* Industrial Ozone concentration overlevel Detector
- \* Portable Ozone concentration overlevel Detector

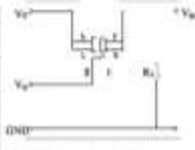
#### Configuration



#### Technical Data

Model No.	MQ131	
Sensor Type	Semiconductor	
Standard Encapsulation	Sensitive (Black Resin)	
Detection Gas	Ozone	
Concentration	10-100ppm (Ozone)	
Circuit	Logic Voltage $V_L$	5V DC
	Heater Voltage $V_H$	3.0V AC or DC
	Load Resistance $R_L$	Adjustable
Character	Heater Resistance $R_H$	310 $\pm$ 30 (Room Temp.)
	Heater consumption $P_H$	900mW
	Sensing Resistance $R_A$	3000-8000 $\Omega$ (at 10ppm $\text{O}_3$ )
	Sensitivity $S$	Ratio: (sensing) / (clean) ( $\text{O}_3$ )
	Span $n$	$(R_{Amax}/R_{Amin}) \times 100$
Condition	Temp. Humidity	20( $\pm$ 2) $^{\circ}\text{C}$ , 65( $\pm$ 5)%RH
	Standard test circuit	$V_L=5.0\text{VDC}$ (V), $V_H=3.0\text{VAC}$ (V)
	Preheat time	Over 48 hours

Power of Sensitivity body (P)  $P = (V_L/V_H)^2 \times (R_H/R_L)^2$   
 Resistance of sensitivity (R)  $R = (V_L/V_H) \times (R_H/R_L)$



The above is basic test circuit of the sensor. The sensor need to be put 2 voltage, heater voltage (VH) and load voltage (VL). VH used to supply sufficient working temperature to the sensor, while VL used to detect voltage (VRL) (at load resistance (RL)) when is in series with sensor. The sensor has light polarity, No need DC power. VL and VH could use same power circuit with expansion to assure performance of sensor. In order to make the sensor with better performance, suitable RL value is needed.

#### Sensitivity Characteristic

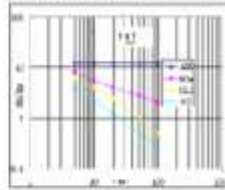


Fig. 1 shows the typical sensitivity characteristics of the MQ131, outside means resistance ratio of the sensor ( $R/R_0$ ), inside is concentration of gases. No means resistance in different gases, No means resistance of sensor in 10ppm  $\text{O}_3$ . All test are under standard test conditions.

#### Influence of Temperature/Humidity

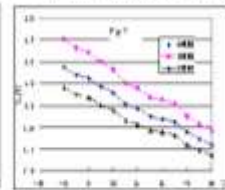
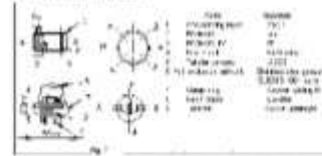


Fig. 2 shows the typical temperature and humidity characteristics. Outside means resistance ratio of the sensor ( $R/R_0$ ), inside is concentration of gases in 10ppm  $\text{O}_3$  under different temp. and humidity. No means resistance of the sensor in environment of 10ppm  $\text{O}_3$ , 20 $^{\circ}\text{C}$ /65%RH.

#### Structure and configuration



Structure and configuration of MQ131 gas sensor is shown as Fig. 3, sensor composed by more Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic tube. Tin Dioxide ( $\text{SnO}_2$ ) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a shell made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enclosed MQ1 have 8 pin, 4 of them are used to heat signals, and other 4 are used for providing heating current.

#### Notification

##### 1 Following conditions must be prohibited

###### 1.1 Exposed to organic silicon steam

Organic silicon steam cause sensors inactivate, sensors must be avoid exposing to silicon bond, feature, silicon latex, purity or plastic contain silicon environment.

###### 1.2 High Corrosive gas

If the sensors exposed to high concentration corrosive gas (such as  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HCl}$  etc), it will not only result in corrosion of sensors structure, also it cause sensor sensitivity attenuation.

###### 1.3 Alkal. Alkal. metals salt, halogen pollution

The sensors performance will be changed badly if sensors be sprayed polluted by alkali metals salt especially bromine, or be exposed to halogen such as fluorine.

###### 1.4 Touch water

Sensitivity of the sensors will be reduced when splashed or dipped in water.

###### 1.5 Freezing

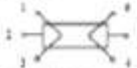
Do avoid icing on sensor surface, otherwise sensor would lose sensitivity.

###### 1.6 Applied voltage higher

Applied voltage on sensor should not be higher than stipulated value, otherwise it cause down-line or heater damaged, and bring on sensors sensitivity characteristics changed badly.

###### 1.7 Voltage on wrong pin

For 8 pins sensor, if apply voltage on 1, 3 pins or 4, 8 pins, it will make lead broken, and without signal when apply on 2, 4 pins.



##### 2 Following conditions must be avoided

###### 2.1 Water Condensation

Indry conditions, slight water condensation will effect sensors performance lightly, however, if water condensation on sensors surface and keep a certain period, sensor sensitivity will be decreased.

###### 2.2 Used in high gas concentration

No matter the sensor is etidified or not, if long time placed in high gas concentration, it will effect sensors characteristic.

###### 2.3 Long time storage

The sensors resistance produce reversible drift if it's stored for long time without etidify, this drift is related with storage conditions. Sensors should be stored in airtight without silicon gel bag with clean air. For the sensors with long time storage but no etidify, they need long aging time for stability before using.

###### 2.4 Long time exposed to adverse environment

No matter the sensors etidified or not, if exposed to adverse environment for long time, such as high humidity, high temperature, or high pollution etc, it will effect the sensors performance badly.

###### 2.5 Vibration

Continual vibration will result in sensors down-level response than repair. In transportation or assembling line, pneumatic screwdriver/ultrasonic welding machine can lead the vibration.

###### 2.6 Contusion

If sensors meet strong contusion, it may lead to lead wire disconnected.

###### 2.7 Usage

For sensor, handmade welding is optimal way, if use wave crest welding should meet the following conditions:

2.7.1 Soldering flux: Rosin soldering flux contains least chlorine

2.7.2 Speed: 1-2 Meter/Minute

2.7.3 Warm-up temperature: 100 $\pm$ 20 $^{\circ}\text{C}$

2.7.4 Welding temperature: 250 $\pm$ 10 $^{\circ}\text{C}$

2.7.5 1 time pass wave crest welding machine

If disobey the above using terms, sensors sensitivity will be reduced.

# Anexo 3: Hoja de especificaciones técnicas del sensor MQ-136

## MQ136 Semiconductor Sensor for Sulfur Dioxide

Sensitive material of MQ136 gas sensor is SnO<sub>2</sub>, which with lower conductivity in clean air. When the target SO<sub>2</sub> gas exist, the sensor's conductivity is more higher along with the gas concentration rising. Please use simple electrical circuit to convert change of conductivity to correspond output signal of gas concentration.

MQ136 gas sensor has high sensitivity to SO<sub>2</sub>, also could be used to detect other vapor which contains Sulfur. It has low sensitivity to normal combustible gases, which is with low cost and suitable for different applications.

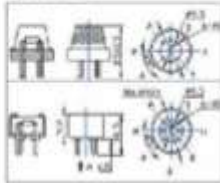
### Character

- Good sensitivity to SO<sub>2</sub>
- Long life and low cost
- Simple wire circuit

### Application

- Domestic SO<sub>2</sub> concentration detector
- Industrial SO<sub>2</sub> leakage detector
- Portable SO<sub>2</sub> detector

### Configuration

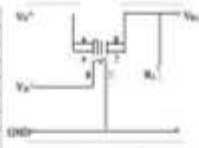


### Technical Data

#### Basic test mode

Model No.	MQ136	
Sensor Type	Semiconductor	
Standard Protection	Waterproof (Black Epoxy Resin)	
Detection Gas	SO <sub>2</sub>	
Concentration	1.00ppm (RSL)	
Circuit	Load Voltage V <sub>L</sub>	4.5V DC
	Heater Voltage V <sub>H</sub>	5.0VDC/2VAC/5VDC
	Load Resistance R <sub>L</sub>	Adjustable
Character	Heater Resistance R <sub>H</sub>	310ΩDC (R Room Temp.)
	Heater Consumption P <sub>H</sub>	400mW
	Sensing Resistance R <sub>S</sub>	3KΩ (RSL) in 10ppm SO <sub>2</sub>
	Sensitivity S	S <sub>SO2</sub> = 100 (RSL) / (R <sub>SL</sub> - R <sub>SL0})</sub>
	Stable s	<± 1% (R <sub>SL</sub> / R <sub>SL0})</sub>
Condition	Temp. Humidity	20±10°C, 60%±5RH
	Standard Input/Output	V <sub>I</sub> : 5.0VDC/5V, V <sub>O</sub> : 0.5VDC/1V
	Preheat Time	10min-30 hours

Power of Sensitivity test (S): P<sub>SO2</sub> / (V<sub>SO2</sub> / R<sub>SL0}) / I</sub>



The above is the basic test circuit of the sensor. The sensor is used to be put 2 voltage, heater voltage (V<sub>H</sub>) and load voltage (V<sub>L</sub>). V<sub>H</sub> used to supply sufficient working temperature to the sensor, while V<sub>L</sub> used to detect voltage (V<sub>O</sub>) or load resistance (R<sub>L</sub>) when it is in series with sensor. The sensor has high polarity, V<sub>H</sub> need DC power, V<sub>L</sub> and V<sub>O</sub> could use same power circuit with precaution to ensure performance of sensor. In order to make the sensor with better performance, suitable R<sub>L</sub> value is needed.

### Response of sensor (R<sub>S</sub>=R<sub>SL</sub>/R<sub>SL0})</sub>

#### Sensitive Characteristics

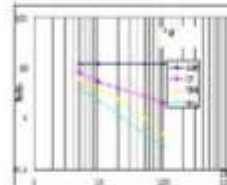


Fig.1 shows the typical sensitivity characteristics of the MQ136, ordinate means resistance ratio of the sensor (R<sub>SL</sub>/R<sub>SL0</sub>), abscissa is concentration of gases. R<sub>SL</sub> means resistance in different gases, R<sub>SL0</sub> means resistance of sensor in 10ppm SO<sub>2</sub>. All test are under standard sea conditions.

#### Influence of Temperature/Humidity

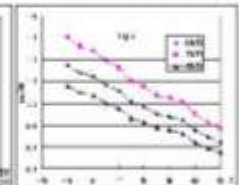
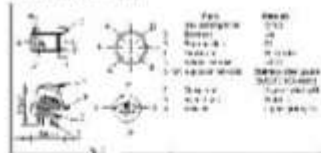


Fig.2 shows the typical temperature and humidity characteristics. Ordinate means resistance ratio of the sensor (R<sub>SL</sub>/R<sub>SL0</sub>), R<sub>SL</sub> means resistance of sensor in 10ppm SO<sub>2</sub> under different temp. and humidity. R<sub>SL0</sub> means resistance of the sensor in environment of 10ppm SO<sub>2</sub>, 20°C, 60%RH.

### Structure and configuration



Structure and configuration of MQ136 gas sensor is shown as Fig.3, sensor composed by inner AL2O<sub>3</sub> ceramic tube, Ti-Dioxide (SnO<sub>2</sub>) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and porcelain material. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The envelope MQ-4 have 8 pins, 4 of them are used to fetch signals, and other 4 are used for providing heating current.

### Notification

#### 1 Following conditions must be prohibited

- 1.1 Exposed to organic silicon steam
  - Organic silicon steam cause sensors inactivate, sensors must be avoid exposing to silicon bond, feature, silicon latex, putty or plastic contain silicon environment.
- 1.2 High Corrosive gas
  - If the sensors exposed to high concentration corrosive gas (such as H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, HCl etc), it will not only result in corrosion of sensors structure, also it cause sensor sensitivity attenuation.
- 1.3 Alkali, Alkali metals salt, halogen pollution
  - The sensors performance will be changed badly if sensors be sprayed polluted by alkali metals salt especially bromine, or be exposed to halogen such as fluorine.
- 1.4 Touch water
  - Sensitivity of the sensors will be reduced when splashed or dipped in water.
- 1.5 Heating
  - Do avoid using on sensor's surface, otherwise sensor would lose sensitivity.
- 1.6 Applied voltage higher
  - Applied voltage on sensor should not be higher than stipulated value, otherwise it cause down-line or heater damaged, and bring on sensor sensitivity characteristic changed badly.
- 1.7 Voltage on wrong pins
  - For 8 pins sensor, if apply voltage on 1, 3 pins or 4, 8 pins, it will make lead broken, and without signal when apply on 2, 6 pins.



#### 2 Following conditions must be avoided

- 2.1 Water Condensation
  - Under conditions, slight water condensation will affect sensors performance slightly. However, if water condensation on sensor's surface and keep a certain period, sensor's sensitivity will be decreased.
- 2.2 Used in high gas concentration
  - No matter the sensor is classified or not, if long time placed in high gas concentration, it will affect sensors characteristic.
- 2.3 Long time storage
  - The sensors resistance profuse reversible drift if it's stored for long time without electricity. The drift is related with storage conditions. Sensors should be stored in airtight without silicon gas bag with clean air. For the sensors with long time storage but no electricity, they need long aging time for stability before using.
- 2.4 Long time exposed to adverse environment
  - No matter the sensor is classified or not, if exposed to adverse environment for long time, such as high humidity, high temperature, or high pollution etc, it will affect the sensors performance badly.
- 2.5 Vibration
  - Continual vibration will result in sensors downlead response then restore. In transportation or assembling line, pneumatic screwdriver/ultrasonic welding machine can lead the vibration.
- 2.6 Corrosion
  - If sensors meet strong corrosion, it may lead to lead wire disconnected.
- 2.7 Usage
  - For sensor, handmade welding is optimal way. If use wave crest welding should meet the following conditions:
    - 2.7.1 Soldering Flux: Each soldering flux contains lead chloride
    - 2.7.2 Solder: 1:2 Water/Wire
    - 2.7.3 Warm-up temperature: 100±10°C
    - 2.7.4 Working temperature: 250±10°C
    - 2.7.5 1 time pass wave crest welding machine
 If double the above using terms, sensors sensitivity will be reduced.

## Anexo 4: Hoja de especificaciones técnicas del sensor PMS-5003

2016 product data manual of PMS5003

### Digital universal particle concentration sensor

PMS5003 series data manual

Writer	Zhou Yong	Version	V2.3
Verifier	Zheng Hasebin	Date	2016-06-01



#### Main characteristics

- ◆ Zero false alarm rate
- ◆ Real-time response
- ◆ Correct data
- ◆ Minimum distinguishable particle diameter 0.3 micrometer
- ◆ High anti-interference performance because of the patent structure of six sides shielding
- ◆ Optional direction of air inlet and outlet in order to adapt the different design

2016 product data manual of PMS5003

#### Technical Index

Parameter	Index	Unit
Range of measurement	0.3~10; 1.0~2.5; 2.5~10	Micrometer ( $\mu$ m)
Counting Efficiency	50%@0.5 $\mu$ m; 99%@0.5 $\mu$ m	
(Effective Range (PM2.5 standard)	0~300	$\mu$ g/m <sup>3</sup>
Maximum Range (PM2.5 standard) *	7000	$\mu$ g/m <sup>3</sup>
Resolution	1	$\mu$ g/m <sup>3</sup>
Maximum Consistency Error (PM2.5 standard data)*	±10%@100~300 $\mu$ g/m <sup>3</sup> ±10 $\mu$ g/m <sup>3</sup> @0~100 $\mu$ g/m <sup>3</sup>	
Standard Volume	0.1	L/min (L)
Single Response Time	<1	Second (s)
Total Response Time	<10	Second (s)
DC Power Supply	Typ:3.0 Min:4.5 Max:5.5	Volt (V)
Active Current	<100	Milliampere (mA)
Standby Current	<100	Milliampere (mA)
Interface Level	L=0.8@0.3~1.2 5V/5.0	Volt (V)
Working Temperature Range	-20~+60	°C
Working Humidity Range	0~95%	
Storage Temperature Range	-40~+80	°C
MTTF	>3	Year (Y)
Physical Size	55*38*21	Millimeter (mm)

Note 1: Maximum range means that the highest output value of the PM2.5 standard data is not less than 1000.  
Note 2: \*PM2.5 standard data\* is the "data2" in the appendix.

2016 product data manual of PMS5003

#### Overview

PMS5003 is a kind of digital and universal particle concentration sensor, which can be used to obtain the number of suspended particles in the air, i.e. the concentration of particles, and output them in the form of digital interface. This sensor can be inserted into variable instruments related to the concentration of suspended particles in the air or other environmental improvement equipments to provide correct concentration data in time.

#### Working principle

Laser scattering principle is used for such sensor, i.e. produce scattering by using laser to radiate suspending particles in the air, then collect scattering light in a certain degree, and finally obtain the curve of scattering light change with time. In the end, equivalent particle diameter and the number of particles with different diameter per unit volume can be calculated by microprocessor based on Mie Theory. Please find the functional diagram of each part of sensor from Figure 1 as follows.

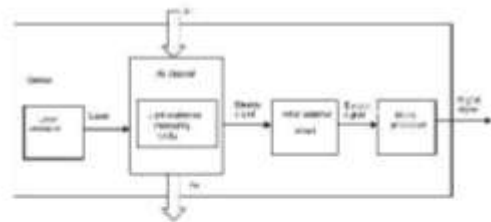


Figure 1 Functional block diagram of sensor

2016 product data manual of PMS5003

#### Pin Definition

Pin	Function	Description
PIN1	VCC	Positive power 5V
PIN2	GND	Negative power
PIN3	SET	Set pin (TTL level@3.3V, high level or suspending is normal working status, while low level is sleeping mode)
PIN4	RX	Serial port receiving pin(TTL level@3.3V)
PIN5	TX	Serial port sending pin(TTL level@3.3V)
PIN6	RESET	Module reset signal (TTL level@3.3V, low reset)
PIN7/8	NC	

#### Output result

Mainly output as the quality and number of each particles with different size per unit volume, the unit volume of particle number is 0.1L and the unit of mass concentration is  $\mu$  g/m<sup>3</sup>.

There are two options for digital output, passive and active. Default mode is active after power up. In this mode sensor would send serial data to the host automatically. The active mode is divided into two sub-modes: stable mode and fast mode. If the concentration change is small the sensor would run at stable mode with the real interval of 2.5s. And if the change is big the sensor would be changed to fast mode automatically with the interval of 200~600ms, the higher of the concentration, the shorter of the interval.

## Anexo 5: Hoja de especificaciones técnicas de Arduino Mega



### Product Overview

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 (datasheet). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller, simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

### Index

Technical Specifications	Page 2
How to use Arduino Programming Environment, Basic Tutorial	Page 6
Terms & Conditions	Page 7
Environmental Policies Half a step of green and happy as Zorro!	Page 7



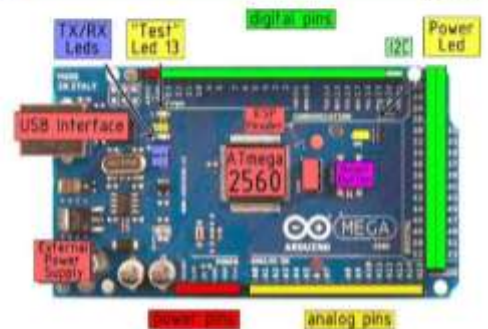
### Technical Specification

EA8LE Rev. [arduino-mega2560-reference.design.org/Schematics/arduino-mega2560-arduino.com/](http://arduino.mega2560-reference.design.org/Schematics/arduino-mega2560-arduino.com/)

#### Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

#### the board



### Power

The Arduino Mega2560 can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically. External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Look for a battery can be inserted in the (GND and VCC) pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than 5V and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FT232RL USB-to-serial driver chip. Instead, it features the ATmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

The power pins are as follows:

- VCC:** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through the jack, or, if supplying voltage via the power jack, connect it through this pin.
- 5V:** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIn via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- GND:** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- GND:** Ground pin.

### Memory

The ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and 4 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

### Input and Output

Each of the 54 digital pins on the Mega can be used as an input or output, using [digitalWrite\(\)](#), [digitalRead\(\)](#), and [digitalToggle\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- Digital 0 (GND) and 1 (VCC):** Digital I/O pins 0 (GND) and 1 (VCC). Digital I/O pins 0 (GND) and 1 (VCC). Used to interface I/O and transmit (TX) and receive (RX) data. Pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-UART bridge chip.
- External Interrupts:** 2 (Interrupt 0), 3 (Interrupt 1), 18 (Interrupt 2), 19 (Interrupt 3), 20 (Interrupt 4), and 21 (Interrupt 5). These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- PWM:** 6 to 11. Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- SPI:** 10 (MISO), 11 (MOSI), 12 (MCKL), 13 (SS). These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently supported in the Arduino language. The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Duemilanove and Diecimila.
- LED:** 13. There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on; when the pin is LOW, it's off.
- RX:** 18 (RX) and 19 (TX). Support PC (UART) communication using the [Wire library](#) (documentation on the Wiring website). Note that these pins are not in the same location as the PC pins on the Duemilanove.

The Mega2560 has 16 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e., 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts. Though it is possible to change the upper end of their range using the [ANALOG\\_COMP](#) function.

There are a couple of other pins on the board:

- AREF:** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- Reset:** Bring this pin LOW to reset the microcontroller. Typically used with a reset button to which connect the one on the board.



### How to use Arduino

Arduino can sense the environment by receiving input from a variety of sensors and can affect its surroundings by controlling lights, motors, and other actuators. The microcontroller on the board is programmed using the [Arduino programming language](#) (based on C/C++) and the Arduino development environment (based on [Eclipse](#)). Arduino projects can be stored online or they can communicate with software on running on a computer (e.g. Flash, Processing, Max/MSP).

Arduino is a cross-platform program. You'll have to follow different instructions for your personal OS. Check on the [Arduino site](#) for the latest instructions. <http://arduino.cc/en/Guide/HomePage>

#### Linux install | Windows install | Mac install

Once you have downloaded/unpacked the arduino IDE, you can Plug the Arduino to your PC via USB cable.

#### Link led

Now you're actually ready to "burn" your first program on the arduino board. To select "link led", the physical translation of the well-known programming "hello world", select:

File>Sketchbook>Arduino-0017>Examples>Digital>Blink

Once you have your sketch you'll see something very close to the screenshot on the right.

In Tools>Board select MEGA

Now you have to go to Tools>SerialPort and select the right serial port, the one arduino is attached to.



## Anexo 6: Hoja de especificaciones técnicas de NodeMcu ESP8266

### INTRODUCTION TO NodeMCU ESP8266

DEVKIT v1.0 JULY 2017

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

### Internet of Things

#### NodeMCU ESP8266 ESP-12E WiFi Development Board

NodeMCU is an open source IoT platform. It includes firmware which runs on the ESP8266 Wi-Fi SoC from Espressif Systems, and hardware which is based on the ESP-12 module. The term "NodeMCU" is derived from the firmware which runs on the SoC. The firmware uses the Lua scripting language. It is based on the AT command set, and built on the Espressif Non-OS SDK for ESP8266. It uses many open source projects, such as LuaOpen, and gRPC.

#### Features

- Version: DevKit v1.0
- Breadboard Friendly
- Light Weight and small size
- 3.3V operated, can be USB powered
- Uses wireless protocol IEEE 802.11b/g/n
- Built-in wireless connectivity capabilities
- On-board PCB antenna on the ESP-12E chip
- Capable of PWM, I2C, SPI, UART, I2C, 1 analog pin
- Uses CH340 USB Serial Communication Interface module
- Arduino IDE compatible (extension board manager required)
- Supports Lua (lua module) and Arduino C programming language

#### PINOUT DIAGRAM

NodeMCU ESP8266 v1.0

Source: <https://github.com/esp8266/Arduino>

Safe Preset for GPIOs at 3.3V

### NodeMCU ESP8266

#### Specifications of ESP-12E WiFi Module

<b>Wireless Standard</b>	IEEE 802.11 b/g/n
<b>Frequency Range</b>	2.412 - 2.484 GHz
<b>Power Transmission</b>	802.11b: +16 ± 2 dBm (at 11 Mbps) 802.11g: +14 ± 2 dBm (at 54 Mbps) 802.11n: +13 ± 2 dBm (at HT20, MCS7)
<b>Receiving Sensitivity</b>	802.11b: -93 dBm (at 11 Mbps, CCK) 802.11g: -95 dBm (at 54 Mbps, OFDM) 802.11n: -92 dBm (at HT20, MCS7)
<b>Wireless Form</b>	On-board PCB Antenna
<b>IO Capability</b>	UART, I2C, PWM, GPIO, 1 ADC
<b>Electrical Characteristic</b>	3.3 V Operated 15 mA output current per GPIO pin 12 - 200 mA working current Less than 200 uA standby current
<b>Operating Temperature</b>	-40 to +125 °C
<b>Serial Transmission</b>	110 - 921600 bps, TCP Client 5
<b>Wireless Network Type</b>	STA / AP / STA + AP
<b>Security Type</b>	WEP / WPA-PSK / WPA2-PSK
<b>Encryption Type</b>	WEP64 / WEP128 / TKIP / AES
<b>Firmware Upgrade</b>	Local Serial Port, OTA Remote Upgrade
<b>Network Protocol</b>	IPv4, TCP / UDP / FTP / HTTP
<b>User Configuration</b>	AT + Order Set, Web Android / IOS, Smart Link APP

July 2017

#### Related Sites

- NodeMCU official site: [nodemcu.com](http://nodemcu.com)
- NodeMCU Documentation: <http://nodemcu.com/docs/modules/en/index.html>
- NodeMCU Firmware (GitHub): <https://github.com/nodemcu/nodemcu-firmware>
- Project Support with NodeMCU: <http://www.nodemcu.com/en/faq/faq.html>
- ESP8266 Getting started, by H202019: <https://github.com/H202019/ESP8266-getting-started>
- Quick Start to Arduino-ESP8266 on Arduino IDE by Robert Ibric: <https://github.com/robertibric/Arduino-ESP8266-quick-start>
- GETTING STARTED WITH PLATFORMIO AND ESP8266 NODEMCU by Steven Corney: <https://github.com/stevenconey/Getting-Started-with-PlatformIO-and-ESP8266-NodeMCU>
- Programming ESP8266 ESP-12E NodeMCU v1.0 With Arduino IDE and Windows Temperature Logger by Ben Tai: <https://github.com/bentai/ESP8266-ESP-12E-NodeMCU-v1.0-with-arduino-ide>

For more details, we can be reached at the addresses below:  
[info@einstronic.com](mailto:info@einstronic.com)

#### CONTACT INFORMATION

[www.einstronic.com](http://www.einstronic.com) | 
 [+359 - 2327111](tel:+359-2327111) (Nancy - Chania) | 
 [info@einstronic.com](mailto:info@einstronic.com) | 
 [facebook.com/einstronic](https://www.facebook.com/einstronic)





# Anexo 8: Hoja de especificaciones técnicas del módulo Bluetooth HC-05

**ITead Studio**  
 Product Sales & Technical Support  
 Tech Support: info@iteadstudio.com

## HC-05

### -Bluetooth to Serial Port Module

### Overview



HC05 module is an easy to use Bluetooth SPB (Serial Port Protocol) module, designed for transparent wireless serial connection setup.

Serial port Bluetooth module is fully qualified Bluetooth V2.0+EDR (Enhanced Data Rate) 3Mbps Modulation with complete 2.4GHz radio transceiver and baseband. It uses CSR Bluetooth 04-Central single chip Bluetooth system with QMOS technology and with AFH(Adaptive Frequency Hopping Feature). It has the footprint as small as QFN28x28mm. Hope it will simplify your overall design/development cycle.

### Specifications

#### Hardware features

- Typical 10dBm sensitivity
- Up to +4dBm RF transmit power
- Low Power 1.8V Operation, 1.8 to 3.0V VO
- PIO control
- UART interface with programmable baud rate
- With integrated antenna
- With edge connector

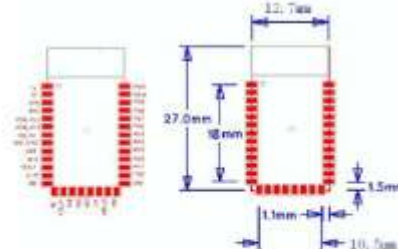
HC05 Bluetooth module      iteadstudio.com      26.12.2012

**ITead Studio**  
 Product Sales & Technical Support  
 Tech Support: info@iteadstudio.com

### Software features

- Default baud rate: 9600, Data bits:8, Stop bit:1,Parity:No parity, Data control: hcs.
- Supported baud rate: 9600,19200,38400,57600,115200,230400,460800.
- When a rising pulse in PWD, device will be disconnected.
- Status/Instruction port PWD: low-disconnected, high-connected;
- PWD0 and PWD1 can be connected to red and blue led separately. When master and slave are paired, red and blue led blink 1time/2s in interval, while disconnected only blue led blink 2time/s.
- Auto-connect to the last device on power as default.
- Permit pairing device to connect as default.
- Auto-pairing PINCODE:"0000" as default.
- Auto-reconnect in 30 min when disconnected as a result of beyond the range of connection.

### Hardware



HC-05 Bluetooth module      iteadstudio.com      26.12.2012

**ITead Studio**  
 Product Sales & Technical Support  
 Tech Support: info@iteadstudio.com

PIN Name	PIN #	Pad type	Description	Note
GND	13	VSS	Ground pad	
	21			
	22			
	23			
V3	12	3.3V	Integrated 3.3V (+) supply with the chip driver regulator output within 3.15-3.3V	
AD00	9	Bi-Directional	Programmable input/output line	
AD01	10	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO0	13	Bi-Directional	Programmable input/output line, control output for PWD0(PWD)	
PIO1	14	Bi-Directional	Programmable input/output line, control output for PWD1(PWD)	
PIO2	25	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO3	26	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO4	27	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO5	28	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO6	29	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO7	30	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO8	31	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO9	32	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO10	33	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO11	34	Bi-Directional	Programmable input/output line	

HC-05 Bluetooth module      iteadstudio.com      26.12.2012

**ITead Studio**  
 Product Sales & Technical Support  
 Tech Support: info@iteadstudio.com

RESET#	11	CMOS input with weak internal pull-up	Reset of low signal, drive high as soon as you see the LED5 to connect a reset.
UART_RTS	4	CMOS output, tri-state with weak internal pull-up.	UART request to send, active low
UART_CTS	5	CMOS input with weak internal pull-down	UART clear to send, active low
UART_RX	2	CMOS input with weak internal pull-down	UART Data input
UART_TX	1	CMOS output, tri-state with weak internal pull-up.	UART Data output
SPI_MOSI	17	CMOS input with weak internal pull-down	Serial peripheral interface data input
SPI_CS#	16	CMOS input with weak internal pull-up.	Chip select for serial peripheral interface, active low
SPI_CLK	19	CMOS input with weak internal pull-down	Serial peripheral interface clock
SPI_MISO	18	CMOS input with weak internal pull-down	Serial peripheral interface data output
USB_	15	Bi-Directional	

HC-05 Bluetooth module      iteadstudio.com      26.12.2012







## Anexo 10: Código NAD

```
#include <TinyGPS++.h>
TinyGPSPlus gps;
#include <Arduino.h>
#define LENG 31 //0x41 + 31 bytes equal to 32 bytes
#define sensorCO A0
// es como para formtear y reasignar los puertos de ingreso
#define sensorSO2 A1
//es como para formtear y reasignar los puertos de ingreso pra SO2 Y ES EL 136
#define sensorO3 A2
// es como para formtear y reasignar los puertos de ingreso de O3 y NO2
bool control=true;
bool controlf=true;
int NAD=1; // Se tienen que editar el numero de NAD que es al cargar el programa (solo la 1era vez)
float CO=0; // al empezar a medir, primero les inicializa en cero a estas variables de las subfunciones
float SO2=0; //Declaradas al principio pq van a ser utilizadas en cualquier parte del progra
float O3=0;
float NO2=0;
unsigned char buf[LENG];
int PM01Value=0; //define PM1.0
int PM2_5Value=0; //define PM2.5
int PM10Value=0; //define PM10
int HH;
int MM;
int SSS;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  delay(2000);
  Serial1.begin(9600);
  Serial2.begin(9600);
  Serial2.setTimeout(1500);
  //set the Timeout to 1500ms, longer than the data transmission periodic time of the sensor
  Serial3.begin(9600);
}
void loop(){
  while (Serial1.available() > 0){
    if (gps.encode(Serial1.read())){
float calidadCO();
float calidadSO2();
float calidadO3();
float calidadNO2();
CO= calidadCO();
SO2= calidadSO2();
O3= calidadO3();
NO2= calidadNO2();
    if (gps.location.isValid())
    {
    if (gps.time.isValid())
    {
    if (gps.time.hour() < 10);
    {
    HH=gps.time.hour();
    // Serial.print(HH);
    }
    if (gps.time.minute() < 10);
    {
    MM=gps.time.minute();
    //Serial.print(MM);
    }
    }
    }
    }
  }
}
```

```

    }
    if (gps.time.second() < 10);
    {
        SSS=gps.time.second();
        //Serial.println(SSS);
    }

    if(Serial2.find(0x42)){ //start to read when detect 0x42
        Serial2.readBytes(buf, LENG);

        if(buf[0] == 0x4d){
            if(checkValue(buf, LENG)){
                PM01Value=transmitPM01(buf); //count PM1.0 value of the air detector module
                PM2_5Value=transmitPM2_5(buf); //count PM2.5 value of the air detector module
                PM10Value=transmitPM10(buf); //count PM10 value of the air detector module
            }
        }
    }
    static unsigned long OledTimer=millis();
    if (millis() - OledTimer >=1000)
    {
        OledTimer=millis();
        if (( MM == 1 ||MM == 5 ||MM ==9 ||MM == 13||MM == 17||MM== 21||MM == 25||MM == 29 ||MM == 33||
        MM == 37||MM == 41||MM== 45||MM == 49||MM == 53||MM == 57) && ( SSS == 0||SSS == 1||SSS == 2||
        SSS == 3)) //min y seg establecidos para medir y enviar datos
        {
            if ( control == true ) imprimirKBEE();
        }
        else
        {
            imprimirRT();
        }
    }
    else
    {
        Serial.println(F("INV"));
    }
}
}

float calidadCO(){
    int MQCO = analogRead(sensorCO); //Leemos la salida analógica del MQ7
    float voltajeCO = MQCO * (5.0 / 1023.0); //Convertimos la lectura en un valor de voltaje
    float Rs1=1000*((5-voltajeCO)/voltajeCO); //Calculamos Rs con un RL de 1k
    double ppmCO=109.62*pow(Rs1/250, -1.501); //concentración de CO con la ecuación obtenida.
    double ugmCO=(ppmCO*28.01*(1000/24.5)); // conversión de ppm a ug/m3
    return ugmCO;
}

float calidadSO2(){
    int MQSO2 = analogRead(sensorSO2); //Leemos la salida analógica del MQ136
    float voltajeSO2 = MQSO2 * (5.0 / 1023.0); //Convertimos la lectura en un valor de voltaje
    float Rs2=20000*((5-voltajeSO2)/voltajeSO2); // Rs con un RL de 20k límite en el datasheet
    double ppmSO2=40.618*pow(Rs2/5.74, -1.113); // concentración de SO2 con la ecuación obtenida.
    double ugmSO2=(ppmSO2*64.06*(1000/24.5)); // conversión de ppm a ug/m3
    return ugmSO2;
}

float calidadO3(){
    int MQO3 = analogRead(sensorO3); //Leemos la salida analógica del MQ131
    float voltajeO3 = MQO3 * (5.0 / 1023.0); //Convertimos la lectura en un valor de voltaje
    float Rs3=15000*((5-voltajeO3)/voltajeO3); //Calculamos Rs con un RL de 20k del datasheet
    double ppmO3=41.201*pow(Rs3/30, -1.119); // concentración de O3 con la ecuación obtenida.
    double ugmO3=(ppmO3*48*(1000/24.5)); // conversión a ug/m3
    return ugmO3;
}
}

```

```

//esta repetido el voltaje que lee y se solo para el NO2 sea separado y entregue una respuesta
float calidadNO2(){
int MQNO2 = analogRead(sensorO3); //Leemos la salida analógica del MQ131 que es para los 2
float voltajeNO2 = MQNO2 * (5.0 / 1023.0); //Convertimos la lectura en un valor de voltaje
float Rs4=20000*((5-voltajeNO2)/voltajeNO2); //Calculamos Rs con un RL de 20k del datasheet
double ppmNO2=2613.0*pow(Rs4/510, -2.78); //a concentración de O3 con la ecuación obtenida.
double ugm3NO2=(ppmNO2*46.01*(1000/24.5)); // conversión de ppm a ug/m3
return ugm3NO2;
}

char checkValue(unsigned char *thebuf, char leng)
{
char receiveflag=0;
int receiveSum=0;

for(int i=0; i<(leng-2); i++){
receiveSum=receiveSum+thebuf[i];
}
receiveSum=receiveSum + 0x42;

if(receiveSum == ((thebuf[leng-2]<<8)+thebuf[leng-1]))
{
receiveSum = 0;
receiveflag = 1;
}
return receiveflag;
}

int transmitPM01(unsigned char *thebuf)
{
int PM01Val;
PM01Val=(((thebuf[3]<<8) + thebuf[4]));
return PM01Val;
}

//transmit PM Value to PC
int transmitPM2_5(unsigned char *thebuf)
{
int PM2_5Val;
PM2_5Val=(((thebuf[5]<<8) + thebuf[6])); //count PM2.5 value of the air detector module
return PM2_5Val;
}

//transmit PM Value to PC
int transmitPM10(unsigned char *thebuf)
{
int PM10Val;
PM10Val=(((thebuf[7]<<8) + thebuf[8])); //count PM10 value of the air detector module
return PM10Val;
}

void imprimirNMEA(){
Serial.println((gps.location.lat()*1000),4);
Serial.println((gps.location.lng()*1000),4);
//Serial.print(" NAD:");
Serial.println(NAD);
//Serial.print(" CO:");
Serial.println(CO);
//Serial.print(" SO2:");
Serial.println(SO2);

Serial.println(O3);
//Serial.print(" NO2:");
Serial.println(NO2);
//Serial.print("PM10: ");
Serial.println(PM10Value);
}

```

```

// Serial.print("PM2.5: ");
Serial.println(PM2_5Value);
//Serial.print("PM0.1: ");
Serial.println(PM01Value);
// Serial.println();
Serial3.print(NAD);
Serial3.print("|");
Serial3.print(CO); //Muestra coen el puerto serie (Bluetooth)
Serial3.print("|");
Serial3.print(SO2); //Muestra SO2 en el puerto serie (Bluetooth)
Serial3.print("|");
Serial3.print(O3); //Muestra O3 en el puerto serie (Bluetooth)
Serial3.print("|");
Serial3.print(NO2);
Serial3.print("|");
Serial3.print(PM10Value); //Muestra MP10 en el puerto serie (Bluetooth)
Serial3.print("|");
Serial3.print(PM2_5Value); //Muestra MP2.5 en el puerto serie (Bluetooth)
Serial3.print("|");
Serial3.print(PM01Value); //Muestra MM01 puerto serie (Bluetooth)
control = false;
}
void imprimirBT(){

    if (gps.time.second() < 10);
    {
        SSS=gps.time.second();
        //Serial.println(SSS);

    }

control = true;
if ( SSS == 10 || SSS == 20 || SSS == 30 || SSS == 40 || SSS == 50)
{
Serial3.print(NAD);
Serial3.print("|");
Serial3.print(CO); //Muestra coen el puerto serie (Bluetooth)
Serial3.print("|");
Serial3.print(SO2); //Muestra SO2 en el puerto serie (Bluetooth)
Serial3.print("|");
Serial3.print(O3); //Muestra O3 en el puerto serie (Bluetooth)
Serial3.print("|");
Serial3.print(NO2);
Serial3.print("|");
Serial3.print(PM10Value); //Muestra MP10 en el puerto serie (Bluetooth)
Serial3.print("|");
Serial3.print(PM2_5Value); //Muestra MP2.5 en el puerto serie (Bluetooth)
Serial3.print("|");
Serial3.print(PM01Value); //Muestra MM01 puerto serie (Bluetooth)
}
}

```



## Anexo 11: Código NCD

```
#include "UbidotsMicroESP8266.h"
#define TOKEN "BBFF-XLVdJ9ndbt5rZrLpU67IJC0noISjUT"// Ubidots TOKEN
#define WIFISSID "Prueba" // Wi-Fi SSID
#define PASSWORD "12345678" // Wi-Fi password
Ubidots client(TOKEN);
float CO;
float SO2;
float O3;
float NO2;
float MP25;
float MP10;
float MP1;
float LAT;
float LON;
int ESNAD;
float calculoLAT=0.00;
float calculoLON=0.00;
float w=0.00;
void setup(){
  Serial.begin(9600);
  delay(2000);
  client.wifiConnection("Prueba","12345678");
}
void loop()
{
  char context[50];

  if (Serial.available())
  {
    LAT = Serial.parseFloat();
    if (LAT == w||LAT == x||LAT == y ||LAT == z)
    Serial.read();
    else
    {
      calculoLAT=LAT *(1.0/1000.0);
      Serial.println((calculoLAT),4);
      //necesita imprimir para ver y editar la función case
      delay(1000);
      LON = Serial.parseFloat();
      if (LON == w)
      Serial.read();
      else
      {
```

```

{
calculoLON=LON *(1.0/1000.0);
Serial.println((calculoLON),4);
//necesita imprimir para ver y editar los case
delay(1000);
ESNAD = Serial.parseFloat();
if (ESNAD == w)
Serial.read();
else
{
    Serial.println(ESNAD);
    // necesita imprimir para ver y editar los casse
switch (ESNAD)
{
case 1:
{
    sprintf(context, "lat=-1.6701#lng=-78.6637#NAD=1");
//El ingreso de LAT Y LONG se lo edita al inicio en cada ccas
//El ingreso del # de NAD se lo edita al inicio en cada case
// #NAD este es el CASO
CO = Serial.parseFloat();
if (CO == w)
    Serial.read();
else
    {
    Serial.println(CO);
client.add("CO-n1", CO, context);
    client.sendAll(true);
delay(2000);
    SO2 = Serial.parseFloat();

    if (SO2 == w)
Serial.read();
else
    {
    Serial.println(SO2);
client.add("SO2-n1", SO2, context);
    client.sendAll(true);
delay(2000);
    O3 = Serial.parseFloat();
    if (O3 == w)
Serial.read();
else
    {
    Serial.println(O3);
client.add("O3-n1", O3, context);

```

```

    client.sendAll(true);
    delay(2000);
    NO2 = Serial.parseFloat();
    if (NO2 == w)
    Serial.read();
    else
    {
    Serial.println(NO2);
    client.add("NO2-n1",NO2,context);
    client.sendAll(true);
    delay(2000);

    MP10 = Serial.parseFloat();
if (MP10 == w)
    Serial.read();
    else
    {
    Serial.println(MP10);
    client.add("MP10-n1",MP10,context);
    client.sendAll(true);
    delay(2000);

    MP25 = Serial.parseFloat();
if (MP25 == w)
    Serial.read();
    else
    {
    Serial.println(MP25);
    client.add("MP2.5-n1",MP25,context);
    client.sendAll(true);

    delay(2000);

    MP1 = Serial.parseFloat();
if (MP1 == w)
    Serial.read();
    else
    {
    Serial.println(MP1);
    client.add("MP1-n1",MP1,context);
    client.sendAll(true);
    delay(2000);
    }
    } } } }
break;
}

```

```

case 2:
{

sprintf(context, "lat=-1.6602$lng=-78.6600$NAD=2");
//El ingreso de LAT Y LONG se lo edita al inicio en cada case
// El ingreso del # de NAD se lo edita al inicio en cada case
// = #NAD este es el 2
CO = Serial.parseFloat();
if (CO == w)
  Serial.read();
else
{
  Serial.println(CO);
  client.add("CO-n2", CO, context);
  client.sendAll(true);
  delay(2000);

  SO2 = Serial.parseFloat();
  if (SO2 == w)
    Serial.read();
  else
  {
    Serial.println(SO2);
    client.add("SO2-n2", SO2, context);
    client.sendAll(true);
    delay(2000);
    O3 = Serial.parseFloat();
    if (O3 == w)
      Serial.read();
    else

    {
      Serial.println(O3);
      client.add("O3-n2", O3, context);
      client.sendAll(true);
      delay(2000);

NO2 = Serial.parseFloat();
if (NO2 == w)
  Serial.read();
else
{
  Serial.println(NO2);
  client.add("NO2-n2", NO2, context);
  client.sendAll(true);
  delay(2000);

```

```

    MP10 = Serial.parseFloat();
if (MP10 == w)
  Serial.read();
else
  {
  Serial.println(MP10);
  client.add("MP10-n2",MP10,context);
  client.sendAll(true);
  delay(2000);
  MP25 = Serial.parseFloat();
if (MP25 == w)
  Serial.read();
else
  {
  Serial.println(MP25);
  client.add("MP2.5-n2",MP25,context);
  client.sendAll(true);
  delay(2000);
  MP1 = Serial.parseFloat();
if (MP1 == w)
  Serial.read();
else
  {
  Serial.println(MP1);
  client.add("MP1-n2",MP1,context);
  client.sendAll(true);
  delay(2000);
  }
  } } } }
break;
} } } }

```

## Anexo 12: Bloques de diseño de Aplicación

The image displays several Scratch code blocks for an application, organized into three main sections:

- Screen 2a Initialization:** A 'when Screen 2a instance' block containing a 'do' loop that sets text for labels 'Label20' through 'Label29' to 'desconectado'. Below this, three global variables are initialized: 'global\_numero' to 0, 'global\_datos\_entradaBT' to an empty list, and 'global\_datos' to 'create empty list'.
- List Picker 1 Before Picking:** A 'when List Picker 1 Before Picking' block that sets 'List Picker 1 Elements' to 'BluetoothClient AddressesAndNames'.
- List Picker 1 After Picking:** A 'when List Picker 1 After Picking' block that sets 'global\_numero' to 0, calls 'BluetoothClient Connect' with address 'LTP-client' and speed '3', and checks if 'BluetoothClient Is Connected'. If true, it sets 'Label20 Text' to 'conectado', 'Clock Time Elapsed' to 'true', and 'Label20 Text' to 'Estimando velocidad'.
- Button Click:** An 'when Button Click' block that calls 'BluetoothClient Disconnect' and sets 'Label20 Text' to 'desconectado'.
- Global Variable Initialization:** A series of 'initialize global NUMco' blocks for NUMco1 through NUMco7, each set to 0.
- Clock 1 Timer:** A 'when Clock 1 Timer' block with a 'do' loop. It checks 'BluetoothClient Is Connected'. If true, it increments 'global\_numero' by 120 and checks 'BluetoothClient Bytes Available To Receive'. If true, it calls 'BluetoothClient Receive Text' and processes the data into a list 'global\_lista\_datos'. It then iterates through the list to update 'global NUMco' values and 'Label5 Text'. It also checks 'global NUMco' ranges to change 'Label5 BackgroundColor' (white, grey, green, black, yellow, orange, red) and updates 'global NUMco2' and 'Label7 Text'.

```
else if [get global NUMso2 >= 625 and get global NUMso2 <= 125]
then set Label7 BackgroundColor to green
else if [get global NUMso2 >= 125 and get global NUMso2 <= 200]
then set Label7 BackgroundColor to grey
else if [get global NUMso2 >= 200 and get global NUMso2 <= 1000]
then set Label7 BackgroundColor to yellow
else if [get global NUMso2 >= 1000 and get global NUMso2 <= 1800]
then set Label7 BackgroundColor to orange
else if [get global NUMso2 >= 1800]
then set Label7 BackgroundColor to red

set global NUMo3 to select list item list get global lista_datos
index 4
set Label9 Text to select list item list get global lista_datos
index 4

if [get global NUMo3 <= 0 and get global NUMo3 <= 50]
then set Label9 BackgroundColor to white
```

```
else if [get global NUMo3 >= 50 and get global NUMo3 <= 100]
then set Label9 BackgroundColor to green
else if [get global NUMo3 >= 100 and get global NUMo3 <= 200]
then set Label9 BackgroundColor to grey
else if [get global NUMo3 >= 200 and get global NUMo3 <= 400]
then set Label9 BackgroundColor to yellow
else if [get global NUMo3 >= 400 and get global NUMo3 <= 600]
then set Label9 BackgroundColor to orange
else if [get global NUMo3 >= 600]
then set Label9 BackgroundColor to red

set global NUMno2 to select list item list get global lista_datos
index 5
set Label11 Text to select list item list get global lista_datos
index 5

if [get global NUMno2 <= 0 and get global NUMno2 <= 100]
then set Label11 BackgroundColor to white
else if [get global NUMno2 >= 100 and get global NUMno2 <= 200]
then set Label11 BackgroundColor to green
else if [get global NUMno2 >= 200 and get global NUMno2 <= 1000]
then set Label11 BackgroundColor to grey
else if [get global NUMno2 >= 1000 and get global NUMno2 <= 2000]
then set Label11 BackgroundColor to yellow
else if [get global NUMno2 >= 2000 and get global NUMno2 <= 3000]
then set Label11 BackgroundColor to orange
```

```

else if [get global NUMmp10 <= 400] and [get global NUMmp10 <= 500]
then [set ESTmp10 BackgroundColor to #]
else if [get global NUMmp10 <= 500]
then [set ESTmp10 BackgroundColor to #]
[set global NUMmp25 to [select list item list [get global lista_datos]
index 2]]
[set ESTmp25 &CTMP to [select list item list [get global lista_datos]
index 2]]
if [get global NUMmp25 <= 0] and [get global NUMmp25 <= 50]
then [set ESTmp25 BackgroundColor to #]
else if [get global NUMmp25 <= 50] and [get global NUMmp25 <= 100]
then [set ESTmp25 BackgroundColor to #]
else if [get global NUMmp25 <= 100] and [get global NUMmp25 <= 150]
then [set ESTmp25 BackgroundColor to #]
else if [get global NUMmp25 <= 150] and [get global NUMmp25 <= 200]
then [set ESTmp25 BackgroundColor to #]

else if [get global NUMmp25 <= 250] and [get global NUMmp25 <= 350]
then [set ESTmp25 BackgroundColor to #]
else if [get global NUMmp25 <= 350]
then [set ESTmp25 BackgroundColor to #]
[set global NUMmp1 to [select list item list [get global lista_datos]
index 1]]
[set ESTmp1 &CTMP to [select list item list [get global lista_datos]
index 1]]
if [get global NUMmp1 <= 0] and [get global NUMmp1 <= 50]
then [set ESTmp1 BackgroundColor to #]
else if [get global NUMmp1 <= 50] and [get global NUMmp1 <= 100]
then [set ESTmp1 BackgroundColor to #]
else if [get global NUMmp1 <= 100] and [get global NUMmp1 <= 150]
then [set ESTmp1 BackgroundColor to #]
else if [get global NUMmp1 <= 150] and [get global NUMmp1 <= 200]
then [set ESTmp1 BackgroundColor to #]
else if [get global NUMmp1 <= 200] and [get global NUMmp1 <= 300]
then [set ESTmp1 BackgroundColor to #]
else if [get global NUMmp1 <= 300]
then [set ESTmp1 BackgroundColor to #]
else if [get global NUMmp1 <= 350]
then [set ESTmp1 BackgroundColor to #]

[set NUMmp1 &CTMP disconnected]
[set ESTmp1 &CTMP to [set ESTmp1 &CTMP]]

```

```

when [NUMmp10 <= 400] click
do [open window screen screenName = [ESTmp10]]

```

```

when [NUMmp10 <= 500] click
do [open window screen screenName = [ESTmp10]]

when [NUMmp25 <= 0] click
do [open window screen screenName = [ESTmp25]]

when [NUMmp25 <= 50] click
do [open window screen screenName = [ESTmp25]]

when [NUMmp25 <= 100] click
do [open window screen screenName = [ESTmp25]]

when [NUMmp25 <= 150] click
do [open window screen screenName = [ESTmp25]]

when [NUMmp25 <= 200] click
do [open window screen screenName = [ESTmp25]]

```