



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA EN
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

AUTORA: MENESES BUITRÓN PATRICIA BELÉN

**TEMA: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE
CO₂ MEDIANTE REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS EN EL CAMPUS
UNIVERSITARIO DE LA ESPE**

DIRECTOR: ING. ROMÁN LARA

CODIRECTOR: ING. RODOLFO GORDILLO

SANGOLQUÍ, MARZO 2015

Certificado de tutoría

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CERTIFICADO

Ing. Román Lara

Ing. Rodolfo Gordillo

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE CO_2 MEDIANTE REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO DE LA ESPE", realizado por Patricia Belén Meneses Buitrón, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE en su reglamento.

Debido a que se trata de un trabajo de investigación recomiendan su publicación.

Sangolquí, 4 de Marzo del 2015.

Ing. Román Lara

DIRECTOR

Ing. Rodolfo Gordillo

CODIRECTOR

Declaración de Responsabilidad

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

PATRICIA BELÉN MENESES BUITRÓN

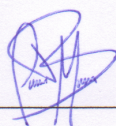
DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE CO_2 MEDIANTE REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO DE LA ESPE", ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan en las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mí autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 4 de Marzo del 2015.



Patricia Belén Meneses Buitrón

Autorización de publicación

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

PATRICIA BELÉN MENESES BUITRÓN

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE CO_2 MEDIANTE REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO DE LA ESPE", cuyo contenido, ideas y criterios son de mí exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 4 de Marzo del 2015.



Patricia Belén Meneses Buitrón

DEDICATORIA

Por su interminable amor, apoyo y confianza cuando deje nuestro hogar para realizarme como profesional; por sus enseñanzas, consejos y sobre todo por su eterna paciencia ya que gracias a ello me hicieron la mujer que soy ahora; este trabajo se lo dedico a mi Papi y mi Mami.

Patricia B. Meneses Buitrón

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios porque de la mano de él todo es posible. En los momentos de angustia, tristeza y alegría ha estado siempre a mi lado brindándome sabiduría y paciencia, para no dejarme rendir ante las adversidades y cumplir con este primer paso que me propuse en mi vida.

A mis padres, les agradezco infinitamente porque cuando decidí estudiar esta carrera me apoyaron y confiaron en mí; por haber entendido que muchos momentos familiares no los pude compartir y aunque fue difícil y duro siempre estuvieron animándome y motivándome, ahora espero recompensar esos momentos dándoles esta alegría y satisfacción al haber culminado con éxito mis estudios, como siempre lo esperaron.

A mi hermano, con quien viví en una nueva ciudad lejos de nuestros padres, pero juntos estuvimos para apoyarnos en cada momento bueno y malo que tuvimos, te agradezco porque desde niños estuviste a mi lado cuidándome y pese a que ahora tienes tu familia continúas pendiente de mí. También te agradezco porque me has brindado la alegría de ser tía de dos hermosos niños, Amelia Belén y José Ignacio, para ellos espero ser inspiración y ejemplo en su vida personal y profesional.

Agradezco a toda mi familia, mis abuelitos, tíos, tías, primos y primas; porque me han brindado cariño y aprecio sincero, todos y cada uno de ustedes han estado conmigo con el único interés de verme crecer y hacerme una mejor persona.

A mi amigo y enamorado; Marcelo, porque en ti encontré una verdadera amistad y apoyo, porque juntos aprendimos a ser el apoyo el uno del otro y logramos superar

los problemas que tuvimos mientras fuimos compañeros en las aulas, pero también aprendimos a crecer como mejores personas con lecciones que la vida nos dió. Te agradezco porque supiste comprender los momentos en los que no pude estar a tu lado por poner en primer lugar mis estudios, pero sobre todo te agradezco porque tú me brindaste una segunda familia con tus papis y tus hermanos, en momentos en los que no pude compartir con la mía.

Agradezco a mis tutores en este proyecto, Ing. Lara e Ing. Gordillo, porque me han sabido orientar e impartir sus conocimientos para llevar a cabo de mejor manera este trabajo y culminarlo alcanzando lo que esperábamos; también agradezco a todos los ingenieros con los que me encontré en mi camino de estudios que me impartieron sus conocimientos para ser una buena profesional, y, en especial a los ingenieros del laboratorio de I+D, porque siempre estuvieron pendientes de este proceso y me brindaron buenos momentos y comentarios para mejorar este trabajo. De manera especial quiero agradecerle al Ing. Freddy porque más que ser un docente es un verdadero amigo que siempre tuvo consejos para orientarme y apoyarme en los momentos que necesité conversar con una persona con experiencia en la vida como la tiene él.

A todos los amigos que hice durante estos años, porque con ellos compartimos largas noches de estudios pero también momentos de distracción llenos de alegrías.

Patricia B. Meneses Buitrón

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
GLOSARIO	xix
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Motivación e Importancia del Proyecto	2
1.3 Alcance del Proyecto	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1 General	4
1.4.2 Específicos	5

2	MARCO TEÓRICO	6
2.1	Redes de sensores inalámbricos	6
2.1.1	Introducción	6
2.1.2	Arquitectura de las redes de sensores inalámbricas	8
2.2	Redes <i>Ad Hoc</i>	11
2.2.1	ZigBee y 802.15.4	14
2.3	<i>Internet of things</i>	18
2.3.1	Historia y evolución	19
2.3.2	Aplicaciones	20
2.4	Trabajos relacionados	20
2.4.1	Sistema de monitorización de CO_2	21
2.4.2	Sistema de monitorización de la calidad del aire	22
2.4.3	Monitorización de la calidad del agua	23
2.4.4	Monitorización de contaminación en Quito	23
2.4.5	<i>Smart Cities</i>	24
3	MÉTODOS Y MATERIALES	28
3.1	Medición de CO_2 en partes por millón	28
3.2	Hardware empleado	30
3.2.1	Características de los nodos	30
3.2.2	Características de la Placa de Gases	34
3.2.3	Características de los módulos transmisores	36
3.2.4	Características del gateway	38
3.3	Interfaz Gráfica para el Usuario	44
4	DESARROLLO DEL SISTEMA	45
4.1	Arquitectura del Sistema	45
4.2	Diseño de la red ZigBee	46

4.2.1	Topología de la red de sensores	46
4.2.2	Frecuencia de muestreo	47
4.2.3	Gestión del ahorro de energía	48
4.3	Configuración de Equipos	50
4.3.1	Programación de los nodos	50
4.3.2	Configuración de los módulos transmisores	52
4.3.3	Configuración del gateway	54
4.4	Programación de la Interfaz de Usuario	60
4.4.1	Descripción de Pantallas	61
5	IMPLEMENTACIÓN DE LA RED Y PRUEBAS	64
5.1	Despliegue de la Red de Sensores Inalámbricos	64
5.1.1	Despliegue Exterior	64
5.1.2	Despliegue Interior	66
5.2	Características de la Recolección de datos	67
5.3	Resultados obtenidos	68
5.4	Análisis de Resultados	78
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
	BIBLIOGRAFÍA	84
A	INSTALACIÓN DE ANTENAS Y FUENTE DE ENERGÍA DEL MESH- LIUM	87
B	CÓDIGO PHP PARA GRÁFICOS	89
C	ACTUALIZACIÓN DE LA VERSIÓN DEL MESHLIUM	91

D ELIMINAR TABLA sensorParser DE LA BASE DE DATOS

ÍNDICE DE TABLAS

1	Características WSN y <i>Ad Hoc</i>	12
2	Clasificación de Protocolos	13
3	Bandas de frecuencia de uso no regulado de ZigBee.	16
4	IoT Aplicaciones en diferentes áreas.	20
5	Condiciones para las pruebas en parqueaderos.	67
6	Condiciones para las pruebas en el laboratorio.	68
7	Efectos de los niveles de CO_2	78

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Elementos de una WSN.	8
2	Partes que conforman los nodos.	9
3	Encaminamiento de datos con visibilidad directa y por medio de nodos intermedios.	11
4	Capas de Red que conforman la especificación ZigBee.	14
5	Uso de los periodos de silencio de Wi-Fi para transmitir ZigBee. . . .	15
6	Canales disponibles en IEEE 802.15.4.	16
7	Modulación DSSS.	17
8	Internet de las cosas.	19
9	Esquema del funcionamiento de la aplicación de monitorización. . . .	21
10	Arquitectura a micro escala del sistema de monitorización de calidad de aire.	22
11	Arquitectura monitorización calidad del agua.	23
12	Equipos para monitorización en ciudades del país.	24
13	Micro-aerogenerador de la ciudad de Málaga	25
14	EkoBus.	26
15	Comportamiento de moléculas de CO_2 con incremento de presión a temperatura constante.	29
16	Comportamiento de moléculas de CO_2 con incremento de temperatura a presión constante.	29

17	Placa Waspote.	30
18	Estructura de la trama ASCII.	31
19	Estructura de la cabecera.	32
20	Placa de Gases.	34
21	Sensor de CO_2 TGS4161.	35
22	Circuito acondicionador para el sensor de CO_2	36
23	Módulo XBee 802.15.4 S1.	36
24	Pruebas de conexión con el módulo transmisor.	37
25	Conexión establecida.	38
26	Modo de trabajo de Meshlium como AP.	39
27	Modo de trabajo de Meshlium como 3G/GPRS.	40
28	Modo de trabajo de Meshlium como ZigBee AP.	40
29	Modo de trabajo de Meshlium como ZigBee 3G/GPRS AP.	41
30	Topología en estrella.	42
31	Topología en malla.	43
32	Topología híbrida.	43
33	Arquitectura del sistema.	46
34	Topología de la red.	47
35	Diagrama de flujo funcionamiento del <i>Deep Sleep</i>	48
36	Configuración y carga de parámetros.	54
37	Red WiFi Meshlium2.	55
38	Ingreso.	55
39	Selección del modo de trabajo.	56
40	Configuración Meshlium ZigBee AP.	56
41	Configuración Meshlium ZigBee AP seleccionado y guardado.	57
42	Configuración IP Pública.	57
43	Configuración red WiFi.	58

44	Envío de datos al Meshlium.	59
45	Pantalla principal.	60
46	Opción Visualización del Mapa.	61
47	Ventana de información del nodo.	62
48	Opción Estadísticas.	62
49	Gráfico Estadístico en Barras del sensor A.	63
50	Opción Contactos.	63
51	Ensamble de la caja con todos los componentes.	65
52	Colocación de los nodos en los postes de luz.	65
53	Distribución de los nodos (A y B), y el Gateway (C) en exteriores. . .	66
54	Distribución de los nodos en interiores.	67
55	Variación de la concentración de CO_2 en el tiempo, día 1 exterior: sensor A (azul), sensor B (amarillo)	69
56	Variación de la concentración de CO_2 en el tiempo, día 1, prueba 2 exterior: sensor A (azul), sensor B (amarillo)	70
57	Variación de la concentración de CO_2 en el tiempo, día 1: sensor A (azul), sensor B (verde), sensor C (rojo), sensor D (cian), sensor G (púrpura), sensor H (amarillo)	71
58	Variación de la concentración de CO_2 en el tiempo, día 2, prueba 1: sensor A (azul), sensor B (verde), sensor C (rojo), sensor D (cian), sensor G (púrpura), sensor H (amarillo)	72
59	Variación de la concentración de CO_2 en el tiempo, día 2, prueba 2: sensor A (azul), sensor B (verde), sensor C (rojo), sensor D (cian), sensor G (púrpura), sensor H (amarillo)	73
60	Variación de la concentración de CO_2 en el tiempo, día 3, prueba 1: sensor A (azul), sensor B (verde), sensor C (rojo), sensor D (cian), sensor G (púrpura), sensor H (amarillo)	74

61	Variación de la concentración de CO_2 en el tiempo, día 3, prueba 2: sensor A (azul), sensor B (verde), sensor C (rojo), sensor D (cian), sensor G (púrpura), sensor H (amarillo)	75
62	Variación de la concentración de CO_2 en el tiempo, día 4, prueba 1: sensor A (azul), sensor B (verde), sensor C (rojo), sensor D (cian), sensor G (púrpura), sensor H (amarillo)	76
63	Variación de la concentración de CO_2 en el tiempo, día 4, prueba 2: sensor A (azul), sensor B (verde), sensor C (rojo), sensor D (cian), sensor G (púrpura), sensor H (amarillo)	77
64	Ajuste de antenas	87
65	Insertar el cable ethernet.	88
66	Insertar el POE.	88

RESUMEN

El dióxido de carbono (CO_2) es el principal gas de efecto invernadero emitido por actividades humanas, por lo que este trabajo da el punto de partida para conocer el nivel de contaminación en el campus universitario de la ESPE; ayudados de la tecnología ZigBee se desplegó una red de sensores inalámbricos (WSN) en los parqueaderos de los Laboratorios de Electrónica utilizando los kit de sensores Libelium: Waspote, placa de gases y Gateway modelo Meshlium XTreme; se desplegaron dos nodos y el equipo terminal; la separación entre nodos es de 30 metros y 80 metros entre el primer nodo y el gateway, debido a que se usaron postes de luz que existían en el lugar. La información se la presenta en una página web en donde el usuario puede consultar: los puntos de despliegue la red, información de emisiones de CO_2 en partes por millón y la información sobre el nivel de batería de cada sensor. Los datos recolectados son almacenados en una base de datos local que por medio de la plataforma ArcGis se suben a internet y se presentan en un mapa geográfico de la zona de despliegue; adicionalmente también se extrajo los valores almacenados en la base de datos para consultar cada sensor y realizar un gráfico estadístico que reporte las emisiones capturadas. Los resultados obtenidos denotan que la calidad del aire fue aceptable y no tienen efectos en la salud, ya que no superan los 500 ppm de concentración de CO_2 , esto demuestra que el laboratorio en el que se llevaron a cabo las pruebas cuenta con ventanas que permiten la entrada y salida del aire por lo que las emisiones no se concentran.

Palabras clave: CO_2 , Zigbee, WSN, Waspote, Nodos, Gateway, Partes por millón, ArcGis, Base de datos.

ABSTRACT

Carbon dioxide (CO_2) is the primary greenhouse gas emitted through human activities, so this work provides a starting point to determine the level of contamination in the campus of the ESPE; using technology ZigBee and wireless sensor network (WSN) is deployed in parking of Electronics Laboratories using Libelium kit: Wasp-mote, gases sensor board and Gateway Meshlium XTreme, two nodes and the terminal equipment was deployed and the separation between nodes is 30 meters and 80 meters between the first node and the gateway because we use street lamp that existed at the location. The information is presented on a web page and the user can consult: the points where the network is deployed, information of emissions of CO_2 in parts per million and information about the battery level of each sensor. The collected data are stored in a local database that through the ArcGIS platform up to the internet and are presented in a geographical map of the area of deployment; additionally stored values was also extracted in the database to query each sensor and report emissions of CO_2 captured in a estadistic graph. The results denote that air quality was acceptable and have no health effects because it does not exceed 500 ppm concentration of CO_2 , this shows that the laboratory for tests had windows allowing entry and exit of air so that emissions are not concentrated.

Key words: CO_2 , Zigbee, WSN, Wasp-mote, Nodes, Gateway, Parts per millon, ArcGis, Database.

GLOSARIO

A

Ad Hoc Red inalámbrica descentraliza que no depende de una infraestructura pre-existente.

ASCII Sistema de codificación de caracteres alfanuméricos que asigna un número del 0 al 127 a cada letra, número o carácter especial.

B

Binario Que está en un sistema de numeración de base dos, 0 y 1.

Bit Unidad mínima de información, que puede tener solo dos valores (cero o uno).

Byte Conjunto de 8 bits que recibe el tratamiento de una unidad y que constituye el mínimo elemento de memoria direccionable de una computadora.

C

Convergencia Unión en un punto de varias líneas o trayectorias.

CSMA/CA Acceso múltiple con detección de portadora evitando colisiones.

E

EMF Fuerza Electromotriz.

Encaminamiento función de buscar un camino entre todos los posibles en una red de paquetes cuyas topologías poseen una gran conectividad.

Estación Base instalación fija o moderada de radio para la comunicación media, baja o alta bidireccional.

Estadísticas Estudio de una determinada característica en una población, recogiendo los datos, organizándolos en tablas, representándolos gráficamente y analizándolos para sacar conclusiones de dicha población.

Ethernet Estándar de redes de área local para computadores con acceso al medio por detección de la onda.

G

Gateway Dispositivo dedicado a intercomunicar sistemas con protocolos incompatibles.

H

Host Computadoras conectadas a una red.

I

Impedancia Resistencia aparente de un circuito dotado de capacidad y autoinducción al flujo de una corriente eléctrica alterna, equivalente a la resistencia efectiva cuando la corriente es continua.

Inicializar Activar los dispositivos necesarios para poner en funcionamiento un proceso informático.

Interfaz Zona de comunicación o acción de un sistema sobre otro.

Interrupción Acción o efecto de interrumpir.

IoT Internet de las cosas.

ISM Bandas reservadas internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética.

L

LAN Red de Área Local.

M

Microsensores Dispositivos o instrumentos de tamaño relativamente pequeño, comparado con el resto, que tienen el objetivo de medir alguna variable dentro del sistema en el cual se encuentra.

MIT Instituto Tecnológico de Massachusett.

Monitoreo Controlar el desarrollo de una acción o un suceso.

N

Nodo Punto de intersección, conexión o unión de varios elementos que confluyen en el mismo lugar.

O

ONU Organización de Naciones Unidas.

P

Paquete de datos Cada uno de los bloques en que se divide la información para enviar, en el nivel de red.

PPM Partes por millón.

R

Reorganizar Modificar la manera en que está estructurada u organizada cierta cosa.

S

Sensor Dispositivo que capta magnitudes físicas (variaciones de luz, temperatura, sonido, etc.) u otras alteraciones de su entorno.

Sobrecargar Producir una sobrecarga en algo o a alguien.

T

Topología Ciencia que estudia los razonamientos matemáticos, prescindiendo de los significados concretos.

V

Variable Que está sujeto a cambios frecuentes o probables.

W

WSN Redes de Sensores Inalámbricos que consiste en dispositivos distribuidos espaciados autónomos utilizando sensores para monitorear condiciones físicas o ambientales.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Las ciudades del siglo XXI se enfrentan a enormes retos sociales, políticos, medioambientales y económicos. Según una previsión de la Organización de Naciones Unidas (ONU) en el año 2050, el 70% de la población mundial vivirán en centros urbanos. Además, la ONU advierte que el aumento de población en las ciudades puede llegar a ser un gran problema, a menos que se establezca un equilibrio entre los aspectos sociales y ambientales, así como entre los propios cuidados (Buj & Betancur, 2007).

Actualmente en nuestro país aún se vive un entorno en donde la población de las zonas rurales busca nuevas oportunidades de desarrollo y progreso en las ciudades capitales más cercanas. El 62,77% de población viven en zonas urbanas mientras que el 37,23% aún viven en zonas rurales (INEC, 2015), sin embargo las proyecciones de las que se hablan denotan que la población en zonas urbanas continuará creciendo por lo que es necesario empezar a realizar proyectos preventivos para que las ciudades se desarrollen antes de que la población crezca indiscriminadamente.

Estas cifras nos dan a notar claramente los grandes retos que la sociedad debe

afrontar para minimizar los efectos de emisión de Dióxido de Carbono (CO_2). La población está en el camino de aprendizaje de medidas a tomar para cambiar sus hábitos y así cuidar el medio ambiente e incluso su salud. Un alto grado de contaminación viene dado por gases como CO_2 y el Monóxido de Carbono (CO), en su mayoría éstos son producidos por la quema de combustibles fósiles como el carbón y petróleo.

Según la Dirección Nacional de Hidrocarburos de Ecuador, la mayor contaminación atmosférica (76%) es causada por los vehículos que utilizan hidrocarburos de baja calidad. Por ejemplo, la cantidad de azufre que tiene el diésel en nuestro país es seis veces mayor a lo que toleran las normas en Estados Unidos. Aunque al menos estos combustibles no contienen plomo (Córdova G, 2012).

Es por ello que se hace necesario y urgente tomar medidas para poder contrarrestar la contaminación que dejan los vehículos, una solución a esto es la monitorización del CO_2 . De esta forma se podría saber claramente las zonas que están siendo mayormente contaminadas y así llevar un control sobre los causantes o poder determinar las horas en las que existe mayor contaminación por CO_2 .

1.2 Motivación e Importancia del Proyecto

En la actualidad no es novedad que el clima ha cambiado considerablemente con el paso de los años: lluvias, oleadas de sol, descongelamientos glaciales, entre otros son fenómenos naturales más comunes que se pueden encontrar en cualquier parte del mundo e incluso donde se tenía bien marcado las estaciones climáticas. Esto ha provocado que en el mundo entero se tomen medidas para cuidar el medio ambiente y hacer que el impacto tienda a ser menor en la población.

Actualmente las campañas de publicidad generan tanta información sobre las causas de la contaminación en la ciudad, que la población toma medidas para cambiar sus hábitos respecto al cuidado del ambiente. Al realizar un informativo del grado de contaminación en una comunidad, ciudad o campus universitario permite ejercer algún tipo de medida en zonas donde hay mayor concentración de CO_2 y así lograr bajar estos índices por acción propia de la población.

Informar a la ciudadanía el nivel de contaminación permite que se vuelvan partícipes activo para cuidar el medio ambiente, ya que se podrán conocer los puntos donde se generen mayor cantidad de contaminación de CO_2 ; para ello se usa las redes de sensores inalámbricos desplegados para la monitorización y posteriormente la manipulación de los datos obtenidos para presentarlos de forma amigable para el usuario. Para lograr la manipulación correcta de los datos obtenidos y por ende la presentación de resultados se hace uso de Internet con su nuevo concepto que es el *Internet of things* (IoT), el cual permite tomar en cuenta el gran impacto que la Internet tiene en la educación, ciencia, gobiernos y comunicación entre otros.

1.3 Alcance del Proyecto

En el presente proyecto de investigación se implementó un sistema de monitorización de CO_2 en el campus matriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, usando una red de sensores inalámbricos, por lo que en el espacio de los parqueaderos de los laboratorios de Electrónica se colocó 2 módulos inalámbricos terminales y un 1 Router ZigBee, que permite dar el servicio por Internet, para que se presente la información que se obtiene a los usuarios. Para tomar muestras y obtener un análisis estadístico de las emisiones de CO_2 se realizaron pruebas con el sistema en exteriores, adicionalmente en interiores se realizaron pruebas en el Laboratorio de Comunicaciones Inalámbricas desplegando 6 módulos inalámbricos terminales y 1 módulo coordinador

para la adquisición de datos de la red. Estos sensores fueron suministrados por el Centro de Investigaciones de Redes Ad Hoc (CIRAD) y la alimentación y carga se realiza mediante sus baterías y paneles solares, respectivamente.

Para la adquisición de datos por medio de la red de sensores, se hizo uso de los postes de luz o de torres que se encuentran ya instaladas y se colocaron los sensores de CO_2 ; se usó un Gateway, y con la ayuda de una base de datos se almacenó la información obtenida, para posteriormente subir la aplicación a Internet y visualizarla mediante un navegador web. La presentación de resultados muestra los índices de contaminación en partes por millón (ppm) en los puntos del despliegue; así se puede conocer el día, la fecha y la hora en que se detecta la emisión de CO_2 . Finalmente la información está disponible en Internet y por medio de un navegador web se puede acceder a la misma las 24 horas del día mientras los equipos se encuentren encendidos.

Es importante mencionar que el sistema que se desarrolló en este proyecto permite al administrador aumentar la capacidad y cantidad de sensores de modo que el proyecto sea escalable a futuro.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

- Implementar un sistema de monitorización de CO_2 mediante redes de sensores inalámbricos en el campus universitario de la ESPE, para conocer el grado de contaminación.

1.4.2 Específicos

- Desplegar un sistema con sensores inalámbricos para poder monitorizar CO_2 en el campus universitario matriz.
- Desarrollar una página web para poder realizar consultas de los índices de contaminación de cada sensor desplegado.
- Determinar los efectos en la salud que conlleva estar expuesto a emisiones de CO_2 .
- Realizar pruebas con diferentes condiciones de clima y en el mismo espacio para obtener un análisis de las emisiones en interiores.
- Investigar aplicaciones de redes de sensores inalámbricas en monitorización de gases.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Redes de sensores inalámbricos

En Febrero de 2003, el *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), identificó diez tecnologías emergentes que cambiarán el mundo y las Wireless Sensor Networks (WSN) aparecían en primer lugar, gracias a las posibilidades que da la tecnología de crear una red de dispositivos de captura constante, que permiten registrar y almacenar una determinada información, transmitir datos de un dispositivo a otro, y después retransmitir toda la información almacenada en una localización central. Teniendo en cuenta que todo ello funcionará con un gasto de energía muy reducido (Londoño Mancheno, 2011).

2.1.1 Introducción

Los últimos avances tecnológicos han hecho realidad el desarrollo de mecanismos distribuidos, diminutos, económicos y de bajo consumo, que son capaces de procesar información localmente como de comunicarse de forma inalámbrica. La disponibilidad de micro sensores y comunicaciones inalámbricas permitirá desarrollar redes de sensores para un amplio rango de aplicaciones (Sanchis, 2007).

La idea de una red de sensores surge gracias a las posibilidades que nos da la tecnología de crear una red de dispositivos de captura constante, que nos permita registrar y almacenar una determinada información, transmitir datos de un dispositivo a otro, y después retransmitir toda la información para almacenarla en una localización central (Martínez, Meré, et al., 2009).

Una red de este tipo es un flexible y poderoso instrumento para poder monitorizar complejos sistemas, donde situar los sensores puede ser imposible de cualquier otra manera. El objetivo de la recolección de datos por medio de los sensores en la monitorización, es la obtención de los datos teniendo como única limitación las características propias de los sensores.

A pesar de todo ello, la cantidad de datos leídos cada día es mayor ya que los sensores y las redes de sensores tienen un crecimiento imparable. Existen tres pasos a seguir para la explotación de los datos, éstos son (Martínez et al., 2009):

1. Los datos recolectados deben convertirse en información, a través de una recolección sistemática, una integración y una organización. En este proceso existe una gran área de investigación en cuanto a la recolección y la conversión de los datos.
2. A partir de la información se obtiene un conocimiento. El proceso de convertir esta información a través de un análisis predictivo es definido como descubrimiento del conocimiento, de esta forma se debe tener la habilidad de generar conocimientos no triviales, ni intuitivos sino al contrario llenos de significado a partir de la información.
3. Obtener una decisión a partir de un conocimiento. Esto significa que la información obtenida y los conocimientos adquiridos deben ser estudiados en conjunto, junto con un análisis en tiempo real que nos permita tomar decisiones.

Este documento se centra en desarrollar los tres puntos, así se capta, recoge, gestiona, envía y almacena la información para luego desarrollar un análisis de esta información.

2.1.2 Arquitectura de las redes de sensores inalámbricas

Las redes de sensores están formadas por un conjunto de pequeños dispositivos denominados nodos sensores y se encuentran dispersos de manera (*Ad Hoc*) en una determinada área a monitorizar. Por lo tanto existen elementos que intervienen en la red y en éste trabajo como los que se observa en la Figura 1; es por ello que a continuación se explicará a profundidad cada uno de los elementos.

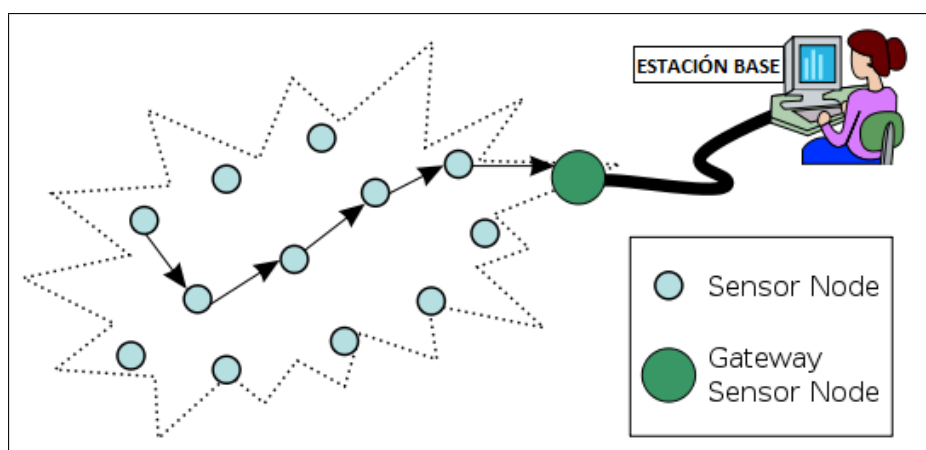


Figura 1: Elementos de una WSN.

Fuente: (Chicaiza García, 2009)

Cabe recalcar que los Sensores y Nodos pueden variar de uno en cientos, el Gateway que dependiendo del tipo de monitorización se podría tener uno o varios y la Estación Base que de preferencia es una.

2.1.2.1 Nodos

Son los procesadores que toman los datos recolectados por los sensores a través de sus puertas de datos y, envían la información a la estación base.

- **Arquitectura de un nodo** En la Figura 2 se detallan las partes que deben formar un nodo para su correcto funcionamiento, es decir, trabajar con el mínimo uso de energía pero con el máximo tiempo de vida sin la intervención de una persona.

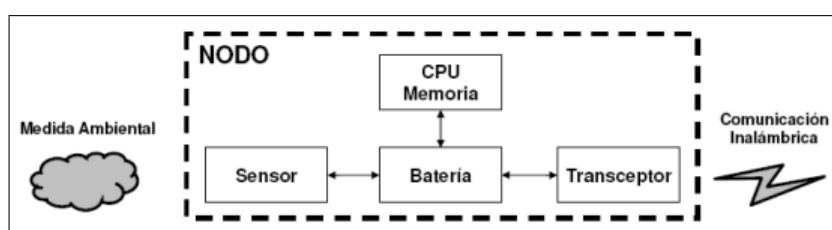


Figura 2: Partes que conforman los nodos.

Fuente: (Chicaiza García, 2009)

- **Unidad central con consumo de energía y memoria limitada:** El microprocesador realiza en varias fases la ejecución y la realización de cada instrucción:
- **Fuente de energía:** Generalmente se usa baterías pero para los lugares donde no se dispone de red eléctrica o la posibilidad de sustituir las baterías es muy complicado, se hace uso de paneles solares diseñados específicamente para las motas que se usan.
- **Comunicación Inalámbrica:** El dispositivo de comunicación permite enviar y recibir datos para comunicarse con otros dispositivos dentro de su rango de transmisión. Los nodos usan bandas de frecuencia abiertas a todo el mundo sin necesidad de licencia, respetando regulaciones que limitan los niveles de potencia transmitida, conocidas como bandas (ISM) (Martínez et al., 2009).

- **Transmisor-Receptor como dispositivo de comunicación:** Este dispositivo es el encargado de emitir señales electromagnéticas al canal de comunicación y recibir señales electromagnéticas para ser procesadas por el microcontrolador.
- **Sensores:** Los sensores son parte del medio y toman la información para convertirla en señales eléctricas, es importante mencionar que pueden ser de distinta naturaleza y tecnología, por ello la necesidad de definir las características con las que se trabajará para la monitorización. En la actualidad es normal que en ciertos entornos de trabajo o descanso nos encontremos con sensores para la temperatura, medio ambiente, luces, entre otros.

2.1.2.2 Gateway o Puerta de Enlace

Es el elemento que sirve para la interconexión entre la red de sensores y una red de datos (TCP/IP). El Gateway es un nodo de sensado común conectado hacia el exterior que realiza las funciones de un puente entre el funcionamiento interno de la red y la unidad de control externa pero no contiene el elemento sensor (Chicaiza García, 2009).

En este tipo de aplicaciones como las que se desarrolla en este proyecto, este elemento no puede operar completamente aislado y debe contar con alguna forma de monitorizar y acceso a la información adquirida por los nodos de la red de sensores, de aquí surge la necesidad de conectar las redes de sensores a infraestructuras de redes existentes como Internet, redes de área local (LAN) e intranets privadas (Martínez et al., 2009).

2.1.2.3 Estación Base

Recolector de datos basado en un ordenador común o sistema integrado. Las estaciones base son uno de los elementos de mayor importancia en la WSN, ya que tienen recursos

de cálculo, energía y principalmente de comunicación.

2.2 Redes *Ad Hoc*

Las redes más usadas cuando se usan redes de sensores inalámbricas son las conocidas como redes mallas tipo *Ad Hoc*. Son redes sin infraestructura y sobre todo flexibles, es decir que permiten la comunicación de estaciones que no tienen conexión inalámbrica directa, lo que significa que ofrecen servicio de encaminamiento (Martínez et al., 2009).

Los dispositivos que forman parte de esta red no solo funcionan como terminales sino que también realizan funciones de retransmisión de paquetes. Es por esta cualidad que se puede encaminar paquetes a destinos sin cobertura directa a través de otros nodos intermedios que se encuentran en la red. Gráficamente se puede visualizar esta estructura en la Figura 3.

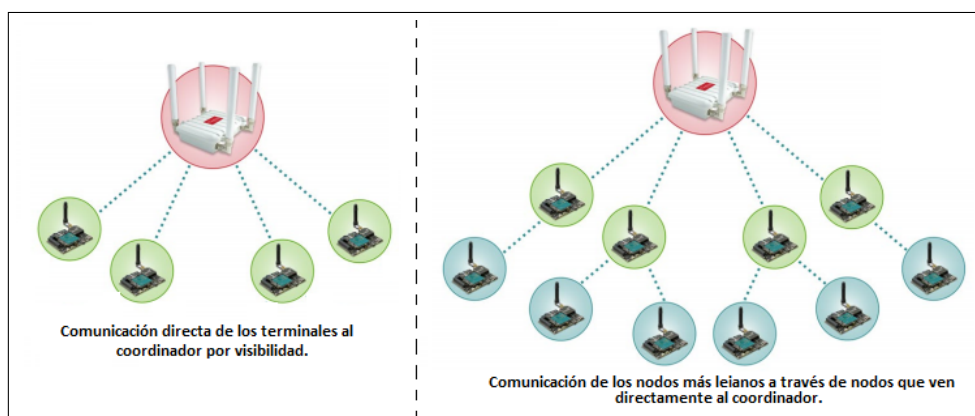


Figura 3: Encaminamiento de datos con visibilidad directa y por medio de nodos intermedios.

Fuente: (Libelium, 2014d)

2.2.0.4 Características de una WSN y una red *Ad Hoc*

Las características varían dependiendo de las aplicaciones en las que se usen, sin embargo se pueden identificar características que independientemente de su uso son comunes entre sí, éstas son (Villada Ramírez, Ospina Mendoza, Jaramillo Jaramillo, et al., 2011) (Moñino Martínez, 2008) (Martínez et al., 2009):

Tabla 1: Características WSN y *Ad Hoc*

Comunicación y Consumo de energía	Los nodos usan comunicación por difusión, los vecinos están cerca unos de otros y la comunicación <i>multihop</i> consigue un menor consumo de potencia que la comunicación <i>single hop</i> .
Topología de red dinámica	La red de forma autónoma debe determinar sus propios parámetros de configuración: dirección, encaminamiento, <i>clustering</i> , etc.
Escalabilidad para el despliegue	La cantidad de nodos que se despliegan en una red puede llegar hasta los miles, pudiendo crecer su número a lo largo de la vida de la red.
Seguridad	Estos tipos de redes son vulnerables a ataques, pueden tener ataques activos como pasivos y el atacante puede emular a un nodo legítimo y capturar paquetes de datos y control.
Conservación de la energía	Los nodos móviles, tienen la batería limitada y a no ser que dispongan de algún mecanismo de carga como paneles solares, no tienen capacidad de recarga.

Fuente: Elaborado por autora de la investigación.

2.2.0.5 Protocolos

Para que las características mencionadas en la sección anterior sean viables es necesario la inclusión de protocolos de encaminamiento que permitan crear las rutas hacia los destinos deseados.

Tabla 2: Clasificación de Protocolos

Protocolos Proactivos	Protocolos Reactivos
Envían periódicamente la información de encaminamiento para que en cualquier momento cualquier nodo pueda comunicarse con cualquier otro de la red.	Crean rutas sólo cuando es necesario, se los conoce como protocolos bajo demanda.
<i>Destination-Sequenced Distance Vector (DSDV)</i>	<i>Dynamic Source Routing (DSR)</i>
Sólo proporciona un camino para cada destino, pero elige el camino más corto basándose en el número de saltos hacia ese destino.	Los paquetes de datos incluyen una cabecera de información acerca de nodos exactos que deben atravesar.
<i>Optimized Link-State Routing Algorithm (OLSR)</i>	<i>Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV)</i>
Todos los nodos intercambian mensajes para formarse una visión consistente de toda la red y así poder decidir el encaminamiento de paquetes.	Cuando un nodo necesite comunicarse con otro que no está en su tabla, inicia un proceso de descubrimiento de ruta hacia el destino concreto.

Fuente: Elaborado por autora de la investigación.

2.2.1 ZigBee y 802.15.4

En Wireless Sensor Networks, existen dos tipos de dispositivos que realizan las tareas que describe el estándar IEEE 802.15.4, los primeros son los *Full Function Devices* (FFDs) y son capaces de realizar todas las tareas del estándar y aceptar cualquier función en la red, mientras que los *Reduced Function Devices* (RFDs) son dispositivos que poseen capacidades limitadas (Albarracín Samaniego & Contero Rosero, 2012). Esto significa que los dispositivos RFDs pueden comunicarse únicamente con otros RFDs mientras que los FFDs se comunican sin problemas con ellos mismos y con RFDs.

En la Figura 4 se observan las capas que componen la especificación ZigBee. Las dos capas inferiores: Capa física (*Physical Layer PHY*) y la Capa de Acceso al Medio (*Media Acces Control MAC*) son definidas por el estándar IEEE 802.15.4; las Capas de Red (*NWK*), Aplicación (*APL*) y Seguridad (*APS Security*) son definidas por ZigBee, así se adopta las dos primeras por estándar IEEE 802.15.4 y esto permite que cualquier dispositivo ZigBee sea compatible con IEEE 802.15.4 (Albarracín Samaniego & Contero Rosero, 2012)

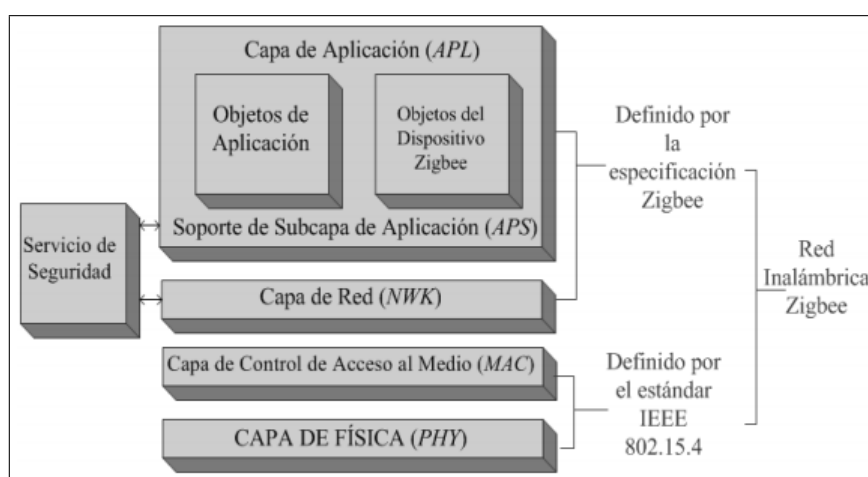


Figura 4: Capas de Red que conforman la especificación ZigBee.

Fuente: (Albarracín Samaniego & Contero Rosero, 2012)

Gracias a que IEEE 802.15.4 fue desarrollado independientemente de la especificación ZigBee es posible construir redes inalámbricas de corto alcance basadas únicamente en IEEE 802.15.4 sin implementar así capas específicas de ZigBee.

2.2.1.1 Acceso al Medio

El estándar ZigBee de la norma IEEE 802.15.4 usa CSMA/CA como acceso al medio, es decir, acceso múltiple con detección de portadora evitando colisiones.

Las interferencias que provocan las transmisiones con WiFi son predominantes en muchas áreas donde trabaja ZigBee, sin embargo ZigBee usa el método de CSMA/CA lo cual le habilita para continuar con su comunicación aunque el tráfico WiFi sea pesado.

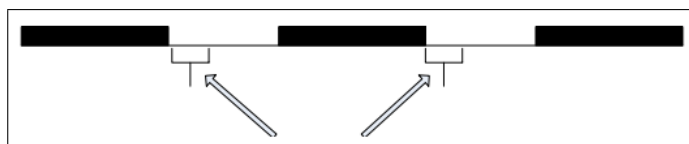


Figura 5: Uso de los periodos de silencio de Wi-Fi para transmitir ZigBee.

Fuente: (Albarracín Samaniego & Contero Rosero, 2012)

Como se observa en la Figura 5, existen espacios de silencio cuando WiFi está transmitiendo, los mismos que son aprovechados por ZigBee para transmitir y así evitar colisiones. Basados en el estándar IEEE 802.15.4 y en pruebas experimentales realizadas en el artículo "Consideraciones esenciales para el diseño de redes ZigBee", se argumenta que existe el 0% de error aun cuando se tenga un enrutador de WiFi muy cercano a una red ZigBee y trabajando en el mismo canal, demostrando de esta manera el excelente trabajo y robustez que tiene ZigBee al compartir el medio con otras tecnologías (Albarracín Samaniego & Contero Rosero, 2012).

2.2.1.2 Bandas de Operación

Zigbee opera en diferentes bandas de radio, dependiendo del lugar donde nos encontremos, como se muestra en la Tabla 3:

Tabla 3: Bandas de frecuencia de uso no regulado de ZigBee.

	Banda	Cobertura	Tasa de datos	Número de canales
2.4 GHz	ISM	Mundial	250 kbps	16
868 MHz		Europa	20 kbps	3
915 MHz	ISM	Norte América	40 kbps	30

Fuente: Elaborado por autora de la investigación.

Los canales especificados por IEEE 802.15.4 son 16 cada uno de 5 MHz de ancho de banda de diferencia según la Figura 6, partiendo como base la frecuencia de 2.405 GHz, se llega hasta los 2.480 GHz (Oyarce, Aguayo, & Martin, 2010).

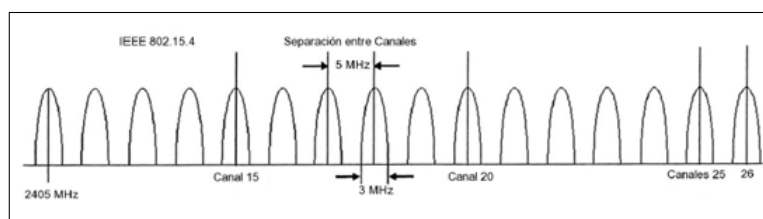


Figura 6: Canales disponibles en IEEE 802.15.4.

Fuente: (Oyarce et al., 2010)

Se observa que hay 16 canales disponibles, sin embargo, los valores se asignan desde el 11 hasta el 26.

2.2.1.3 Método de Transmisión

El estándar responde bien contra el ruido al aplicar *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) a la información para modularla antes de ser enviada a la capa física, como muestra la Figura 7. Básicamente, cada bit de información que se transmite se modula en 4 diferentes señales, este proceso hace que la información total que se entregará ocupará un ancho de banda mayor, pero utiliza una menor densidad espectral de potencia para cada señal (Londoño Mancheno, 2011).

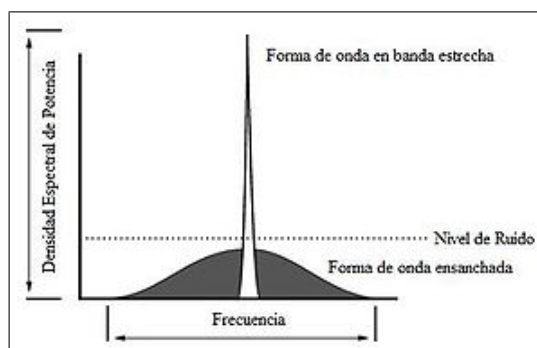


Figura 7: Modulación DSSS.

Fuente: (Londoño Mancheno, 2011)

Esto provoca que exista menor interferencia en las bandas de frecuencia usadas y mejora la relación señal/ruido en el receptor, debido a que es más fácil detectar y decodificar el mensaje que se envía por el transmisor.

2.2.1.4 Modo Ahorro de Energía

Existen tres métodos por los que podemos ahorrar energía en cada nodo de la red ZigBee (Villegas, 2006):

1. **Por medio del ciclo de trabajo del CPU:** Un dispositivo configurado como RFD tiene la capacidad de entrar a un modo de ahorro de energía cuando éste no se encuentre en uso, a este modo se lo llama *Sleep Mode*.

2. **Reduciendo frecuencia del reloj en el procesador:** En este caso se debe calcular cual es el mínimo de reloj necesario para resolver las tareas que se necesitan. La cantidad de energía ahorrada varía en cada procesador.
3. **Manejo apropiado del módulo RF:** Si encendemos la etapa de RF sólo cuando los módulos ZigBee necesiten transmitir podremos realizar un ahorro adicional dentro del ciclo de trabajo del CPU, ya que la etapa de RF es la que consume mayor cantidad de energía.

2.3 Internet of things

La aparición de dispositivos móviles dotados de diferentes tipos de sensores ha permitido reducir la brecha existente entre el mundo real y el mundo virtual de los sistemas de información. Los sistemas móviles actuales son conscientes del entorno físico en el que están siendo usados y adaptan adecuadamente los servicios que ofrecen. Por ejemplo, tocando un libro con un dispositivo móvil podemos obtener información sobre su autor o tomarlo prestado sin necesidad de esperar (Giner, Cetina, Fons, & Pelechano, 2010).

La visión de la computación dónde los elementos físicos como un libro o un producto en un supermercado están conectados con servicios digitales es lo que se conoce como el Internet de las Cosas. Tecnologías como RFID, NFC o códigos de barras bidimensionales permiten convertir la visión de la Internet de las Cosas en realidad. Estas tecnologías dotan a los objetos físicos de una identidad digital que puede ser reconocida automáticamente (Giner et al., 2010).

2.3.1 Historia y evolución

La Internet de las cosas es una idea que se comenzó a desarrollar desde los años noventa a partir del ingreso del concepto de computación ubicua que introdujo Mark Weiser, director científico de *Xerox Palo Alto Research Center* (PARC); este concepto viene dado por la integración de los elementos cotidianos mediante la tecnología y el manejo de una gran red de información por medio de una simple caja (PC) (García & Ortiz, 2013).

Por otro lado, el concepto que se conoce y se maneja actualmente para el Internet de las cosas consiste en que las personas puedan conectarse con las cosas a Internet en cualquier momento y lugar, y viceversa. Bajo este concepto, el Internet de las cosas permite que personas y cosas se conecten en cualquier lugar, con cualquier cosa o persona, usando cualquier tipo de red y servicio. Esto implica abordar elementos como la convergencia, contenidos, colecciones (repositorios), comunicación, informática, y de conectividad en el contexto donde no hay interconexión perfecta entre las personas y cosas o entre cosas y cosas, de modo que los elementos estén presentes en el direccionamiento. En la Figura 8 se muestra la relación de todos estos aspectos:



Figura 8: Internet de las cosas.

Fuente: (García & Ortiz, 2013)

2.3.2 Aplicaciones

Las aplicaciones del Internet de las cosas están dentro de varios ámbitos de la vida diaria y de procesos industriales. En la tabla 4 se han colocado las tres principales áreas y sus ejemplos de aplicaciones con IoT (Sundmaeker, Guillemin, Friess, & Woelfflé, 2010).

Tabla 4: IoT Aplicaciones en diferentes áreas.

Área	Descripción	Ejemplos
Industria	Actividades financieras o comerciales entre compañías, organizaciones u otro tipo de entidades	Fabricación, logística, servicios, bancos, gobiernos.
Medio ambiente	Actividades respecto a la protección, monitorización y desarrollo de recursos naturales.	Agricultura, reciclaje, servicios de gestión ambiental, gestión de energía.
Sociedad	Actividades o iniciativas respecto al desarrollo e inclusión de sociedades, ciudades y personas.	Servicios gubernamentales hacia los ciudadanos y otras estructuras de la sociedad, inclusión electrónica.

Fuente: (Sundmaeker et al., 2010)

2.4 Trabajos relacionados

Respecto a la monitorización tanto de contaminación en el ambiente como en el agua se han realizado varios trabajos en nuestro país como en el exterior, pero también existen municipios que usan equipos sofisticados, por lo cual se procede a detallar éstos proyectos:

2.4.1 Sistema de monitorización de CO_2

Este proyecto elabora un estudio para implementar un sistema a través del cual se pueda monitorizar el CO_2 desde cualquier punto remoto, y a través de este determinar si el grado de contaminación del lugar monitorizado está dentro de los niveles normales de contaminación o posee un grado de contaminación alto. El circuito desarrollado permite tener una medición en tiempo real de la concentración de CO_2 en un determinado lugar a una distancia de 100 metros del receptor, es decir el circuito medidor se lo podrá llevar de un lado a otro siempre y cuando esté a una distancia de 100 metros del circuito receptor, el mismo que estará conectado al puerto serial, por motivo de prototipo se utilizó radios MODEM cuyo alcance de transmisión alcanzan los 100 metros; en caso de querer realizar mediciones a mayores distancias basta con integrar al circuito los radio MODEM necesarios (Moreno, 2010).

La Figura 9 muestra el esquema de funcionamiento de esta aplicación.

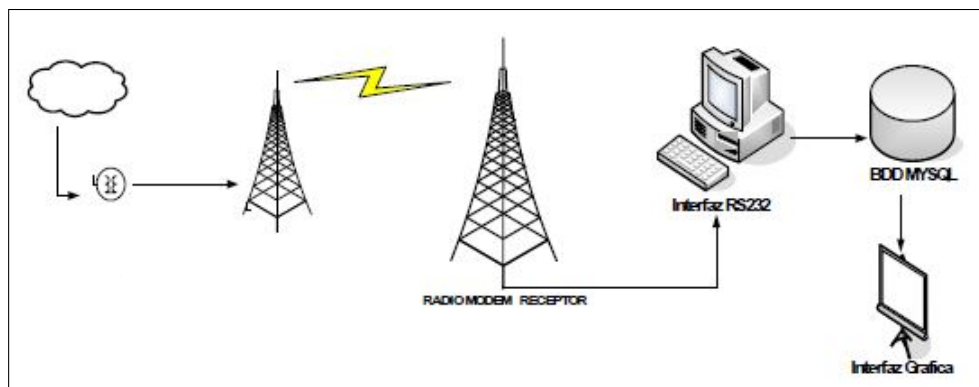


Figura 9: Esquema del funcionamiento de la aplicación de monitorización.

Fuente: (Moreno, 2010)

Se debe acotar que este trabajo se realiza con un solo sensor, lo que no permite mayor recolección de datos y por lo tanto no se tiene un amplio análisis de los mismos, otro problema es que el receptor está conectado vía interfaz RS232 a la estación base, en este sentido al usar cables se limita en distancia, costos, mantenimiento y sobre todo

cobertura ya que solo puede existir comunicación si se coloca a 100m de distancia el sensor del transmisor.

2.4.2 Sistema de monitorización de la calidad del aire

En Taiwan se encontró un proyecto que denota mayor trabajo en su realización (Liu, Chen, et al., 2011), el funcionamiento de este proyecto se observa en la Figura 10:

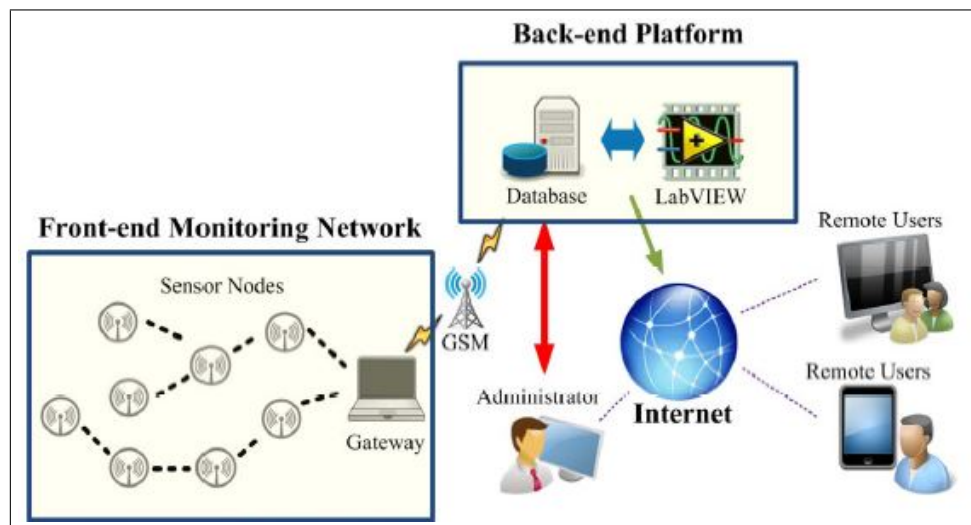


Figura 10: Arquitectura a micro escala del sistema de monitorización de calidad de aire.

Fuente: (Liu et al., 2011)

Por lo que queda claro que el funcionamiento de este sistema es bajo una red ZigBee sin embargo un limitante primordial es el uso de equipos bajo licencia como es LabView, lo que conlleva a una mayor inversión económica; adicionalmente también se usó una red celular GSM para que los usuarios puedan acceder a la información recolectada por los sensores.

2.4.3 Monitorización de la calidad del agua

Este proyecto presenta el diseño e implementación de un sistema de monitorización de la calidad del agua en una planta de tratamiento de aguas residuales, el funcionamiento se explica en la Figura 11:

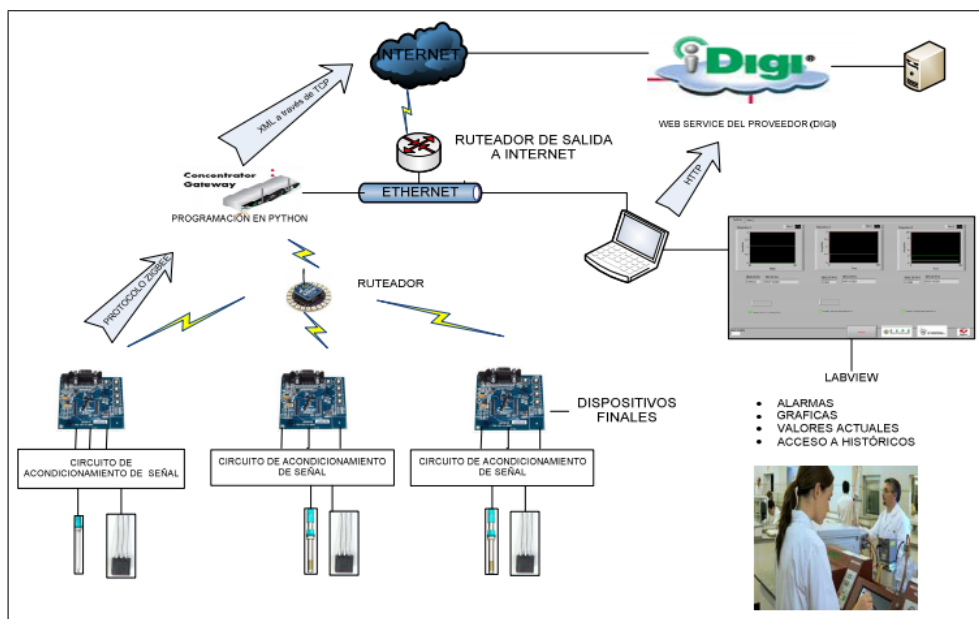


Figura 11: Arquitectura monitorización calidad del agua.

Fuente: (Albarracín Samaniego & Contero Rosero, 2012)

Uno de los principales inconvenientes es el consumo de energía provocado por los circuitos de acondicionamiento, reguladores y amplificadores que forman la placa de la interfaz Zigbee, pese a que se usaron los sensores con modo *Sleep* no se logró aumentar el tiempo de las baterías.

2.4.4 Monitorización de contaminación en Quito

En nuestro país al momento se realiza la monitorización de varios gases contaminantes que se encuentran en el aire, por ello se han instalado infraestructuras sofisticadas, como se indica en la Figura 12:



Figura 12: Equipos para monitorización en ciudades del país.

Fuente: (de Ambiente, 2015)

Los resultados que se muestran al público no contienen información relevante y en muchos casos es poco comprensible ya que se necesita conocimiento profundo de los gases que se monitorizan para conocer si los índices que allí se indican son normales o altos. Adicionalmente estas estaciones son desplegadas por sectores y como se observa en la Figura 12 se necesitan de varios equipos para lograr la monitorización de algunos tipos de gases, lo que implica un mayor gasto económico incluso para mantenimiento.

2.4.5 *Smart Cities*

Los trabajos denominados *Smart Cities* es a donde este trabajo se proyecta, para que en un futuro sea implementado dentro de nuestro país o ciudad. Estos proyectos son conocidos por su renombre en el desarrollo que han realizado en las ciudades lo que las aleja de un proyecto estudiantil a un proyecto comercial.

2.4.5.1 Málaga

El proyecto para hacer de Málaga una *Smart City* está centrado en la gestión de la energía. Se ha optado por la integración de fuentes renovables en la red eléctrica, con el objetivo de aumentar la eficiencia y reducir las emisiones de dióxido de carbono. La intención es que el control energético llegue a los hogares también (S.S, 2014).



Figura 13: Micro-aerogenerador de la ciudad de Málaga

Fuente: (S.S, 2014)

Se está desplegando en la zona malagueña de la playa de la Misericordia tecnologías de última generación en *smart metering*, comunicaciones y sistemas, automatización de la red, generación distribuida e infraestructura inteligente de carga de vehículos. El objetivo es una mejor gestión de la energía en las redes, balances eficientes de la demanda, y la involucración de todos los agentes del sistema eléctrico, desde la generación hasta el consumo. La zona cuenta con unos 11 MW de generación renovable, que se ha combinado con dos instalaciones de almacenamiento basadas en baterías, para gestionar los consumos de un modo más eficiente. Se han sustituido casi 100 luminarias por otras con tecnologías de bajo consumo, como LED y halo-

genuro, y se están gestionando gracias a un sistema de control punto a punto. Además, el proyecto cuenta con la instalación de una pequeña infraestructura de puntos de recarga, donde se podrá probar la tecnología *Vehicle to Grid* (V2G).

2.4.5.2 Caso Serbia

Sistema EkoBus ha sido desarrollado en colaboración con Ericsson, que se ha desplegado en las ciudades de Belgrado y Pancevo. El sistema utiliza los vehículos de transporte público para supervisar un conjunto de parámetros ambientales en un área extensa, así como para proporcionar información adicional para el usuario final como la ubicación de los autobuses y el tiempo estimado de llegada a las paradas de autobús (Bielsa, 2014).



Figura 14: EkoBus.

Fuente: (Bielsa, 2014)

El proyecto prevé el despliegue de 20.000 sensores en diferentes ciudades europeas como Belgrado y Pancevo (Serbia). 65 Waspmites se desplegaron en dos lugares diferentes; medirán 6 parámetros:

- Temperatura.
- Humedad relativa del aire.
- Monóxido de carbono (CO).

- CO_2 .
- Dióxido de Nitrógeno (NO_2).
- Ubicación GPS.

Los nodos de sensores hacen mediciones y periódicamente envían los resultados a la aplicación de servidor para su posterior análisis y el almacenamiento de base de datos. Web y aplicaciones Android recogen información de los nodos y realizan su visualización (ubicación de los vehículos y las mediciones atmosféricas).

CAPITULO 3

MÉTODOS Y MATERIALES

3.1 Medición de CO_2 en partes por millón

La emisión de CO_2 se da en varios casos por la acumulación de muchas personas en una habitación, y allí el aire puede sobrecargarse; este mismo efecto ocurre en exteriores cuando los vehículos emiten gran cantidad de este gas que los árboles usan para su proceso de fotosíntesis pero el exceso en el medio hace que se genere el efecto invernadero.

Debido a que es inodoro e incoloro, resulta imposible detectar las fugas, con lo cual es necesario utilizar los sensores adecuados para garantizar la seguridad y supervisión de la concentración tanto en interiores como en exteriores, con ello, éstos sensores contribuyen de manera decisiva para mejorar la calidad del aire.

La mayoría de los sensores de gas arrojan una señal proporcional a la densidad molecular (moléculas/volumen de gas), aún cuando la lectura se exprese en partes por millón (ppm) (volumen/volumen). A medida que cambia la presión y/o la temperatura, la densidad molecular del gas se modifica conforme a la ley de gases ideales, esta ley resulta útil para estimar el efecto de los cambios de temperatura y presión sobre

la medición del CO_2 . El gas ideal es un gas hipotético compuesto por partículas de puntos idénticos que se desplazan en forma aleatoria cuyo tamaño es insignificante y poseen fuerzas intermoleculares insignificantes. Las moléculas de los gases ideales experimentan colisiones elásticas entre sí y contra las paredes del recipiente. El resultado se observa en la lectura ppm del sensor. En las Figuras 15 y 16 se muestra la manera en que el incremento de la presión o la temperatura modifica el estado del gas y cómo afecta la medición de CO_2 (Vaisala, 2013).

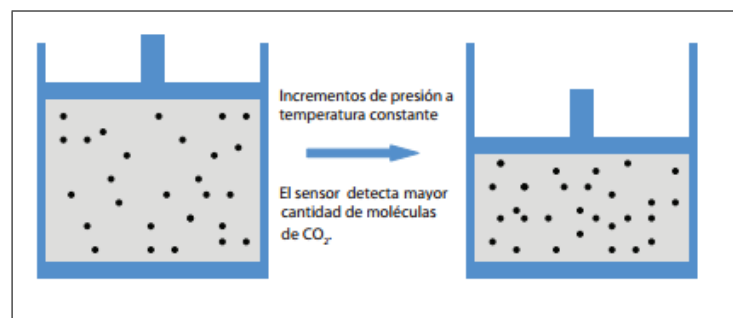


Figura 15: Comportamiento de moléculas de CO_2 con incremento de presión a temperatura constante.

Fuente: (Vaisala, 2013)

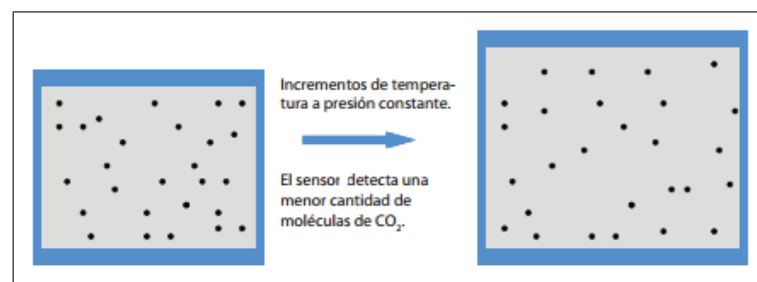


Figura 16: Comportamiento de moléculas de CO_2 con incremento de temperatura a presión constante.

Fuente: (Vaisala, 2013)

La definición de ppm indica que es una unidad de medida con la que se evalúa la concentración; cuando se habla de contaminación del aire se refiere a las partes de

vapor o gas por cada millón de partes de aire contaminado. Conocer que la medida de concentración de CO_2 en el ambiente se la puede expresar en ppm nos da una noción más amplia de la contaminación que se tiene.

3.2 Hardware empleado

De acuerdo a lo explicado en la sección anterior y gracias a que los equipos disponibles para este trabajo permiten la lectura de la concentración de CO_2 en ppm, a continuación se detalla el uso del hardware que consiste en el empleo de dos Kits de equipos; el primero es el Kit de sensores Libelium conteniendo: Motas modelo Waspote OEM, placa de gases y Gateway modelo Meshlium XTreme 802.15.4 - 2.4 GHz; y el segundo es el Kit de Digi que contiene: módulo XBee S1 XB24-ASI-001 revD y antena modelo W802P-SMA5.

3.2.1 Características de los nodos

Waspote es un sensor orientado a desarrolladores, como se observa en la Figura 17 se trata de una placa que trabaja con diferentes protocolos como: ZigBee, Bluetooth, GPRS y frecuencias de: 2.4 GHz, 868 MHz, 900 MHz, respectivamente; con las que se puede llegar a tener enlaces de hasta 12 km (Libelium, 2014d).

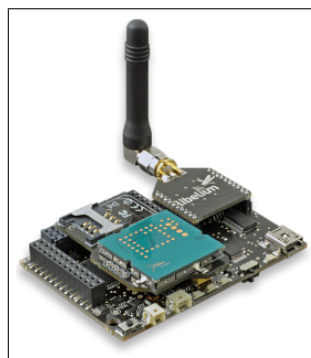


Figura 17: Placa Waspote.

Fuente: (Libelium, 2014d)

Entre las principales características se destacan:

- Procesador de 500 MHz (x86)
- SRAM de 8KB
- EEPROM de 4KB
- Dimensiones de 7.35 x 5.1 x 1.3 cm.
- Ahorro de energía:
 - ON consumo de 15 mA
 - Modo SLEEP consumo de 55 uA
 - Modo DEEP SLEEP consumo de 55 uA
 - Modo HIBERNATE consumo de 0.07 uA

Para la configuración de éstos equipos se usa el software WasmotePRO IDE que permite programar las características necesarias para la construcción y envío de la trama. En primer lugar se debe conocer la trama que waspmote envía para la comunicación que luego es añadida en la trama de ZigBee para el envío de la información.

3.2.1.1 Estructura de la Trama

Las tramas facilitan la compresión de los datos para poder ser enviados, como está compuesta por caracteres ASCII es fácil entender los campos incluidos dentro del Payload. Para ello se puede identificar dos partes en el interior de la trama, como se observa en la Figura 18 la primera corresponde a la cabecera, y la segunda corresponde a la carga que es donde se incluye el valor de los sensores (Libelium, 2014c).

HEADER								PAYLOAD								
<=>	Frame Type	Num Fields	#	Serial ID	#	Wasmote ID	#	Sequence	#	Sensor_1	#	Sensor_2	#	...	Sensor_n	#

Figura 18: Estructura de la trama ASCII.

Fuente: (Libelium, 2014c)

1. Cabecera ASCII: En la Figura 19 se detalla los componentes de la cabecera:

HEADER									
<=>	0x80	0x03	#	35690284	#	NODE_001	#	214	#
A	B	C	D	E	D	F	D	G	D

Figura 19: Estructura de la cabecera.

Fuente: (Libelium, 2014c)

Donde:

- **A -> *Start Delimeter***: Se compone de tres caracteres: <=>, este campo es de 3 Bytes y es necesario para identificar el inicio de la trama.
- **B -> *Frame Type Byte [1 Byte]***: Este campo determina el tipo de la trama que puede ser Binario o ASCII.
- **C -> *Number of Fields Byte [1 Byte]***: Especifica el número de sensores enviados en la trama, ayuda a calcular la longitud de la trama.
- **D -> *Separator [1 Byte]***: El caracter # define la separación y se coloca antes y después de cada campo en la trama.
- **E -> *Serial ID [10 Bytes]***: Campo de 10 bytes que identifica de forma única cada dispositivo Wasmote. El ID serial se obtiene desde el chip integrado en la Wasmote y es un diferente identificador en cada uno. Este campo no se puede modificar solo leer.
- **F -> *Wasmote ID [0Byte - 16Bytes]***: Es una cadena definida por el usuario para identificar cada Wasmote dentro de la red del usuario. El tamaño es variable entre 0 a 16 Bytes. Si no se coloca el identificador el campo permanece vacío entre los separadores "D".
- **G -> *Frame sequence [1Byte - 3Bytes]***: Indica el número de secuencia de la trama. Este contador es de 8 bits, por lo que va de 0 a 255, al ser

ASCII, el número se convierte en una cadena para poder entenderlo. Este es el motivo por el cual la longitud varía entre 1 y 3Bytes Cada vez que el contador alcanza el máximo de 255, vuelve a 0. Este número de secuencia se utiliza con el fin de detectar la pérdida de tramas.

2. **ASCII Payload:** La carga útil está compuesta por la información de los sensores y en caso de que existan varios sensores se separan por el separador D de la cabecera.

3.2.1.2 Estados de Bajo consumo de energía

Cuando se entra en un estado de bajo consumo de energía, algunos periféricos se apagan por defecto (Libelium, 2014e)

- UART del microcontrolador
- SOCKET1
- RTC, solo se envía información de interrupción y fecha
- I2C
- Tarjeta SD

1. **Modo Sleep:** En este estado waspmote espera una interrupción externa por lo que se debe tener en cuenta la forma de despertar al microcontrolador.
2. **Sleep con interrupción del Watchdog:** Waspote espera interrupciones externas, la interrupción Watchdog siempre está habilitada para asegurar que el microcontrolador se despierte después de la hora especificada incluso si cualquier otra interrupción llega. Los posibles valores de los intervalos son de 16 ms a 8s.
3. **Deep Sleep:** Waspote espera interrupciones externas, la interrupción RTC siempre está habilitada para asegurar que el microcontrolador se active.

3.2.2 Características de la Placa de Gases

La placa de Gases de Waspote modelo 2.0 que se muestra en la Figura 20 fue diseñada para controlar los parámetros ambientales tales como temperatura, humedad, presión atmosférica y 14 tipos diferentes de gases. Entre las principales ventajas de usar esta placa tenemos (Libelium, 2014a):

- Se puede incluir 7 sensores de gases, al mismo tiempo.
- La regulación de su energía es a través de un sistema de conmutadores de estado sólido.
- La amplificación de la señal de salida de cada uno de los conmutadores es a través de una etapa de amplificación no inversora de una ganancia máxima de 101 controlado por un potenciómetro digital configurable a través del Circuito BUS Inter-Integrado (I2C).

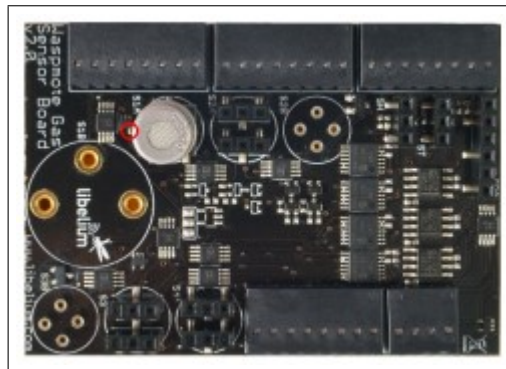


Figura 20: Placa de Gases.

Fuente: (Libelium, 2014a)

Estos módulos tienen un chip central que es el encargado de inicializar todas las variables del entorno y de esta forma activar los puertos necesarios para encender los sensores que se le coloquen, una de las mayores ventajas de estos módulos es que soportan diferentes protocolos de comunicación (Libelium, 2014a).

3.2.2.1 Sensor de Dioxido de Carbono TGS4161

Para este trabajo son necesarias dos características para el sensor, tamaño pequeño y bajo consumo de energía, de esta forma se espera que se adopte sin problemas al medio en que serán usados. Para ello se usará el sensor TGS4161, que se observa en la Figura 21 y es el que el fabricante pide que se use ya que con éste sensor las placas y las motas funcionan correctamente.

Proporciona un voltaje de salida proporcional a la concentración de CO_2 en la atmósfera. Este valor está entre 220 y 490mV para una concentración de 350 ppm (aproximadamente el valor de concentración normal de CO_2 en el aire), este valor disminuye a medida que la concentración de gas incrementa.



Figura 21: Sensor de CO_2 TGS4161.

Fuente: (Susilo, 2014)

Para lograr una correcta medición de CO_2 es necesaria una calibración, esto se logra calentando el sensor minutos previos a la lectura de la concentración.

En la Figura 22 se observa el circuito acondicionador para el sensor de CO_2 TGS4161 que se usará para la monitorización. En este se observa que el sensor requiere de un voltaje de calentamiento en la entrada (VH), este voltaje es necesario para mantener al sensor en una temperatura óptima para la medición. La Fuerza Electromotriz (EMF) debe ser medida usando una alta impedancia ($> 100G$) para el amplifi-

gador operacional con característica $< 1\text{pA}$ (Susilo, 2014).

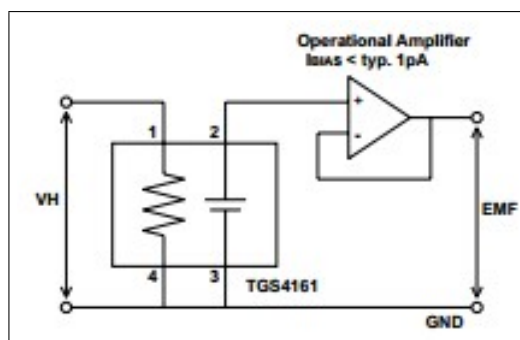


Figura 22: Circuito acondicionador para el sensor de CO_2 .

3.2.3 Características de los módulos transmisores

El módulo XBee se fabrica de acuerdo con las normas IEEE 802.15.4 y soporta las necesidades de las redes de sensores inalámbricas que son bajo costo y bajo consumo de energía. En la Figura 23 se observa la estructura de éstos módulos que requieren un mínimo de energía y proporcionan la entrega confiable de datos entre dispositivos. Los módulos operan en la banda de frecuencia de 2,4 GHz (Digi, 2014a).



Figura 23: Módulo XBee 802.15.4 S1.

Las principales características de éstos módulos son:

- Alcance en interiores sobre los 30m

- Alcance en exteriores con línea de vista sobre los 90m
- Velocidad de datos RF 250 kbps
- Sensibilidad -92 dBm (1% de error por paquete)
- Dimensiones de 2.44cm x 2.76cm

La configuración de éstos módulos se realiza mediante el software X-CTU de Digi, pero antes de proceder a la configuración de los módulos se constata que el PC los detecta y no se tiene problemas para trabajar, para ello en primer lugar se debe observar en la pantalla de X-CTU que se detectó el puerto en el que se conectó el módulo, como se observa en la Figura 24 Paso 1, y posteriormente realizamos una Prueba de comunicación seleccionando la opción Test/Query en la Figura 24 Paso 2 (Digi, 2014b).

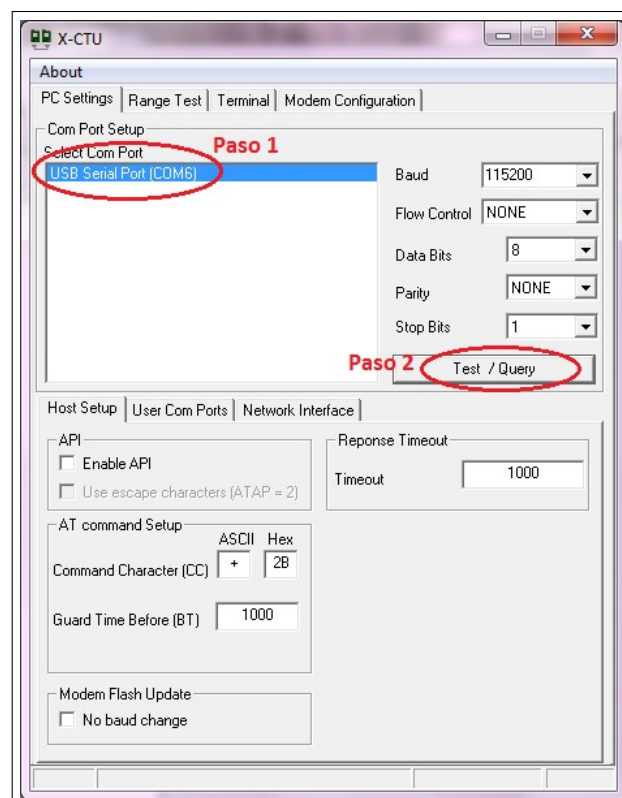


Figura 24: Pruebas de conexión con el módulo transmisor.

La Figura 25 indica que la comunicación se realizó correctamente y que se puede trabajar con el módulo, adicionalmente también muestra el tipo, la versión del firmware y el número serial del módulo que es único en cada uno y no se repite.

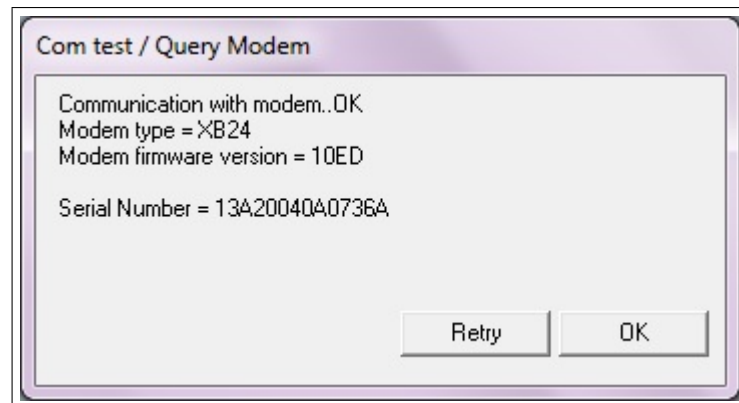


Figura 25: Conexión establecida.

Una vez realizada la verificación de conexión, se debe seleccionar el tipo de modo de trabajo del módulo, de acuerdo al modelo se tienen las siguientes opciones:

- XB24 DM o XBP24 DM para convertir el módulo DigiMesh XBee o XBee PRO 2.4
- XB24 o XBP24 para que trabaje como punto a multipunto.

3.2.4 Características del gateway

En el tipo de monitorización que se realizó este elemento no puede operar aisladamente y debe tener acceso completo a la información adquirida por los nodos de la red de sensores, ya que guardará esta información en su base de datos interna.

Debido a que se usó como gateway al Meshlium de la empresa española Libelium se tienen importantes características a tomar en cuenta, entre ellas, este equipo es un router con software Linux que contiene 5 radio interfaces para trabajar: WiFi 2.4 GHz,

WiFi 5 GHz, 3G/GPRS, Bluetooth, ZigBee, en este trabajo se usarán WiFi 2.4 GHz y ZigBee (Libelium, 2014b).

Entre las ventajas de Meshlium es que existen tres diferentes tamaños para el disco como:

- 8 GB
- 16 GB
- 32 GB

3.2.4.1 Modos de trabajo de acuerdo al modelo

Para trabajar con este equipo se tienen 4 opciones de trabajo:

1. **Meshlium AP:** Los usuarios se pueden conectar al Meshlium via WiFi con laptops y teléfonos inteligentes para obtener acceso a Internet por medio de conexión Ethernet, la estructura de trabajo se muestra en la Figura 26, (Libelium, 2014b).

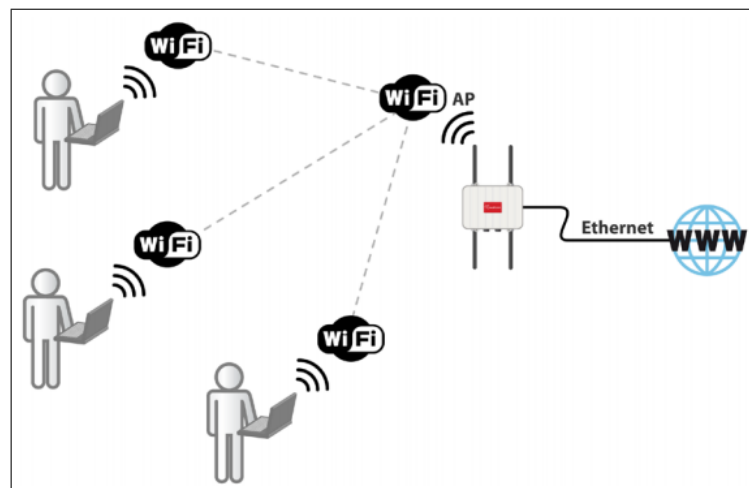


Figura 26: Modo de trabajo de Meshlium como AP.

Fuente: (Libelium, 2014b)

2. **Meshlium 3G/GPRS AP:** Los usuarios se pueden conectar al Meshlium via WiFi con laptops y teléfonos inteligentes para obtener acceso a Internet usando una conexión 3G/GPRS, como muestra la Figura 27, (Libelium, 2014b).

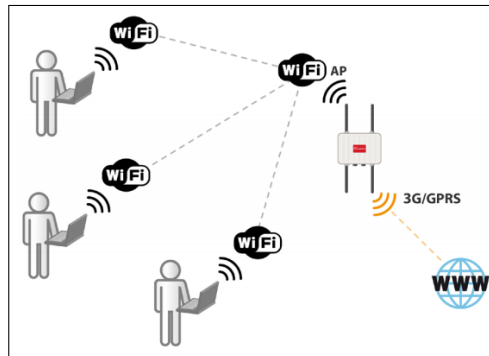


Figura 27: Modo de trabajo de Meshlium como 3G/GPRS.

Fuente: (Libelium, 2014b)

3. **Meshlium ZigBee AP:** Meshlium toma los datos del sensor que viene de una red ZigBee de sensores inalámbricos (WSN) hecha con dispositivos de Waspote y los envía a Internet a través de la interfaz Ethernet. Esta arquitectura se muestra en la Figura 28 donde también indica que los usuarios pueden conectarse directamente al Meshlium utilizando la interfaz WiFi para su control y el acceso a los datos del sensor (Libelium, 2014b).

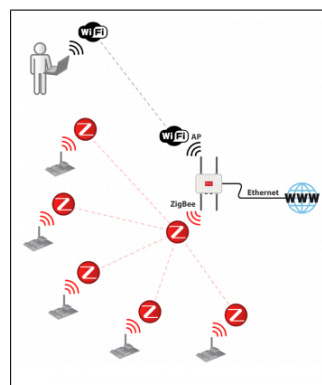


Figura 28: Modo de trabajo de Meshlium como ZigBee AP.

Fuente: (Libelium, 2014b)

4. **Meshlium ZigBee 3G/GPRS AP:** A diferencia de la configuración anterior, este envía a Internet los datos a través de la interfaz 3G/GPRS. Esta estructura se indica en la Figura 29 y los usuarios también pueden conectarse directamente al Meshlium utilizando la interfaz WiFi para su control y el acceso a los datos del sensor (Libelium, 2014b).

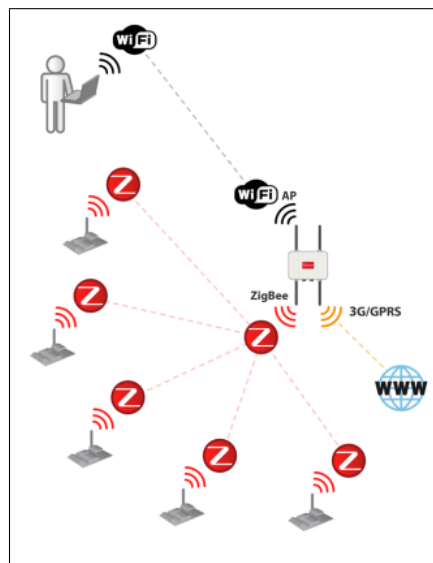


Figura 29: Modo de trabajo de Meshlium como ZigBee 3G/GPRS AP.

Fuente: (Libelium, 2014b)

3.2.4.2 Topologías de Red

Existen varias arquitecturas que pueden ser usadas para implementar una aplicación de WSN como puede ser estrella, malla o una híbrida entre las dos, a su vez éstas topologías pueden ser soportadas por el Meshlium.

Dependiendo del tipo de aplicación que se desarrolle, cada topología es apropiada bajo ciertas circunstancias y puede ser inapropiada para otras, por lo que determinar la topología es de vital importancia para que la monitorización funcione correctamente.

3.2.4.3 Topología en Estrella

Como se observa en la Figura 30, esta topología es un sistema donde la información enviada sólo da un salto y los nodos están en comunicación directa con el gateway, suelen estar a una distancia de 30 a 100 metros (Martínez et al., 2009).

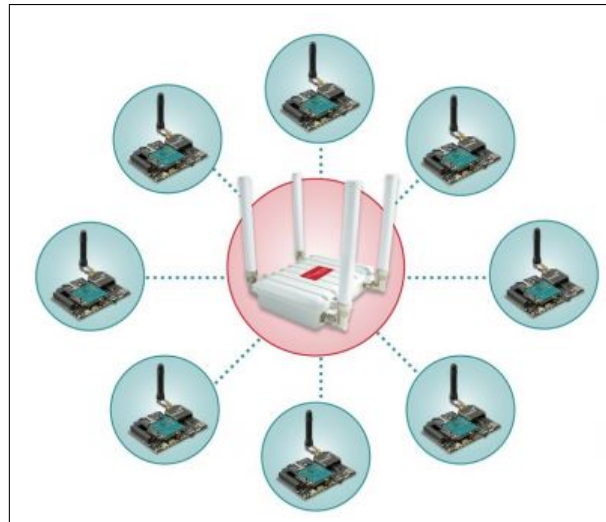


Figura 30: Topología en estrella.

Fuente: (Libelium, 2014b)

Esta topología es la que menor gasto de energía desarrolla, pero es limitada por la distancia de transmisión y en caso de que un nodo falle la información se pierde ya que no tienen un camino alternativo.

3.2.4.4 Topología en Malla

En la Figura 31 se observa que esta topología tiene un sistema multisalto, donde todos los nodos son routers idénticos. Cada nodo puede enviar y recibir información de otro nodo y del gateway, por lo que los nodos pueden enviarse mensajes entre ellos (Martínez et al., 2009).

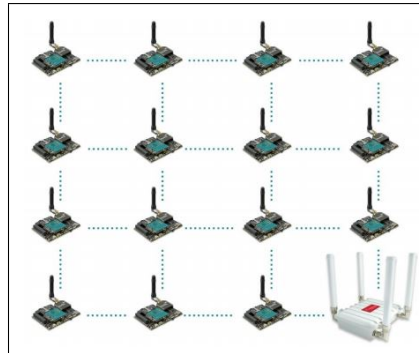


Figura 31: Topología en malla.

Fuente: (Libelium, 2014b)

Este tipo es tolerante a fallos ya que cada nodo tiene caminos alternativos para comunicarse con el gateway, sin embargo dependiendo de la cantidad de nodos y la distancia entre ellos la red podría tener tiempos elevados de espera para enviar la información.

3.2.4.5 Topología Híbrida Estrella - Malla

En este tipo de red se busca combinar la simplicidad y bajo consumo de una topología en estrella con la posibilidad de cubrir mayor extensión y reorganizarse ante fallos de la topología en malla (Martínez et al., 2009), en la Figura 32 se puede observar esta estructura.

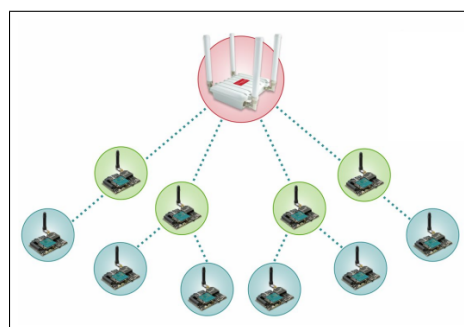


Figura 32: Topología híbrida.

Fuente: (Libelium, 2014b)

Para ello se crea una red en estrella alrededor de Routers pertenecientes a una red en malla. Los Routers dan la posibilidad de ampliar la red y de corregir fallos entre estos nodos y los nodos finales se conectan con los Routers cercanos ahorrando energía (Martínez et al., 2009).

3.3 Interfaz Gráfica para el Usuario

Para cumplir con el requerimiento de la visualización de los datos, se diseñó una interfaz de usuario sencilla y amigable con el usuario. Una de las opciones permite monitorizar remotamente los datos en tiempo real, usando la plataforma ArcGis que contiene el equipo Meshlium como opción para disponer de los datos en el Internet y de allí poder ser enviados a mapas que muestran la localización de los nodos. Para lograr esta conexión entre los mapas y la visualización para el usuario se usó el diseñador Web (Dreamweaver CS6) que permite crear una página web con las características y formatos que se desean; en este caso se mediante este diseñador se colocó la información del mapa de monitorización de CO_2 dentro de una página para que el sistema esté completo con la visualización de gráficos de los valores de CO_2 almacenados.

CAPITULO 4

DESARROLLO DEL SISTEMA

4.1 Arquitectura del Sistema

El sistema de monitorización de CO_2 consiste en la colocación de los dispositivos finales en 6 puntos para la toma de muestras del grado de contaminación que se genera; debido al lugar en que se realizarán las pruebas se definió usar una separación de 2 metros, una distancia que en trabajos anteriores realizados se la usa y en este caso se la considera como referencia (Arias Barreto, Abalone, & Gastón, 2014). El gateway se colocó en el punto más visible para todos y a partir de él se distribuyeron los nodos.

La arquitectura del sistema se la muestra en la Figura 33, donde el Gateway luego de recolectar la información envía los datos a su base de datos interna, en donde se almacenan para un uso posterior.

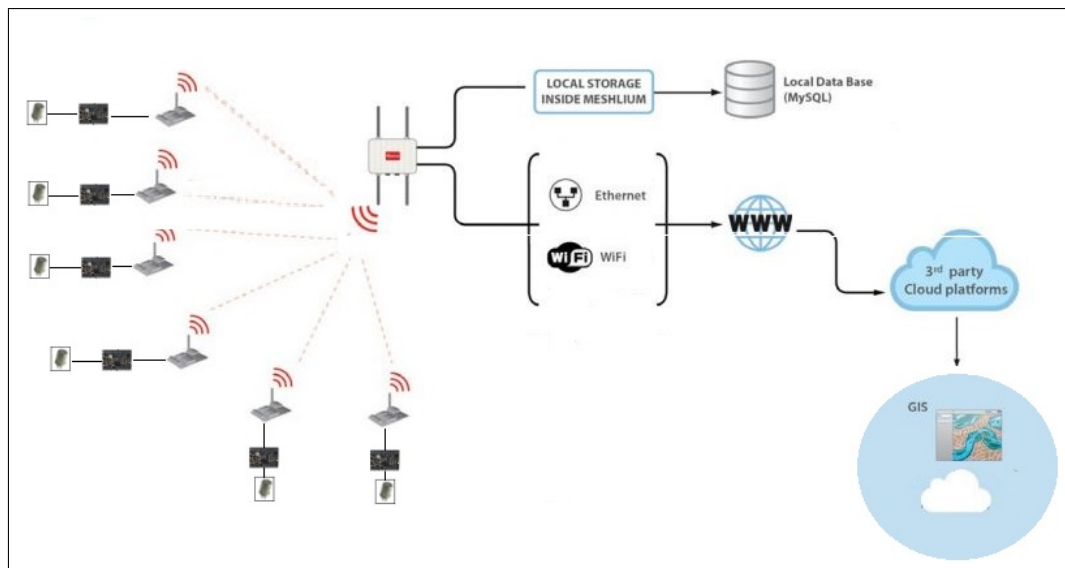


Figura 33: Arquitectura del sistema.

Fuente: (Libelium, 2014b)

Por otro lado se desarrolló una interfaz de usuario donde se visualiza indicadores y gráficas de los parámetros sensados por cada nodo, y consultar los valores almacenados.

4.2 Diseño de la red ZigBee

El diseño fue realizado en varias etapas que comprenden: la elección de la topología de red, frecuencia de muestreo y la gestión para el ahorro de energía.

4.2.1 Topología de la red de sensores

La red está estructurada con topología malla, una de las características de la tecnología ZigBee permite a los paquetes atravesar por múltiples nodos hasta encontrar su destino teniendo en cuenta más de un camino posible. Al usar esta topología en un futuro se podrá extender la red sobre una región más amplia y apoyar a la comunicación entre todos los dispositivos de la red.

La topología malla crea dos o más caminos para la conexión entre los nodos, por ello fue considerada y configurada para este sistema, de esta forma permite a los nodos comunicarse con el Gateway directamente o ayudarse de otro nodo para llegar al Gateway en el caso de que no tenga conexión directa. A continuación en la Figura 34 se observa la topología de la red.

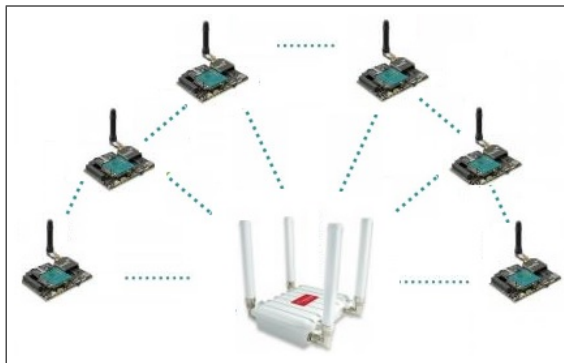


Figura 34: Topología de la red.

4.2.2 Frecuencia de muestreo

La frecuencia de muestreo debe ser programada de tal forma que exista un equilibrio entre el tiempo mínimo requerido para la correcta toma de decisiones y un eficiente consumo energético. Para la lectura de CO_2 se puede variar el tiempo desde milisegundos hasta minutos, dependiendo de cuántas muestras se necesiten y del entorno en el que vamos a situar los equipos. Según (Libelium, 2014a), la precisión del sensor de CO_2 depende del tiempo de calibración antes de que empiece a medir. Un tiempo de 30 segundos es suficiente para detectar un cambio considerable en la concentración, mientras que si deseamos una alta precisión deberemos al menos usar 10 minutos.

Según el estudio realizado por (Medina, Ortega Romero, et al., 2013) y (Martínez García, López Serrano, et al., 2013) se toma al menos 5 y 48 medidas al día, respectivamente. Estos valores sirven como base para esta monitorización ya que las 5 medidas al día serán las mínimas y las 48 medidas serán las recomendadas; tomando esta ref-

erencia hemos decidido tomar el muestreo cada 15 minutos, es decir, en 1 hora se tomarán muestras cada 15 minutos por lo que en total por hora se tendrán 4 muestras. Esta toma de muestras se hará al menos por dos horas al día, así podremos cumplir con el mínimo de muestras que anteriormente se explicó, ya que se obtienen 8 muestras por día.

4.2.3 Gestión del ahorro de energía

Considerando que la concentración de CO_2 en la atmósfera no varía drásticamente y que depende del entorno, se colocaron los sensores en un entorno abierto, lo que permite que no sea necesaria la medición de CO_2 cada segundo o milisegundo; adicionalmente también se considera que esta monitorización se centra en ser informativa para el usuario y de acuerdo al historial que se obtenga en un futuro se tomen medidas, por parte del organismo pertinente. Como se explicó anteriormente se tomará muestras cada 15 minutos, esto se logra gracias a que los nodos se pueden configurar con el modo *Deep Sleep*, que le permite encender para recolectar los datos, detectar una interrupción y entrar en modo dormir mientras espera la interrupción para despertar nuevamente, este proceso se explica en el diagrama de la Figura 35:

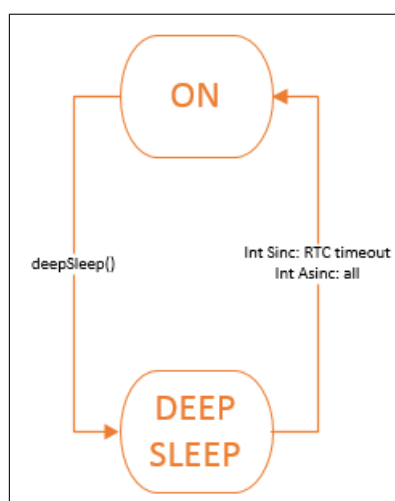


Figura 35: Diagrama de flujo funcionamiento del *Deep Sleep*.

El proceso de funcionamiento del *Deep Sleep* comprende dos tipos de interrupciones:

1. **Interrupciones Síncronas:** Son programadas por los Timers y permiten que el usuario programe cuando se pueden activar.

- **Alarmas Periódicas:** Son aquellas a las que se especifica un determinado momento en el futuro, por ejemplo: "Alarma programada para cada cuarto día del mes a las 00:01 y 11 segundos", son controlados por el RTC.
- **Alarmas Relativas:** Son programadas teniendo en cuenta el momento actual, por ejemplo: "Alarma programada durante 5 minutos y 10 segundos", se controlan a través del RTC y vigilancia interna del microcontrolador.

2. **Interrupciones Asíncronas:** Éstas no son programables y no se sabe cuándo van a ser disparadas.

- **Sensores:** Las placas de sensores se pueden programar de manera que se dispara una alarma cuando un sensor alcanza un cierto umbral.
- **Acelerómetro:** Se puede programar de manera que ciertos eventos, tales como una caída o cambio de dirección generen una interrupción.
- **Módulo XBee:** Permite establecer los modos de suspensión cíclicos que pueden interrumpir Waspote cada vez que el módulo se despierta. Esto permite la creación de redes cíclicas del sueño. Así, Digimesh XBee puede despertar cada cierto tiempo de espera interna y expira.

De esta forma se conserva las baterías eficientemente y se alarga su tiempo sin necesidad de cargarlas.

4.3 Configuración de Equipos

4.3.1 Programación de los nodos

De acuerdo a lo explicado en el capítulo anterior, en el IDE Wasmote se debe seguir la siguiente estructura para la configuración de los parámetros:

```

1. Añadir Librerías
2. Declaración de variables globales
void setup()
{
3. Inicialización de Módulos
}
void loop()
{
4. Mediciones
5. Enviar información
6. Sleep Mode Wasmote
}

```

Tomar en cuenta que: `setup()` es la primera parte del código y solo se ejecuta una vez cuando el código inicia o si es reiniciado el Wasmote; y, `loop()` se ejecuta continuamente en forma indefinida o hasta que se apague el Wasmote.

1. **Añadir librerías:** Necesarias para poder hacer uso de las funciones de 802.15.4, creación de tramas y funciones de la placa de gases; respectivamente:

```

#include <WaspXBee802.h>
#include <WaspFrame.h>
#include <WaspSensorGas_v20.h>

```

2. **Declaración de variables globales.**

(a) Puntero que define la estructura del paquete: `packetXBee* packet`.

(b) Dirección MAC del gateway: `char* MAC_ADDRESS = "0013A200409C7918"`.

(c) Guarda el valor del sensor de CO_2 : `int CO2`

3. Inicializar los módulos.

(a) Real Time Clock: `RTC.ON()`.

(b) Placa de gases : `SensorGasv20.ON()`.

(c) Socket del sensor de CO_2 : `SensorGasv20. configureSensor (SENS_CO2, 1)`.

(d) Sensor de CO_2 : `SensorGasv20. setSensorMode(SENS_ON, SENS_CO2)`.

4. Realizar las mediciones de la batería y del sensor de CO_2 .

(a) Crear la trama ASCII con el identificador: `frame. createFrame(ASCII, "_A")`.

(b) Agregar información de la batería: `frame. addSensor(SENSOR_BAT, PWR. getBatteryLevel())`.

(c) Agragar información del sensor de CO_2 : `CO2=(int)(1000*SensorGasv20. readValue (SENS _CO2))`,

(d) Agragar a la trama: `frame. addSensor(SENSOR_CO2, CO2)`

5. Enviar la información.

(a) Inicializar XBee: `xbee802.ON()` .

(b) Esperar 3 segundos: `delay(3000)`.

(c) Asignación de memoria: `packet=(packetXBee*) calloc(1, sizeof (packetXBee))`.

(d) Escoger el modo de transmisión: `packet->mode=UNICAST`.

- (e) Establecer los parámetros de envío de Xbee: `xbee802.setDestinationParams(packet, MAC_ADDRESS, frame.buffer, frame.length, MAC_TYPE)`.
- (f) Enviar paquetes Xbee: `xbee802.sendXBee(packet)`.
- (g) Volver a 0 las variables: `free(packet), packet=NULL;`

6. **Definir *Sleep Mode*.** RTC es la opción de Waspote para poder indicarle que durante un periodo de tiempo permanezca inactivo y de esa forma conservar su batería para que no se descargue sin necesidad. En este caso usamos el modo *Deep Sleep* para indicarle al nodo que después de 15 minutos encienda todos los módulos y realice las operaciones indicadas en el `loop()`.

- (a) Apagar Xbee: `xbee802.OFF()`.
- (b) `dd:hh:mm:ss: 00:00:15:00`.
- (c) Añadir el tiempo al actual leído desde RTC: `RTC_OFFSET`.
- (d) Día, horas, minutos y segundos: `RTC_ALM1_MODE1`.
- (e) No apagar la fuente de alimentación: `ALL_ON`.

4.3.2 Configuración de los módulos transmisores

Para la configuración de los módulos se usó el software XCTU, siguiendo los siguientes pasos:

- **Configuración del modelo del módulo.**

1. Dirigirse a la opción Modem Configuration
2. Dentro de Modem Parameter and Firmware seleccionar Read.
3. En Modem: XBEE seleccionar XB24.
4. Function Set: XBEE 802.15.4.

5. Version: 10ED.

- **Configuración de parámetros de la red.**

1. **PAN ID:** Ajustar el PAN (Personal Area Network) ID, en este caso será 3332. Si lo dejamos como 0xFFFF enviará el mensaje a todos los PAN de la red. Es importante que este PAN ID sea el mismo en todos los módulos de la red caso contrario el nodo pertenecerá a otra red.
2. **Interface Data Rate:** Ajusta/lee la velocidad de transferencia de interfaz serial para la comunicación entre el puerto serie de módem y el host. En el modelo que usamos de waspmote v1.2 se usa el valor 115200.
3. **API Enable:** Interfaz de programación de aplicaciones, esta operación requiere que la comunicación con el módulo se realice a través de una interfaz estructurada (los datos se comunican en tramas en un orden definido). La API especifica cómo se envían, reciben respuestas de mando y los mensajes de estado de los módulos usando la trama de datos de UART. Usaremos AP = 2, para que se cuente con caracteres de escape; los datos recibidos antes del delimitador de inicio son descartados silenciosamente, si la trama no se recibió correctamente o si la suma de comprobación falla, los datos se descartan silenciosamente.

Finalmente debemos seleccionar la opción Always Update Firmware y la opción Write, si el módulo se configuró correctamente se tiene el mensaje que se muestra en la Figura 36.

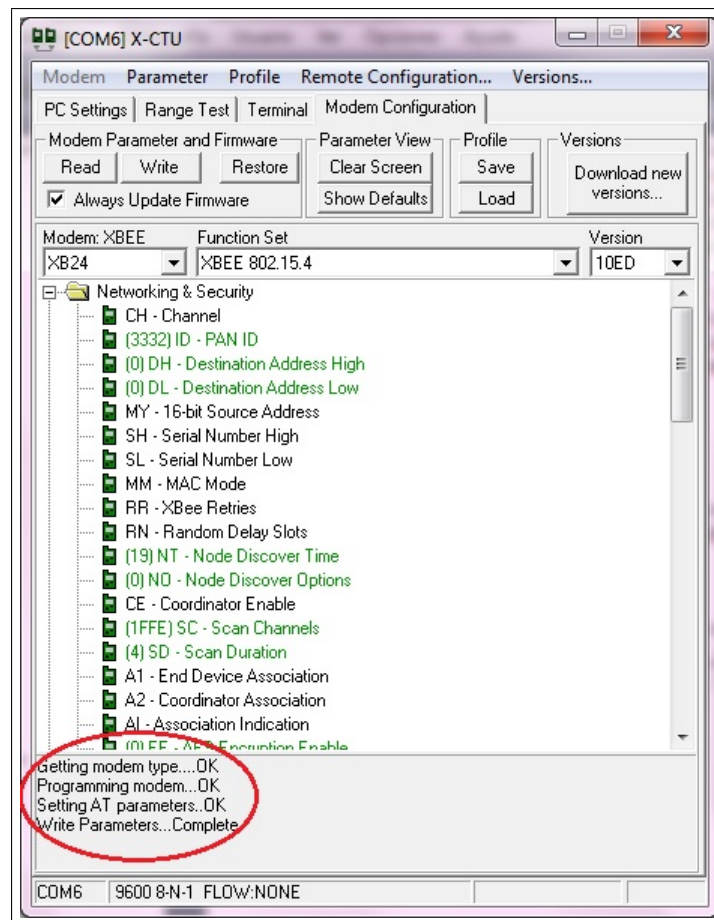


Figura 36: Configuración y carga de parámetros.

Es importante tomar en cuenta que esta configuración debe ser la misma en todos los nodos de la red y no se puede cambiar ningún parámetro, adicionalmente en el caso de que existan fallas de comunicación o problemas en el envío de las tramas se puede solucionar si se restaura a la configuración de fábrica a los módulos (opción Restore).

4.3.3 Configuración del gateway

Antes de configurar el gateway es necesario la instalación de las antenas y la conexión a la fuente de energía, para ello se recomienda revisar los anexos, en donde se detalla este procedimiento.

Una vez que se enciende el Meshlium, se debe buscar la red WiFi meshlium 2 y se accede a ella, como indica la Figura 37

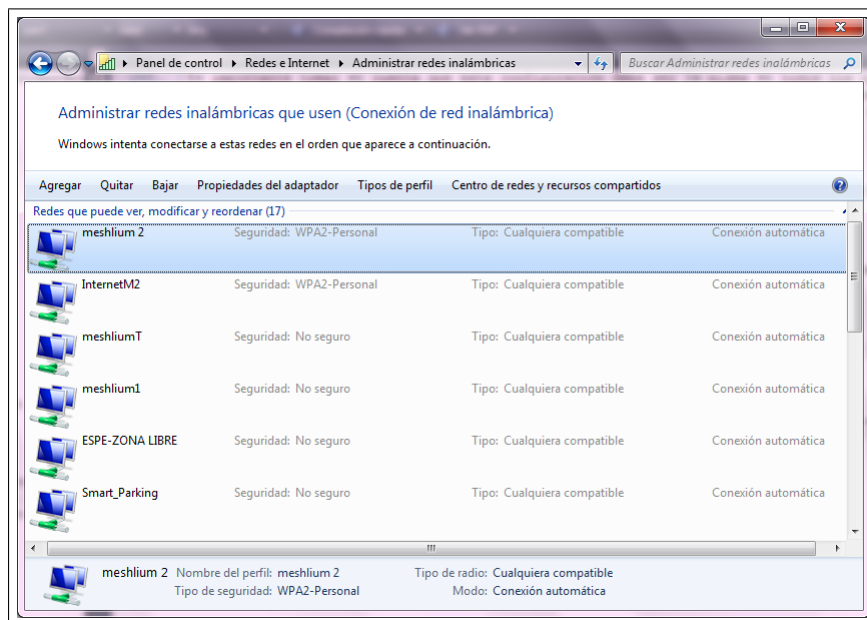


Figura 37: Red WiFi Meshlium2.

A continuación en un explorador de internet se ingresa a la dirección: [http://10.10.10.1/Manager System/](http://10.10.10.1/ManagerSystem/) y colocamos el usuario: root y contraseña: libelium, en la Figura 38 se observa la interfaz de ingreso a Meshlium.

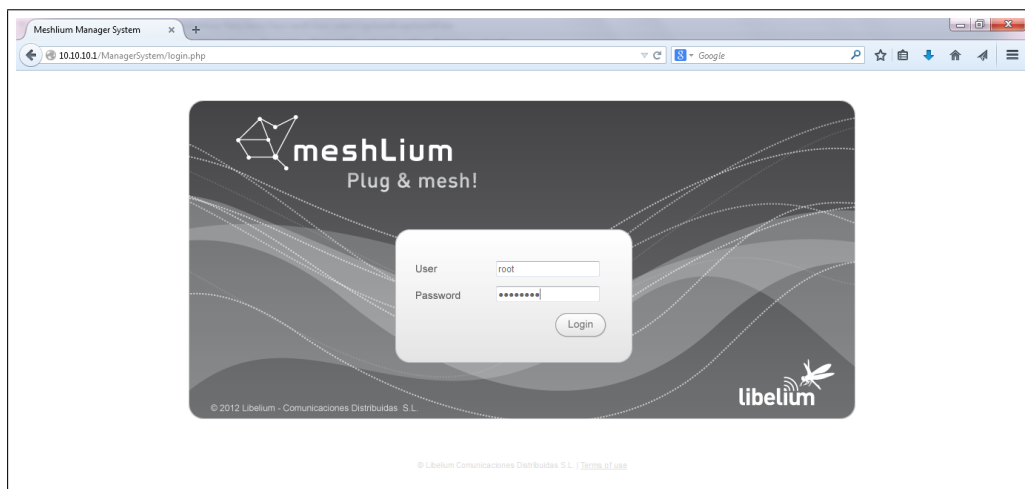


Figura 38: Ingreso.

4.3.3.1 Modo de trabajo

Se dirige a la opción Presest, que se encuentra resaltada en el cuadro verde de la Figura 39 y a continuación escoger la opción Meshlium ZigBee AP, Figura 40 y esperar el mensaje de confirmación de selección de Preset, Figura 41.

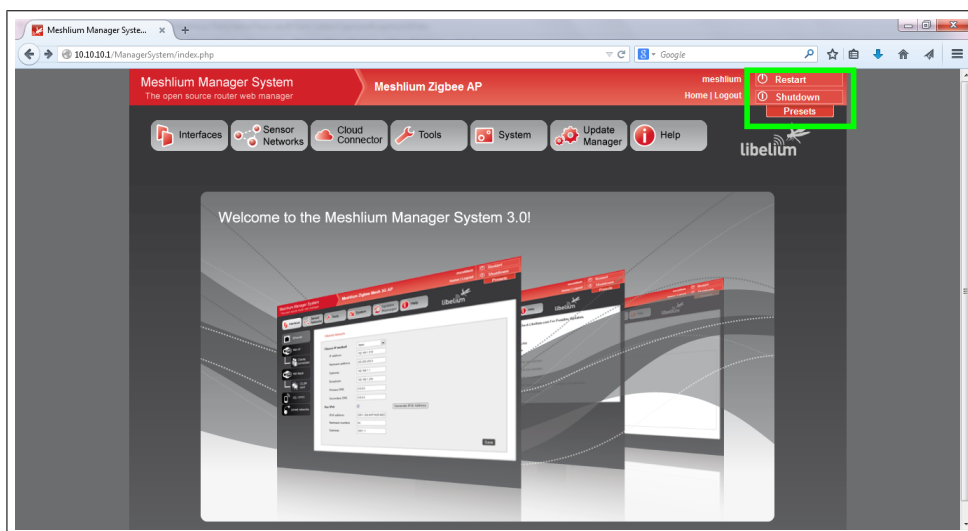


Figura 39: Selección del modo de trabajo.

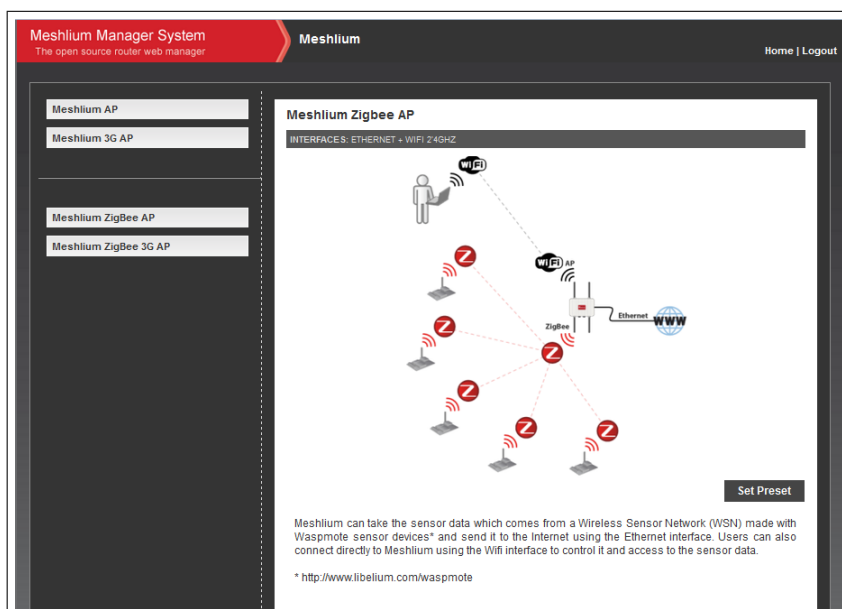


Figura 40: Configuración Meshlium ZigBee AP.

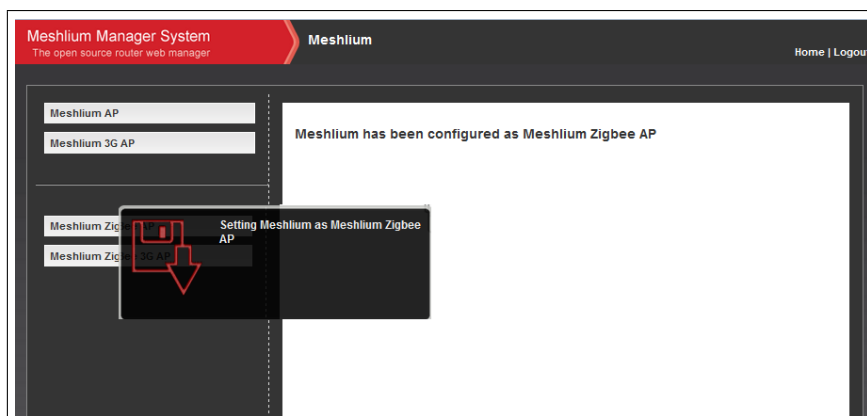


Figura 41: Configuración Meshlium ZigBee AP seleccionado y guardado.

Realizada esta configuración dirigirse a Home y en la primera pestaña Interfaces colocar los parámetros de red tanto para Ethernet como WiFi.

4.3.3.2 Interfaz Ethernet

Esta interfaz se colocará para poder enviar la información de la recolección de los datos a internet, para ello se ingresa la dirección IP Pública que en la Unidad de Tecnologías e Información TIC'S de la ESPE nos asignaron, como indica la Figura 42:

Ethernet Network	
Choose IP method	Static <input type="button" value="Show DHCP info"/>
IP address	190.15.140.250
Netmask address	255.255.0.0
Gateway	190.15.140.1
Broadcast	190.15.140.255
Primary DNS	8.8.8.8
Secondary DNS	8.8.4.4
Use IPv6	<input type="checkbox"/>
<input type="button" value="Save"/>	

Figura 42: Configuración IP Pública.

Finalmente se selecciona la opción SAVE para guardar los valores ingresados.

4.3.3.3 Interfaz WiFi AP

Esta interfaz permite enviar los datos de la red ZigBee al Meshlium y almacenarlos; adicionalmente los usuarios se conectan y tienen información de los sensores en Internet. Para ello dejamos que la red sea la que viene establecida y se guarda esta configuración, Figura 43.

Wifi AP Network

Address	10.10.10.1	DHCP start ip address	10.10.10.10
Netmask	255.255.255.0	DHCP end ip address	10.10.10.250
Broadcast	10.10.10.255	DHCP expire time	24 hours
Primary DNS	8.8.8.8		
Secondary DNS	8.8.8.4		

Radio

ESSID	meshlium	Hide?	<input type="checkbox"/>
Channel	6		
Protocol	g		
Tx power	auto		
Rate	auto		

Security

Protocol:	None
-----------	------

Figura 43: Configuración red WiFi.

Una vez que se han realizado las configuraciones de red se debe reiniciar al equipo y se tiene 5 minutos para validar esta configuración.

4.3.3.4 Envío de información

Para reconocer que el Meshlium está recibiendo correctamente la información de los nodos se debe seleccionar la opción Sensor Networks y seguir los siguientes pasos:

1. Dirigirse a la opción Sensor Networks - Capturer.
2. En la opción Capturer seleccionar Show me NOW.
3. Se selecciona el tiempo de escaneo en que se muestre la información, ejemplo: 1 segundo; y Start Scan.
4. En la ventana inferior se muestra la información de los nodos y de esta forma se comprueba que los datos están siendo recibidos correctamente como se indica en la Figura 44.

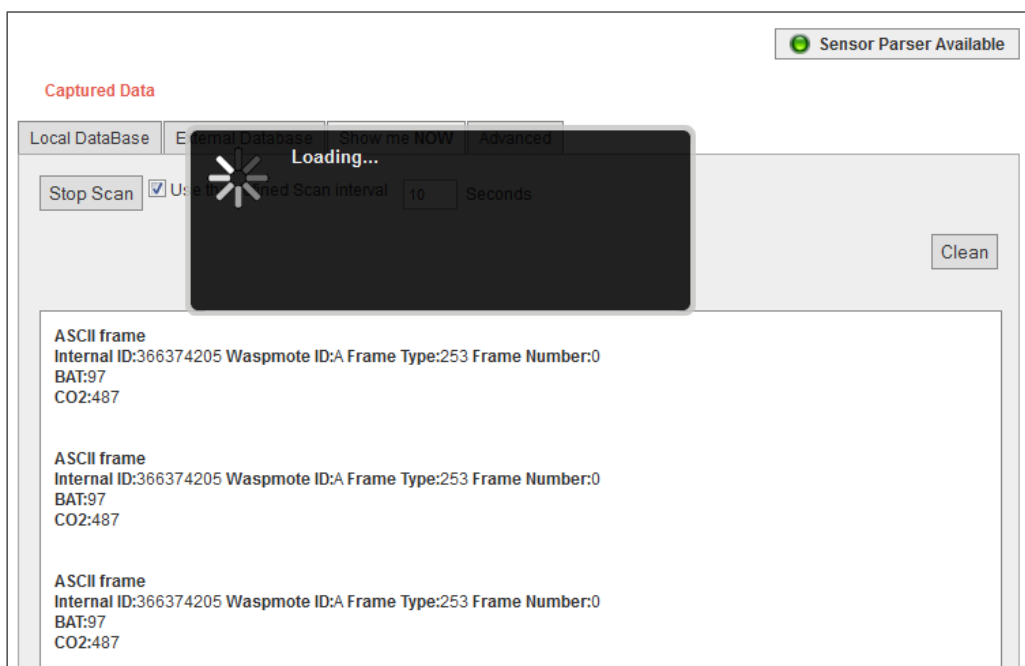


Figura 44: Envío de datos al Meshlium.

4.4 Programación de la Interfaz de Usuario

Para cumplir con el requerimiento de la visualización de los datos, se diseñó una interfaz de usuario sencilla y amigable con el usuario. Una de las opciones permite monitorizar remotamente los datos en tiempo real, usando la plataforma ArcGis que contiene el equipo Meshlium como opción para disponer de los datos en el internet y de allí poder ser enviados a mapas que muestran la localización de los nodos.

En la Figura 45 se observa la interfaz de la página web, en la parte central se puede leer la bienvenida al usuario y una explicación breve de lo que podrá observar, en la parte derecha se observan 4 imágenes que pueden ser seleccionadas para acceder a las diferentes pestañas o se puede acceder directamente al seleccionar las opciones: Ver Mapa, Estadísticas y Contactos



Figura 45: Pantalla principal.

4.4.1 Descripción de Pantallas

La pantalla inicial se la detalló en la Figura 45, en donde se tiene un menú que permite observar el mapa con los puntos de monitorización y los datos estadísticos de la recolección de los nodos.

La Opción Ver Mapa muestra la interfaz de la Figura 46, en la que se tienen los nodos en donde se está monitorizando el CO_2 ; para seleccionar el nodo y conocer la medición que se obtiene se debe seleccionar el nodo y enseguida aparecerá la ventana con la información correspondiente, Figura 47.



Figura 46: Opción Visualización del Mapa.



Figura 47: Ventana de información del nodo.

Adicionalmente dentro del mapa que se muestra se puede cambiar el tipo de mapa para visualizar como puede ser en un topográfico, por calles, fotos, etc; también se puede acercar o alejar de acuerdo a lo que se desee y finalmente se puede buscar un lugar para desplazarse, similar a las opciones de google maps.

La opción Estadísticas, Figura 48 comprende la vinculación con una página creada por medio de la plataforma Netbeans para graficar los valores almacenados de CO_2 , para ello se usó la librería jgraph, los detalles del código de programación se encuentra en anexos; en esta sección se explica el uso de la Opción Reporte Gráfico.



Figura 48: Opción Estadísticas.

Como el mensaje lo indica el usuario debe seleccionar el sensor del que desea realizar el reporte gráfico, así al seleccionar el Sensor A se obtiene el siguiente resultado, Figura 49

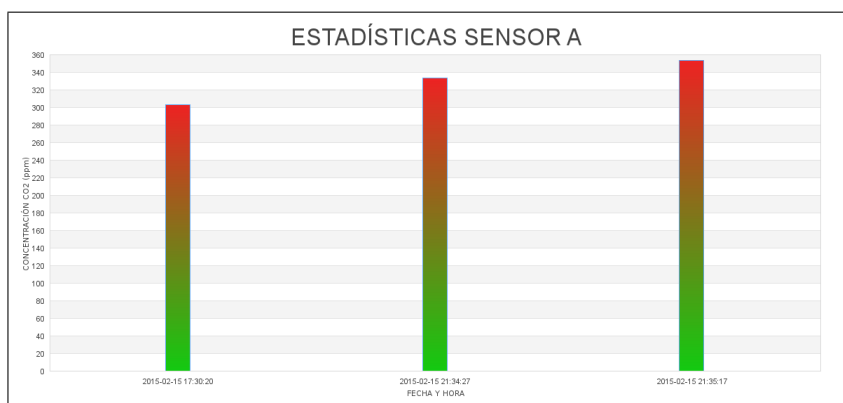


Figura 49: Gráfico Estadístico en Barras del sensor A.

Finalmente la opción Contactos, Figura 50, contiene información de la dirección del campus universitario en donde se realiza la monitorización así como el número de teléfono y las redes sociales en donde puede encontrar información del grupo de comunicaciones inalámbricas, el cual ha dotado de los equipos y las herramientas necesarios para esta monitorización.



Figura 50: Opción Contactos.

CAPITULO 5

IMPLEMENTACIÓN DE LA RED Y PRUEBAS

5.1 Despliegue de la Red de Sensores Inalámbricos

El despliegue de la red se realizó en dos etapas, en la primera se desplegaron los nodos en los parqueaderos de los Laboratorios de Electrónica para recolectar datos y validar el funcionamiento del sistema en exteriores. En la segunda etapa se desplegaron los nodos dentro del Laboratorio de Comunicaciones Inalámbricas para monitorizar el ambiente y poder realizar un análisis estadístico profundo.

5.1.1 Despliegue Exterior

Para la implementación de los nodos en los parqueaderos de los laboratorios de Electrónica se usó una caja plástica en donde se introdujeron: waspmote, placa de gases, módulos de comunicación, batería y cable para la conexión del panel solar, el ensamble se muestra en la Figura 51.

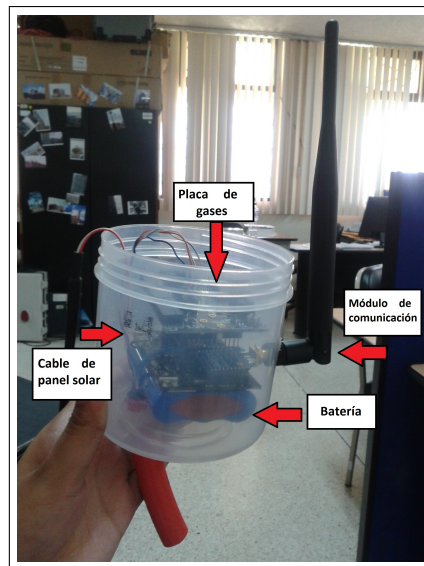


Figura 51: Ensamble de la caja con todos los componentes.

Los nodos se colocaron en los postes de luz existentes en el espacio de los parqueaderos, quedando sujetos de la manera que se indica en la Figura 52:



Figura 52: Colocación de los nodos en los postes de luz.

La distancia entre cada nodo es de 30 metros, que es la distancia en la que se encuentran los postes de luz; mientras que la distancia hacia el gateway es de 80 metros. En la Figura 53 se detalla la distribución de los nodos y el Meshlium:



Figura 53: Distribución de los nodos (A y B), y el Gateway (C) en exteriores.

5.1.2 Despliegue Interior

Para realizar las pruebas en un espacio cerrado se optó por usar una estructura de red usada en el trabajo (Valencia Quezada, 2015).

Para la adquisición de los datos se ha dispuesto de la siguiente forma los nodos dentro del laboratorio de Comunicaciones Inalámbricas, en donde debido al área de 6 m x 7.30 m, se puede separar hasta 2 m cada nodo entre sí; el gateway se colocó en un lugar visible para todos los nodos, como muestran la Figura 54:

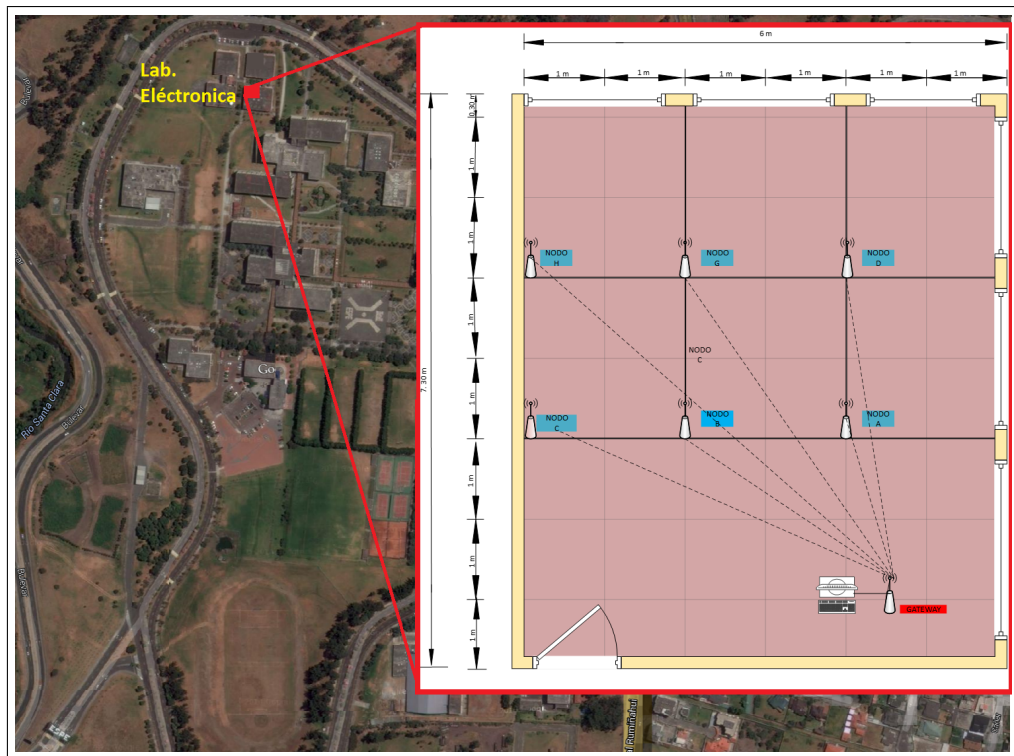


Figura 54: Distribución de los nodos en interiores.

5.2 Características de la Recolección de datos

Durante 5 días se realizaron pruebas con diferentes condiciones tanto de clima como de comportamiento de los estudiantes dentro del laboratorio, estas condiciones se detallan en la Tabla 5 y Tabla 6:

Tabla 5: Condiciones para las pruebas en parqueaderos.

PRUEBA EN LOS PARQUEADEROS		
DÍA	HORA DE INICIO	CLIMA
1	12:45 pm	Despejado con viento
1	14:00 pm	Despejado con viento

Fuente: Elaborado por autora de la investigación.

Tabla 6: Condiciones para las pruebas en el laboratorio.

PRUEBA EN EL LABORATORIO				
DÍA	HORA DE INICIO	PERSONAS	CLIMA	OBSERVACIONES
1	7:15 am	3 - 19	Frío sin lluvia	Alumnos con poco desplazamiento
2	6:45 am	1 - 13	Frío, lluvia y neblina	Alumnos desplazándose
2	8:00 am	1 - 13	Frío, lluvia y neblina	Alumnos con poco desplazamiento
3	7:00 am	1 - 16	Frío, nublado sin lluvia	Alumnos con poco desplazamiento
3	8:15 am	1 - 16	Frío, nublado sin lluvia	Alumnos casi sin desplazarse
4	6:45 am	1 - 13	Despejado	Alumnos con poco desplazamiento
4	9:30 am	1 - 13	Despejado	Alumnos casi sin desplazarse

Fuente: Elaborado por autora de la investigación.

5.3 Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos de las pruebas en los parqueaderos de los Laboratorios de Electrónica fueron:

1. **Día 1, Prueba 1:** Bajo las condiciones indicadas anteriormente, para esta primera prueba se obtuvieron los resultados de la Figura 55:

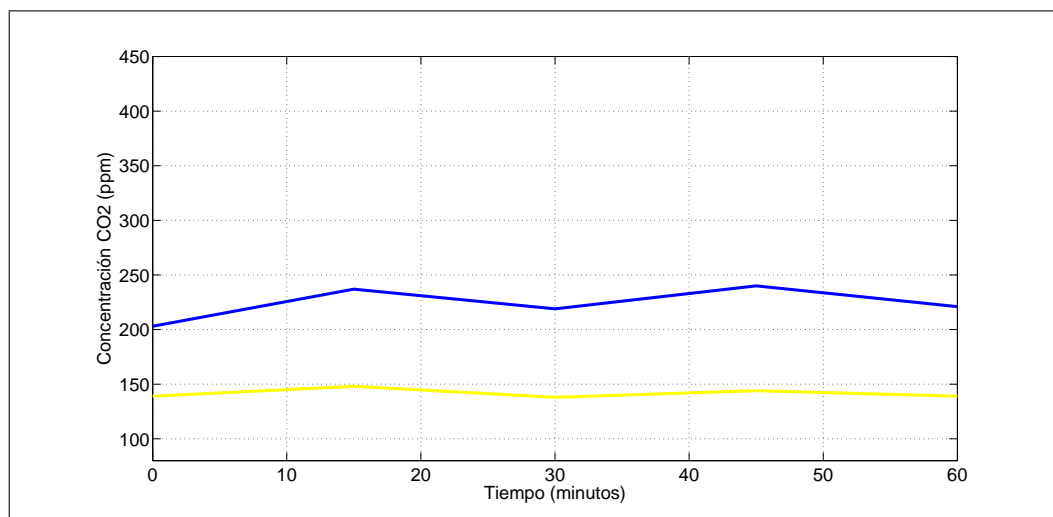


Figura 55: Variación de la concentración de CO_2 en el tiempo, día 1 exterior: sensor A (azul), sensor B (amarillo)

En la Figura 55 se observa que al inicio de la prueba se obtienen medidas de 200 ppm en el sensor A y 140 ppm en el sensor B, a medida que el tiempo transcurre se puede notar que la concentración de CO_2 oscila y varía tanto para el sensor A como el sensor B, lo que indica que no se logran establecer en un valor los sensores.

2. **Día 1, Prueba 2:** En la segunda prueba de este día se obtuvieron los resultados que se indican en la Figura 56:

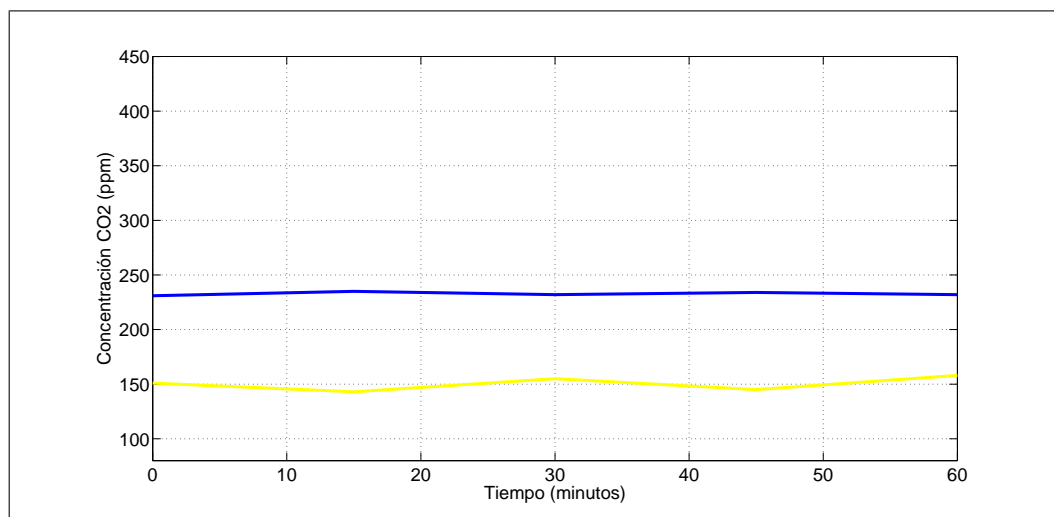


Figura 56: Variación de la concentración de CO_2 en el tiempo, día 1, prueba 2 exterior: sensor A (azul), sensor B (amarillo)

En la Figura 56 se observa que la tendencia de la concentración de CO_2 en el sensor A es menos variable y sus valores son casi similares lo que le convierte en una gráfica casi lineal; en el sensor B mientras tanto se muestra que continúa variando con picos de 150 ppm máximo y 140 ppm mínimo durante toda la prueba.

Los resultados obtenidos en las pruebas dentro del Laboratorio de Comunicaciones Inalámbricas fueron los siguientes:

1. **Día 1:** Para el día 1 se obtuvieron los resultados que se muestran en la Figura 57:

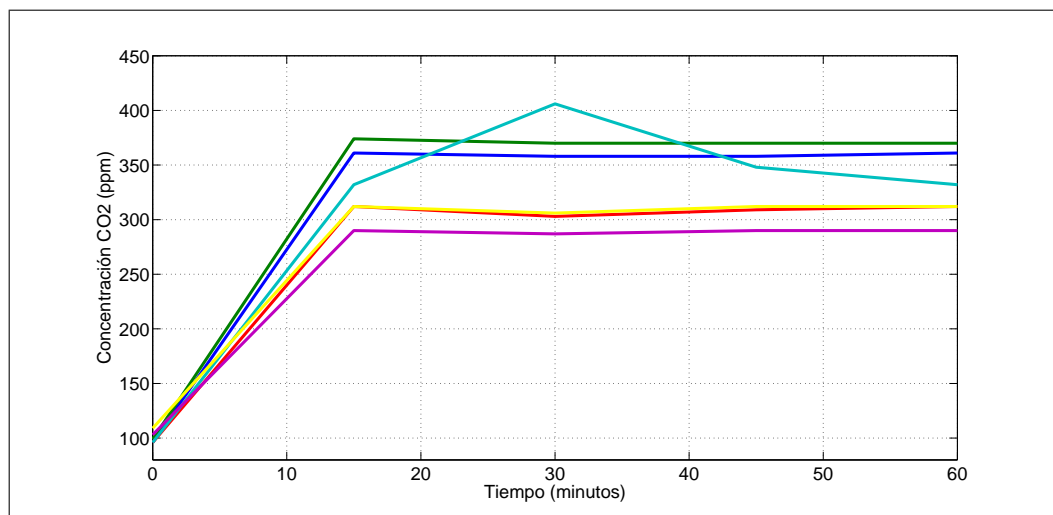


Figura 57: Variación de la concentración de CO_2 en el tiempo, día 1: sensor A (azul), sensor B (verde), sensor C (rojo), sensor D (cian), sensor G (púrpura), sensor H (amarillo)

En la Figura 57 se observa que la detección empieza aproximadamente en 100 ppm para todos los nodos, después de haber transcurrido 15 minutos se observa un incremento de concentración y a partir de allí se tiene una tendencia casi estable del nivel de emisiones en casi todos los sensores a excepción del sensor D, en donde se observa una particularidad, ya que a los 30 minutos incrementa la concentración a 400 ppm y a partir de allí se nota una tendencia a disminuir y estabilizarse en 340 ppm. Al finalizar la prueba se detecta en el sensor G 290 ppm y 370 ppm en el sensor B.

2. **Día 2, Prueba 1:** Para este día se obtuvieron los resultados que se indican en la Figura 58:

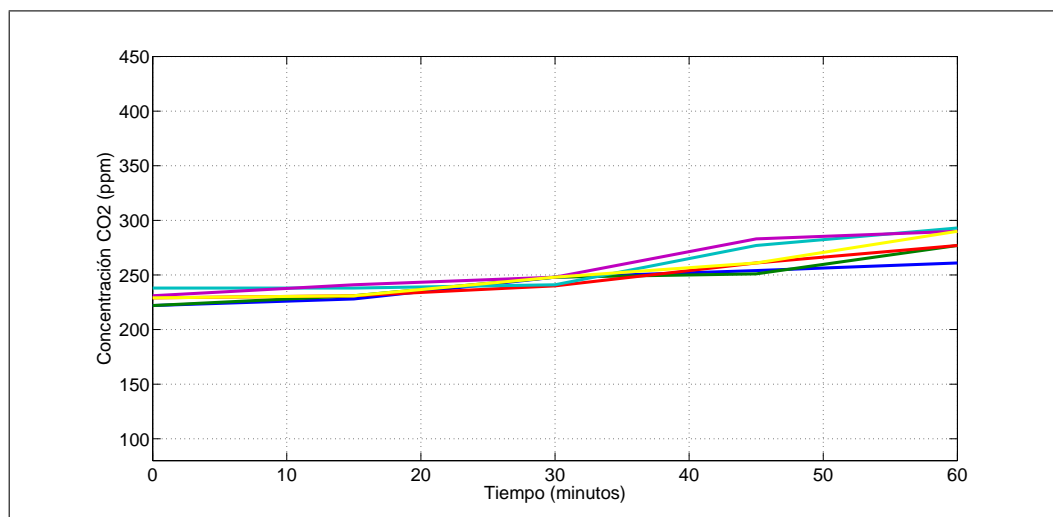


Figura 58: Variación de la concentración de CO_2 en el tiempo, día 2, prueba 1: sensor A (azul), sensor B (verde), sensor C (rojo), sensor D (cian), sensor G (púrpura), sensor H (amarillo)

Como se observa en la Figura 58, al iniciar la prueba se detecta aproximadamente 230 ppm, durante toda la prueba se observa que los valores de CO_2 tienden a incrementarse sin establecerse en un valor, es decir, que existe variación en las emisiones lo que no permite que se establezca en un valor la concentración; sin embargo a los 45 minutos los sensores empiezan a detectar valores similares entre sí, finalizando la prueba con valores mínimos de 260 ppm en el sensor A y máximos de 290 ppm en el sensor D.

3. **Día 2, Prueba 2:** En el segundo periodo de este día se obtienen los resultados que se muestran en la Figura 59:

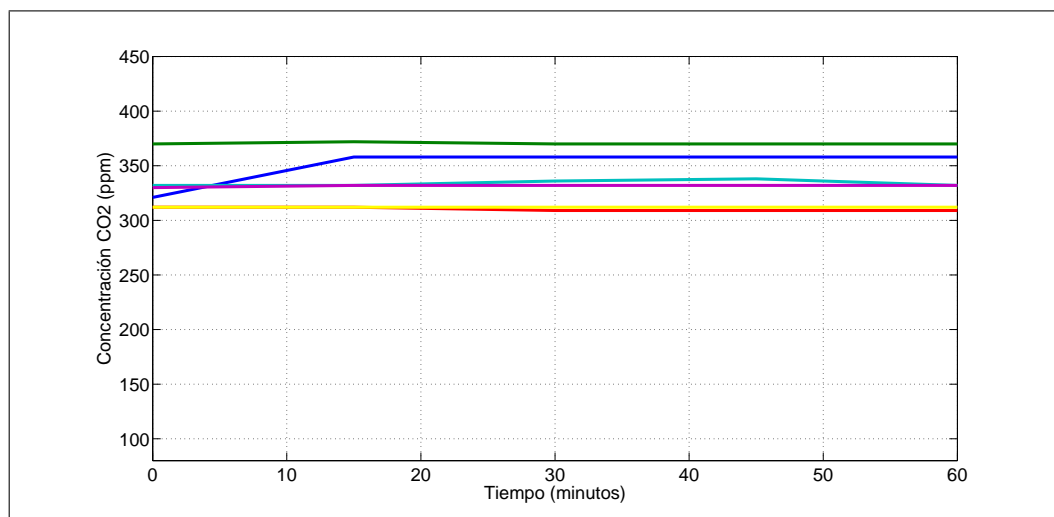


Figura 59: Variación de la concentración de CO_2 en el tiempo, día 2, prueba 2: sensor A (azul), sensor B (verde), sensor C (rojo), sensor D (cian), sensor G (púrpura), sensor H (amarillo)

En la Figura 59 se observa que el sensor A (azul) a partir de 15 minutos de iniciada la prueba mantiene los valores de CO_2 , los demás sensores mantienen una tendencia casi lineal en la detección obteniendo así un valor mínimo en el sensor C de 310 ppm y máximo de 370 ppm en el sensor B.

4. **Día 3, Prueba 1:** En la primera prueba de este día se obtuvieron los resultados que se indican en la Figura 60:

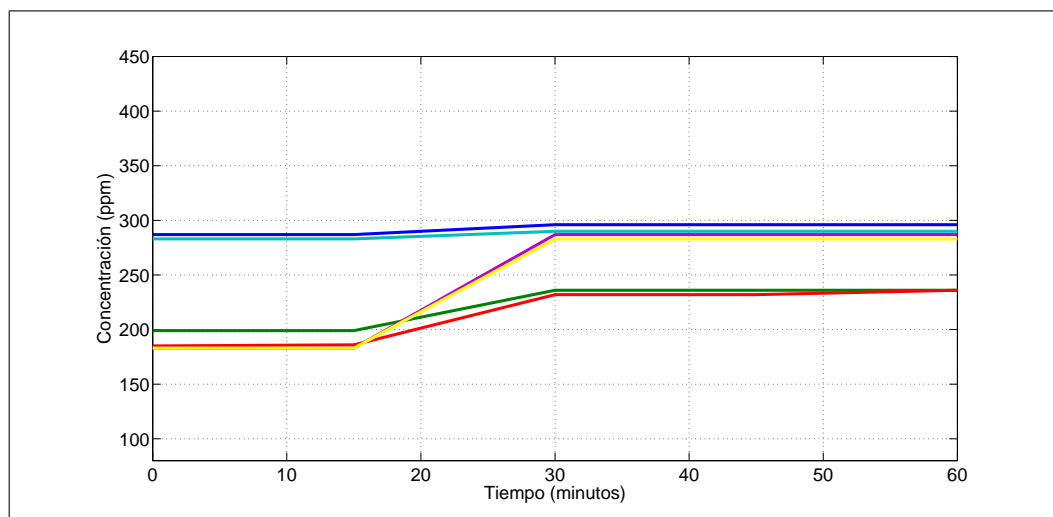


Figura 60: Variación de la concentración de CO_2 en el tiempo, día 3, prueba 1: sensor A (azul), sensor B (verde), sensor C (rojo), sensor D (cian), sensor G (púrpura), sensor H (amarillo)

Al iniciar la prueba, como se observa en la Figura 60 los valores están entre 180 ppm y 290 ppm, los sensores A y D casi no detectan una variación en las emisiones y permanecen en un valor de 300 ppm, aproximadamente durante toda la prueba; los sensores G y H a partir de los 15 minutos incrementan su valor hasta los 290 ppm y en adelante mantienen este valor; finalmente los sensores B y C a partir de los 15 minutos aumentan su valor de CO_2 hasta llegar a 240 ppm y mantienen este valor hasta finalizar la prueba.

5. **Día 3, Prueba 2:** En la segunda prueba del día se obtuvieron los resultados que se observan en la Figura 61:

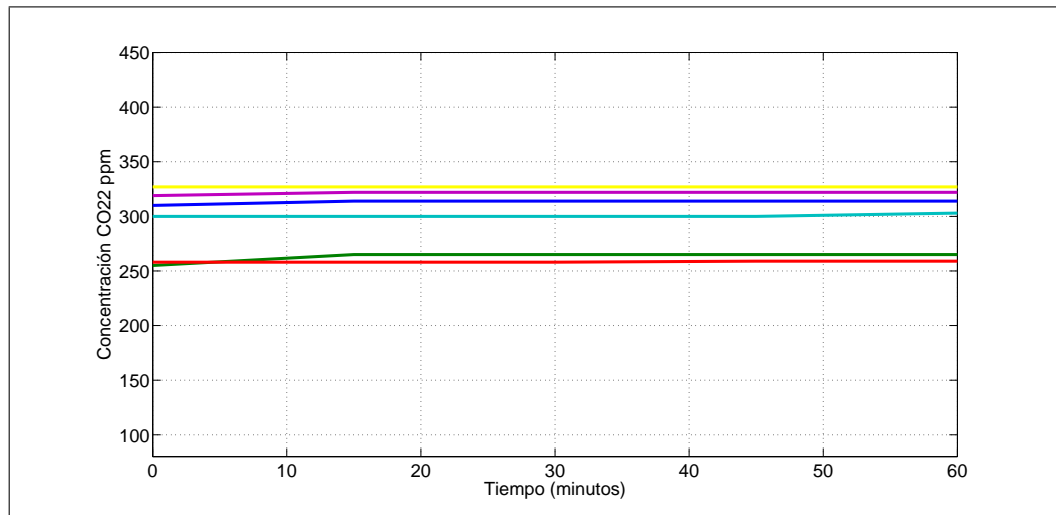


Figura 61: Variación de la concentración de CO_2 en el tiempo, día 3, prueba 2: sensor A (azul), sensor B (verde), sensor C (rojo), sensor D (cian), sensor G (púrpura), sensor H (amarillo)

Se observa en la Figura 61 que todos los sensores mantienen una tendencia casi lineal, llegando a detectar un valor máximo de 335 ppm en el sensor H y mínimo de 260 ppm en el sensor C, los sensores B y C mantienen una relación en sus valores de 260 ppm, mientras que los demás sensores detectan valores sobre los 300 ppm.

6. **Día 4, Prueba 1:** En la primera prueba del día se obtuvieron los resultados que se indican en la Figura 62:

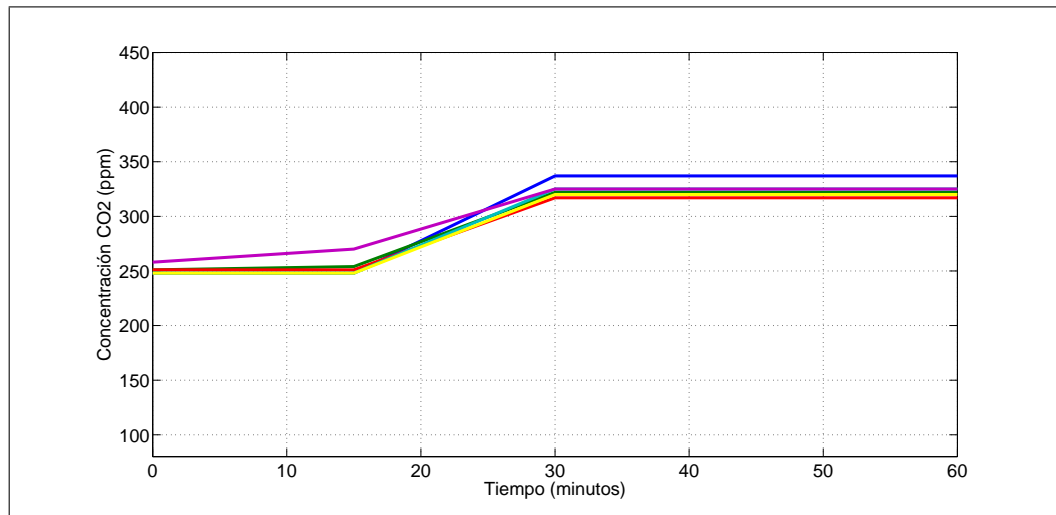


Figura 62: Variación de la concentración de CO_2 en el tiempo, día 4, prueba 1: sensor A (azul), sensor B (verde), sensor C (rojo), sensor D (cian), sensor G (púrpura), sensor H (amarillo)

Como indica la Figura 62, la prueba inicia con una detección de 250 ppm, a partir de los 15 minutos se observa una tendencia en todos los sensores de incrementar sus valores y a los 30 minutos se establecen los valores de detección de CO_2 llegando a un máximo de 340 ppm en el sensor A y mínimo de 325 ppm en el sensor C.

7. **Día 4, Prueba 2:** De la segunda prueba del día se obtuvieron los resultados que se indican en la Figura 63:

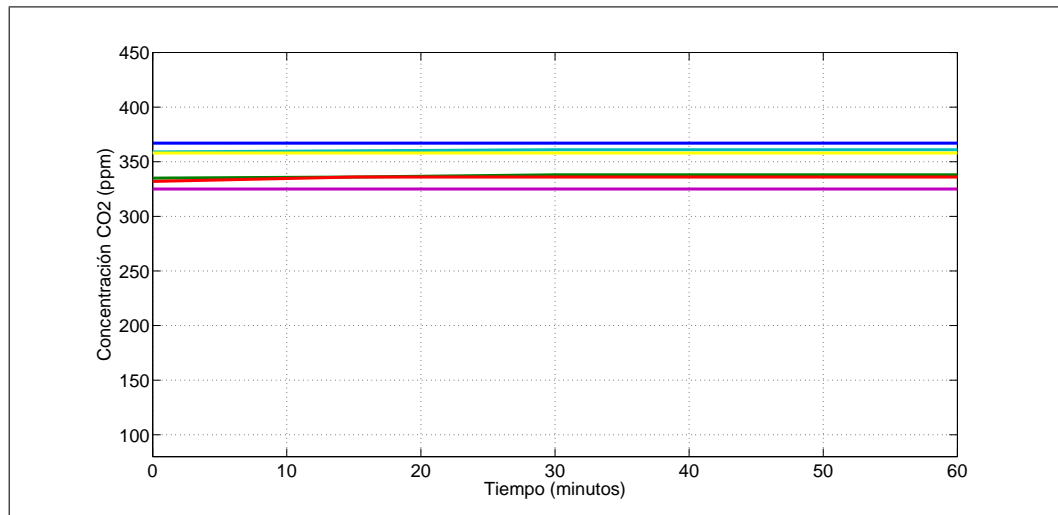


Figura 63: Variación de la concentración de CO_2 en el tiempo, día 4, prueba 2: sensor A (azul), sensor B (verde), sensor C (rojo), sensor D (cian), sensor G (púrpura), sensor H (amarillo)

En esta prueba se observa en la Figura 63, que los valores de CO_2 empiezan en un valor mayor a 320 ppm, es clara la tendencia casi lineal en la detección de los valores llegando a obtener un máximo valor de 360 ppm en el sensor A y un mínimo valor en el sensor G de 325 ppm.

5.4 Análisis de Resultados

El aire fresco contiene alrededor de un 21% de O_2 y un 0,04% de CO_2 . El aire espirado, en cambio, contiene alrededor de 16% de O_2 y 4% de CO_2 . Si escasea el oxígeno y hay un excedente de dióxido de carbono, primero se destruyen las neuronas, que son las células más sensibles de nuestro organismo (Schneider, 2014). En la siguiente tabla se detallan los valores de concentración de CO_2 y los efectos que causan en el ser humano.

Tabla 7: Efectos de los niveles de CO_2 .

CONCENTRACIÓN	EFECTO
350 - 450 ppm	Concentración atmosférica típica
600 - 800 ppm	Calidad del aire interno aceptable
1.000 ppm	Calidad del aire interno tolerable
5.000 ppm	Límite promedio de exposición en un período de ocho horas
6.000 - 30.000 ppm	Preocupación, solo exposición breve
3 - 8%	Incremento de la frecuencia respiratoria, dolor de cabeza
> 10%	Náuseas, vómitos, pérdida de conocimiento
> 20%	Pérdida de conocimiento repentina, muerte

Fuente: (Vaisala, 2013).

De acuerdo con la tabla 7 la calidad de aire en interiores aceptable y tolerable no debe superar las 1.000 ppm, mientras que al aire libre la concentración no debe superar los 500 ppm; en relación a esto podemos asegurar que durante los 4 días de pruebas

dentro del laboratorio no se obtuvieron valores mayores a los 500 ppm por lo que la calidad del aire fue aceptable y no tuvo efectos en la salud. Los valores debajo de 500 ppm se dan debido a que en el laboratorio en el que se llevó a cabo las pruebas cuenta con ventanas que permiten la entrada y salida de aire del interior y del exterior, es por ello que la ventilación en este lugar tuvo un impacto importante para que la concentración de CO_2 no se acumule e incremente. En exteriores, se pudo notar que la concentración de emisiones no se puede establecer y tomar una tendencia como en las pruebas de interiores, debido a que el viento en la zona hace que el aire circule a mayor velocidad y las partículas cambien de posición constantemente y de esta forma no permanezcan en un solo lugar el CO_2

Al iniciar las pruebas se encontraba en el laboratorio al menos 1 persona pero a medida que los alumnos ingresaron los sensores detectaron variación de emisiones, en los días en que casi no hubo desplazamiento de los alumnos por el lugar los sensores pudieron estabilizar su detección a partir de los 15 minutos, mientras que en el día que los alumnos se desplazaron por todo el lugar los sensores no lograron estabilizar su detección de CO_2 sino hasta la segunda prueba del día que fue 1 hora y 15 minutos después de haber iniciado; lo que nos hace notar que la acumulación de emisiones dependió directamente con el comportamiento de los alumnos dentro del laboratorio.

La fotosíntesis es el proceso que transforma la luz solar en la energía que precisan las funciones vitales de los organismos, constituye la piedra angular de la vida terrestre. La energía capturada mediante la fotosíntesis no sólo nutre a los organismos fotosintetizadores, como las plantas, sino también y en última instancia a los animales que se alimentan de ellas (Youvan & Marrs, 1987). Al analizar el párrafo anterior podemos notar que sin la luz del sol las plantas no podrían capturar el CO_2 del ambiente y de esta forma alimentarse y desarrollarse; en los alrededores del laboratorio de comunicaciones inalámbricas existen plantas y árboles si bien no muy cerca, consideramos que

al estar en el mismo entorno pudo afectar las mediciones del día 2, ya que en este día el clima fue de lluvia y neblina, por lo que las emisiones al empezar la prueba fueron de 230 ppm que es un valor alto en relación a los días 1 y 3 que con clima frío pero sin lluvia se obtuvo 100 ppm y 180 ppm, respectivamente; es decir que el día 2 se obtuvo mediciones de CO_2 altas en relación a los otros días debido a que las plantas no tuvieron la luz del sol para capturar el CO_2 del aire.

Finalmente el valor de inicio de la prueba del día 4 fue de 250 ppm, este valor es el más alto en relación a los otros días, debido a que el día anterior se cerraron las ventanas y solo se dejó una media abierta para permitir el ingreso y salida de aire; debido a esto se nota con este valor de inicio que pese a que la noche anterior el laboratorio permaneció vacío la concentración de CO_2 se acumuló y presentó un inicio alto de detección.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

La tecnología que en este momento disponemos se vuelve un aliado importante para aportar al desarrollo y progreso de vida del ser humano, al trabajar con Redes de Sensores Inalámbricas y combinarlos con equipos de bajo costo y menor tamaño en relación a los grandes equipos que se usan para la monitorización de CO_2 comercialmente, se constató que el impacto que éstos tienen en las personas son casi desapercibidos y por ende en un futuro se puede implementar un sistema de monitorización de contaminación no solo en campus universitarios sino también en ciudades que se muestren responsables con disminuir las emisiones de CO_2 .

Uno de los principales beneficios de usar dispositivos con tecnología Zigbee es el modo de ahorro de energía, en trabajos de monitorización de CO_2 influye el entorno en el cual se va a desplegar la red por lo que si se realiza en ciudades grandes las emisiones serán mayores de acuerdo al número de población y vehículos que se usen y por ello la toma de muestras se debe hacer en tiempos más cortos y seguidos; mientras que el sistema que se desplego en el campus universitario tiene un tránsito vehicular normal y fluido por lo que monitorear el ambiente usando el Modo de ahorro de energía *Deep*

Sleep permitió que las muestras se tomen con una separación de 15 minutos y de esta forma no saturar de información innecesaria el sistema.

El principal desafío encontrado en la ejecución de este trabajo fue la poca disponibilidad de los equipos, en un principio se esperaba contar con mayor cantidad de nodos; pese a esto, se diseñó la red de forma que se pueda escalar a futuro sin inconvenientes, de modo que el sistema trabajará sin problemas a medida que los nodos incrementen.

Al realizar las pruebas de contaminación en interiores y con alumnos se pudo constatar que detectar el nivel de CO_2 se vuelve más variante si los alumnos no permanecen en una posición relajada, es por ello que conviene que las aulas y laboratorios cuenten con ventanas o ventilación, ya que los niveles de CO_2 no deben superar las 1000 ppm y así no tener efectos como agotamiento físico y mental.

Expandir la red con equipos más robustos permitirá aumentar los nodos así como los Gateways y, a partir de uno de ellos poder gestionar el acceso a internet de los datos, de igual forma permitirá aumentar el número de nodos y sensores para monitorizar, en este caso se realizó solo el monitoreo con el sensor de CO_2 sin embargo se debería implementar una red más amplia que monitorice no solo de CO_2 sino también la temperatura, humedad, NO_2 , CO y O_3 que son gases que están en el ambiente y afectan la calidad del aire que respiramos.

Debido a la sociedad en la que nos encontramos es común encontrar aplicaciones interactivas para nuestros dispositivos móviles, por lo que una forma más llamativa y rápida de interesar a la población y por ende disminuir las emisiones de CO_2 sería diseñar una aplicación que permita dar a conocer los niveles de contaminación y de esta forma emitir una alarma en tiempo real en caso de que los valores sobrepasen las 350 ppm, que es nivel normal en exteriores.

Para poder realizar un análisis más profundo de las emisiones de CO_2 se propone que se realice la monitorización al menos durante 1 año en donde se registre las condiciones del clima y del entorno, de esta forma las pruebas que se hizo en este trabajo se podrán sustentar, ya que en primera instancia se pudo concluir que el clima si influyó en la variación de concentración de CO_2 .

BIBLIOGRAFÍA

- Albarracín Samaniego, A. B., & Contero Rosero, D. X. (2012). *Desarrollo de un prototipo de red inalámbrica sensorial implementada con la tecnología zigbee para monitorización de la calidad del agua*. (Unpublished doctoral dissertation). SANGOLQUÍ/ESPE/2012.
- Arias Barreto, A., Abalone, R., & Gastón, A. (2014). Estudio de la concentración de co₂ y o₂ en silos bolsa mediante simulación computacional.
- Bielsa, A. (2014). *Smart city project in serbia for environmental monitoring by public transportation*. (extraído octubre 18, 2014)
- Buj, S. R., & Betancur, J. (2007). Y seguimos creciendo..... el desafío del aumento incontrolado de la población mundial. *Poliantea*, 3(5), 11.
- Chicaiza García, D. F. (2009). Estudio de las redes de sensores bajo el agua y sus principales aplicaciones.
- Córdova G, P. F. (2012). *Contaminación en las regiones del ecuador*. (extraído octubre 18, 2014)
- de Ambiente, S. (2015). *Red de monitoreo*. (extraído febrero 23, 2015)
- Digi. (2014a). *Xbee 802.15.4, pro, product manual*.
- Digi. (2014b). *Xctu configuration test utility software*.
- García, L. C. L., & Ortiz, J. E. (2013). Tecnologías involucradas en la internet del futuro. *Vínculos*, 9(2), 115–127.
- Giner, P., Cetina, C., Fons, J., & Pelechano, V. (2010). Developing mobile workflow

- support in the internet of things. *IEEE Pervasive Computing*, 9(2), 18–26.
- INEC. (2015). *Ecuador en cifras*. (extraído octubre 18, 2014)
- Libelium, C. D. S. (2014a). *Gases 2.0 technical guide*.
- Libelium, C. D. S. (2014b). *Meshlium xtreme technical guide*.
- Libelium, C. D. S. (2014c). *Waspote data frame, programming guide*.
- Libelium, C. D. S. (2014d). *Waspote datasheet*.
- Libelium, C. D. S. (2014e). *Waspote interruptions, programming guide*.
- Liu, J.-H., Chen, Y.-F., et al. (2011). Developed urban air quality monitoring system based on wireless sensor networks. In *Sensing technology (icst), 2011 fifth international conference on* (pp. 549–554).
- Londoño Mancheno, I. F. (2011). Implementación de un sistema de monitorización de señales sísmicas del volcán cotopaxi empleando una red de sensores inalámbricos.
- Martínez, R., Meré, J., et al. (2009). Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica.
- Martínez García, E., López Serrano, F., et al. (2013). El flujo de co2 del suelo y sus variaciones espaciales y temporales en un monte mixto de pinus pinaster ait. y quercus ilex l. In *Congresos-carga final*.
- Medina, E., Ortega Romero, M., et al. (2013). Monitorización y verificación de un almacenamiento geológico de co2.
- Moñino Martínez, J. A. (2008). Aplicación del modelado específico de dominio a las redes de sensores inalámbricos.
- Moreno, G. X. C. (2010). *Sistema de monitorización de co2*.
- Oyarce, A., Aguayo, P., & Martin, E. (2010). Guía del usuario xbee series 1. *Ingeniería MCI Ltda*.
- Sanchis, J. S. (2007). *Redes de sensores inalámbricas*.
- Schneider, A. (2014). *Efectos del co2 sobre la salud*.

- S.S, E. (2014). *Smart cities*. (extraído octubre 18, 2014)
- Sundmaeker, H., Guillemin, P., Friess, P., & Woelfflé, S. (2010). *Vision and challenges for realising the internet of things*. EUR-OP.
- Susilo, E. (2014). *Tgs4161 datasheet*.
- Vaisala. (2013). *Cómo medir el dióxido de carbono*.
- Valencia Quezada, L. L. (2015). *Desarrollo de un modelo óptimo de una red de sensores inalámbricos aplicado a monitorización volcánica en tiempo real*.
- Villada Ramírez, J. C., Ospina Mendoza, S. P., Jaramillo Jaramillo, M., et al. (2011). Aplicación de redes de sensores inalámbricos (wsn) en un sistema de seguridad para los equipos móviles de la universidad eafit.
- Villegas, A. A. T. (2006). Telecuidado basado en un red de sensores zigbee.
- Youvan, D. C., & Marrs, B. (1987). Mecanismo molecular de la fotosíntesis. *Investigación y Ciencia*, 131, 34–41.

ANEXOS A

INSTALACIÓN DE ANTENAS Y FUENTE DE ENERGÍA DEL MESHLIUM

Para instalar las antenas se debe verificar las etiquetas de cada antena y se las ajusta haciendo una pequeña presión hasta que queden bien sujetas, como se muestra en la Figura 64.



Figura 64: Ajuste de antenas

La alimentación del equipo se realiza a través del cable Ethernet, para ello se deben seguir los siguientes pasos:

1. Tomar el cable Ethernet directo, un extremo insertarlo en la marca POE, Figura 65 y el otro extremo colocarlo en el Meshlium, Figura 66.



Figura 65: Insertar el cable ethernet.



Figura 66: Insertar el POE.

2. Conectar el adaptador de DC en la marca y el otro extremo a la fuente de 110V.

ANEXOS B

CÓDIGO PHP PARA GRÁFICOS

Usando el IDE de Netbeans 8.0 se crea un proyecto de tipo .php y a continuación se descarga la librería *jpgraph* de: <http://jpgraph.net/download/>; descargada esta librería se la descomprime y añade al proyecto nuevo creado.

A continuación se detalla el código con la explicación en comentarios dentro del mismo:

```
<?php

//librerías para gráfico de barras

require_once("src/jpgraph.php");
require_once("src/jpgraph_bar.php");

//conectar con la base de datos
mysql_connect("10.10.10.1","root","libelium2007");
mysql_select_db("meshliumdb");

//realizar la consulta del sensor A
```

```
$sql="SELECT*_FROM_sensorParser_WHERE
id_wasp='A'_AND_sensor='co2'";

while ($row = mysql_fetch_array($res)) {
    $datos[] = $row['value'];
    $labels[] = $row['timestamp'];
}

//caracteristicas del gráfico
$grafico = new Graph(1200,550, "auto");
$grafico ->SetScale("textlin");
$barplot1 = new BarPlot($datos);
$barplot1 ->SetColor("white");
$barplot1 ->SetFillGradient("#ed2323", "#11cc11", GRAD_HOR);
$grafico ->Add($barplot1);
$barplot1 ->SetWidth(35);

grafico ->Stroke();

?>
```


ANEXOS C

ACTUALIZACIÓN DE LA VERSIÓN DEL MESHLIUM

La versión actual del Meshlium es 3.1.6, sin embargo esta versión no es compatible con los Waspote versión 1.1, por lo que se espera que con la versión 3.1.7 se puedan usar los equipos que en la laboratorio existen en mayor cantidad.

A continuación se detallan los pasos para cargar una nueva versión, tomando en cuenta que debe ejecutar comandos via ssh:

1. Descargar el archivo de actualización, de la página: <http://www.libelium.com/downloads/managersystem/updates/updates.xml>.
2. Abrir una ventana para ejecutar el siguiente comando ssh: scp (path de descarga) root@10.10.10.1:/var/www/ManagerSystem/upload.
3. Abrir el navegador web e ingresar a: <http://10.10.10.1/ManagerSystem>, usuario: root, contraseña: libelium.
4. En la pestaña *Upload Manager - Install updates* seleccionar la opción Download.
5. Meshlium se reinicia y ya tiene la nueva versión cargada.

ANEXOS D

ELIMINAR TABLA *sensorParser* DE LA BASE DE DATOS

Debido a la gran cantidad de datos que se almacenan en el equipo, se puede disminuir la velocidad de ejecución y captura de los datos por lo que se hace necesario copiar los datos almacenados en un archivo de *excell* y eliminar la tabla *sensorParser* para volver a crearla y capturar nuevos valores.

1. Abrir el navegador web e ingresar a: <http://10.10.10.1/ManagerSystem>, usuario: root, contraseña: libelium.
2. En la pestaña *Tools - phpMyAdmin* ingresar usuario: root, contraseña: libelium 2007.
3. Seleccionar la Base de Datos *MeshliumDB* y la tabla *sensorParser*.
4. En la opción Exportar escoger el tipo de archivo para visualizar.
5. Guardar el archivo en la carpeta que se desee.
6. Mediante una consola ssh, se ingresa al Meshlium ejecutando: `ssh root@10.10.10.1` password: libelium.

7. Se ingresa a la base de datos ejecutando: `mysql -u root -p`
8. Ejecutar los siguientes comandos en este orden: `show databases;` use Mesh-
liumDB; `show tables;` `DROP TABLE IF EXISTS `sensorParser`;`
9. De acuerdo a la cantidad de filas almacenadas en la tabla se debe esperar entre
1 hora y media para que aparezca el mensaje de que se realizó con éxito la
ejecución del comando.
10. Ejecutar el comando `mysql:`

```

CREATE TABLE `sensorParser` (
  `id` int(11) NOT NULL auto_increment,
  `id_wasp` text character set utf8 collate utf8_unicode_ci,
  `id_secret` text character set utf8 collate utf8_unicode_ci,
  `frame_type` int(11) default NULL,
  `frame_number` int(11) default NULL,
  `sensor` text character set utf8 collate utf8_unicode_ci,
  `value` text character set utf8 collate utf8_unicode_ci,
  `timestamp` timestamp NOT NULL default CURRENT_TIMESTAMP,
  `sync` int(1) NOT NULL default '0',
  `raw` varchar(100) NOT NULL default 'noraw',
  `parser_type` tinyint(3) NOT NULL default '0',
  PRIMARY KEY (`id`)
) ENGINE=MyISAM AUTO_INCREMENT=1 DEFAULT CHARSET=latin1;

```

11. Se vuelve a tener la tabla `sensorParser` vacía y se puede volver a sensor los datos para su almacenamiento.


UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

ACTA DE ENTREGA

El presente proyecto fue entregado en el Departamento de Eléctrica y Electrónica, y reposa en los archivos desde:

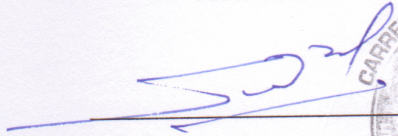
Sangolquí, 3 de Marzo de 2015.

Elaborado por:



Patricia Belén Meneses Buitrón

Autoridad:



Ing. Paul Bernal Oñate

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

