



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSTGRADO
MAESTRIA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE SENSORES INALÁMBRICOS PARA
MONITOREAR LOS GASES TÓXICOS EMITIDOS POR REFINERÍA DE
ESMERALDAS, INCORPORADOS EN UN ROBOT AÉREO MÓVIL

AUTOR:

Ing. Hugo Arcenio Solórzano Plaza

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de

Magister en Telecomunicaciones

TUTOR:

Ing. Néstor Zamora Cedeño, MSc.

Guayaquil, 30 de junio de 2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACION

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por Hugo Arcenio Solórzano Plaza como requerimiento parcial para la obtención del Título de Magíster en Telecomunicaciones.

TUTOR

MSc. Néstor Zamora Cedeño

DIRECTOR DEL PROGRAMA

MSc. Manuel Romero Paz

Guayaquil, 30 de junio de 2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **HUGO ARCENIO SOLÓRZANO PLAZA**

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación **“Desarrollo de un sistema de sensores inalámbricos para monitorear los gases tóxicos emitidos por Refinería Esmeraldas con la incorporación de un robot aéreo móvil”** previa a la obtención del Título de **Magíster en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido

Guayaquil, 30 de junio de 2019

Ing. Hugo Solórzano Plaza.

AUTOR



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **HUGO ARCENIO SOLÓRZANO PLAZA**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Desarrollo de un sistema de sensores inalámbricos para monitorear los gases tóxicos emitidos por Refinería Esmeraldas con la incorporación de un robot aéreo móvil**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 30 de junio del 2019

Ing. Hugo Solórzano Plaza.

AUTOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de manera especial a mis padres ya fallecidos, por ser los coautores de todo este proceso, por ser el pilar fundamental en mi educación y en mi vida, por su incondicional apoyo mantenido a través del tiempo; a mis hermanos, mi esposa y mis hijos, no solo por estar presentes aportando buenas cosas a mi vida, sino por los grandes lotes de felicidad y de diversas emociones que siempre me han causado, en especial a mi esposa quien me apoyó y alentó con sus consejos para continuar, cuando parecía que me iba a rendir; a familiares y amigos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de este trabajo.

A mis docentes y profesores por impartir ese conocimiento ganado en años de experiencia, sin eso la teoría no va más allá de los libros.

Ing. Hugo Solórzano Plaza

REPORTE URKUND

Informe del Trabajo de Titulación de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, con **2%** de coincidencias perteneciente al Ingeniero, **SOLÓRZANO PLAZA HUGO**.

Documento	Titulacion-Solorzano.pdf (D52366928)
Presentado	2019-05-20 09:08 (-05:00)
Presentado por	Néstor Zamora (nestor.zamora@cu.ucsg.edu.ec)
Recibido	nestor.zamora.ucsg@analysis.orkund.com
Mensaje	Analisis Urkund Tesis Solorzano Hugo Mostrar el mensaje completo 2% de estas 52 páginas, se componen de texto presente en 2 fuentes.

SISTEMA DE POSTGRADO MAESTRIA EN TELECOMUNICACIONES TEMA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

Desarrollo de un Sistema de Sensores Inalámbricos para Monitorear los Gases Tóxicos emitidos por Refinería de Esmeraldas, Incorporados en un Robot Aéreo Móvil

AUTOR: Ing. Hugo Solórzano Plaza Previo a la obtención del Grado Académico de Magister en Telecomunicaciones Ing. Néstor Zamora Msc TUTOR: Guayaquil-Ecuador

ii SISTEMA DE POSTGRADO MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES CERTIFICACION El presente trabajo de titulación: “

Desarrollo de un sistema de sensores sensores inalámbricos para monitorear los gases tóxicos emitidos por Refinería Esmeraldas incorporados en un robot aéreo móvil,

realizado por el profesional en formación: HUGO ARCENIO SOLORZANO PLAZA;

ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Ing. Néstor Zamora Msc. DIRECTOR DE MAESTRIA Guayaquil, de marzo del 2019

iii SISTEMA DE POSTGRADO MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Yo, HUGO ARCENIO SOLÓRZANO PLAZA DECLARO: Ser autor del presente trabajo de titulación:



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

MSc. Manuel Romero Paz

TUTOR

f. _____

MSc. Manuel Romero Paz

DIRECTOR DEL PROGRAMA

f. _____

MSc. Miguel Heras Sánchez

REVISOR

f. _____

MSc. Luis Córdova Rivadeneira

REVISOR

Resumen

Este proyecto está desarrollado según las necesidades que presenta la ciudad de Esmeraldas, cuya población percibe malos olores producidos por la refinería de petróleos, generando conflicto ambiental y daños a la salud de la población. Esta industria utiliza una fuente de energía fósil; inicialmente se utilizó para monitoreo una técnica manual, luego mejoraron con una técnica semiautomática y actualmente se instalaron sensores en cinco partes, dos al interior y tres al exterior y se desconocen los resultados, a pesar de mejorar los procedimientos mediante una repotenciación todavía se perciben malos olores. Esto ha motivado una investigación para monitorizar datos de los gases tóxicos mediante una red ZIGBEE/4g en un dron programado en forma autónoma, operando en: Tolita, Codesa y la Propicia, esto se lo realiza porque uno de los puntos más importantes del plan del buen vivir que impulsa el gobierno nacional a través del ministerio del ramo es la innovación tecnológica y una excelente calidad de vida para los trabajadores, población y prevenir el daño al ecosistema, por ello el objetivo principal de desarrollar una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de gases tóxicos emitidos por refinería de Esmeraldas incorporados en un robot aéreo móvil, desde donde se tomarán las muestras de los gases tóxicos que luego son procesados, almacenados en un módulo XBEE y serán transmitidos vía RF XBEE/4GLTE GPS quien enviara los datos a través de una red celular que tendrá servicio de internet TCP/IP.

Palabras Claves: red de sensores, dron, monitoreo, gases

Abstract

This project is developed according to the needs of the city of Esmeraldas, whose population perceives bad odors produced by the oil refinery, generating environmental conflict and damage to the health of the population. This industry uses a fossil energy source; initially, a manual technique was used for monitoring, then improved with a semi-automatic technique and sensors were installed in five parts, two inside and three outside, and the results are unknown, despite improving the procedures through a repowering, smells. This has motivated an investigation to monitor toxic gas data through a ZIGBEE / 4g network in a drone programmed autonomously, operating in: Tolita, Codesa and La Propicia, this is done because one of the most important points of the plan of the good living that drives the national government through the ministry of the sector is technological innovation and an excellent quality of life for workers, population and prevent damage to the ecosystem, therefore the main objective of developing a network of wireless sensors for monitoring of toxic gases emitted by the Esmeraldas refinery incorporated in a mobile aerial robot, from where samples of the toxic gases will be taken and then processed, stored in an XBEE module and transmitted via RF XBEE / 4GLTE GPS who will send the data through of a cellular network that will have Internet service TCP / IP. Key Words:

Key words: sensor network, drone, monitoring, gases

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1. Generalidades del tema

1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Planteamiento del Problema.....	4
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1Objetivo General.....	5
1.3.1Objetivos Específicos.....	6
1.4 Justificación.....	6
1.5 Hipótesis.....	6
1.6 Metodología.....	6

Capítulo 2. Marco Teórico

2.1 El Aire y sus Componentes.....	7
2.2 Contaminación atmosférica.	8
2.3 Tipos de contaminantes Atmosféricos.....	9
2.4 Factores que influyen en la contaminación.....	9
2.5 Los gases Atmosféricos.....	10
2.6 Valores de gases Permisibles.....	14
2.7 Estaciones meteorológicas Ambientales.....	14
2.8 Calidad de aire en el Ecuador.....	14
2.9 Drones.....	16
2.10 Sensores.....	19
2.11. Detectores de fotoionización.....	23
2.12. Redes.....	23
2.13 Capa de enlace de datos	38
2.14 Zigbee.....	41
2.15 Descripción de las Redes inalámbricas.....	46
2.16 Sistemas de Comunicaciones.....	49
2.17 Componentes de una Red de Sensores Inalámbricos (WSN.....	50
2.18 Topologías de Red WSN.....	51
2.19 Red de sensores con tecnologías Waspote.....	53
2.20 Tipos de nodos.....	61
2.21 Topología de la red.....	62

2.22 Almacenamiento de alta capacidad.....	63
2.23 Waspotes Plug & Sense.....	63
2.24 Datos a la nube.....	68
2.25 Internet Gateway-Meshilium.....	69
2.26 Interactuando con plataformas cloud de terceros.....	72
2.27 Conectividad del dispositivo USB.....	74
2.28 Radio módulos.....	75
2.29 Xbee-pro 802.15.4.....	75
2.30 Toma externa SIM/USB.....	76
2.31 Interactuando con Waspote.....	77
2.32 La Colmena.....	78

Capítulo III: Propuesta

3.1 Tema.....	80
3.2 Descripción de la propuesta.....	80
3.3 Diseño de la propuesta.....	81
3.3.1 Tecnología Aplicada.....	82
3.4 Desarrollo del sistema.....	83
3.5 Funcionamiento de la Red Xbee Celular.....	96
3.6 Presupuesto.....	101
3.7 Viabilidad económica y de talento humano técnico del proyecto.....	103
Conclusiones.....	104
Recomendaciones.....	106
Bibliografía.....	107

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Composición del aire atmosférico	7
Figura 2.2 Fuentes de contaminación.....	8
Figura 2.3 Tipo de contaminantes	9
Figura 2.4 Factores que influyen en la contaminación	9
Figura 2.5 Características de los gases atmosféricos	10
Figura 2. 6 Drone busca personas	18
Figura 2.7 Tipos de VANT.	19
Figura 2. 8 Sensor electroquímico	21
Figura 2.9 Sensor catalítico.....	21
Figura 2.10 Sensor de gas de estado sólido.....	22
Figura 2. 11 Sensor de gas infrarrojo	22
Figura 2.12 Detector de fotoionización.....	23
Figura 2.13. Componentes del primer Micro sensor Smart Dust	26
Figura 2. 14 .Prototipo Primer Micro sensor Smart Dust	27
Figura 2. 15. Primer Sensor Inalámbrico con Interfaz	27
Figura 2.17 Proyección de Aplicaciones de las WSN.....	29
Figura 2. 18 Comportamiento de dos Motas.....	30
Figura 2.19 Costo Energético de la Transmisión del Paquete	31
Figura 2. 20 Gráfica de los Procesos realizados en TSMP	32
Figura 2.21 Comportamiento Mota A alternando canales	33
Figura 2.22 Imagen de la Zona de Fresnel.....	34
Figura 2.23 Transmisión de Paquetes hacia el Gateway.....	35
Figura 2.24 Redes Inalámbricas.....	37
Figura 2.25 Interferencia.....	38
Figura 2.26 Bandas de frecuencias de operación en la capa física	39
Figura 27 Modelo de referencia	43
Figura 2. 28 Tipos de dispositivos en red Zigbee	44
Figura 2.29. Red de área local.....	46
Figura 2.30. Red de aérea metropolitana	47
Figura 2.31. Red de aérea metropolitana	48
Figura 2.32 Componentes de WSN, puerta de	50
Figura 2.33 Topología tipo estrella	51

Figura 2.34 Topología tipo árbol	51
Figura 2.35 Topología tipo malla.....	52
Figura 2.36. Sensores con tecnología Waspmites	53
Figura 2.37 Componentes principales de Waspmite - Parte superior	54
Figura 2.38 Componentes principales de Waspmite - Lado inferior	55
Figura 2.39 Gases.....	56
Figura 2.40. Antena 2dBi / 5dBi	58
Figura 2.41 Antena 2dBi / 5dBi	59
Figura 2. 42 Radio board.....	60
Figura 2. 43 Programación de aire (OTAP).....	60
Figura 2.44.Tarjeta Gateway.....	61
Figura 2.45. Nodo final del Gateway	61
Figura 2.46.Funcionamiento de la red Waspmite	62
Figura 2.47 Tarjetas SD	63
Figura 2.48 Waspmites - Wireless Sensor Networks.....	64
Figura 2. 49 Waspmite.- Sondas de sensor	64
Figura 2.50 Tecnología Waspmite .Recarga con panel solar	65
.Figura 2.51 Programación básica de Nodos.....	65
Figura 2.52 Reprogramación de manera inalámbrica	66
Figura 2.53. Interfaz gráfica intuitiva	66
Figura 2. 54 Modelo Smart Environment	67
Figura 2. 55 <i>Smart Cities PRO</i>	67
Figura 2. 56 Modelo Smart	68
Figura 2. 57 Analizador de sensores, Meshlium	69
Figura 2. 58 <i>Meshlium Xtreme</i>	69
Figura 2.59 Meshlium Xtreme funciones con interfaces WiFi o Bluetooth	70
Figura 2.60 Opciones de Conexión de Meshlium.....	71
Figura 2.61 Capturar y almacenar nuevos marcos de datos del sensor.....	72
Figura 2. 62 Ethernet, Wi-Fi y 3G / GPRS.	72
Figura 2.63 Envío de datos de sensores a muchas plataformas de software.....	73
Figura 2. 64. Conectividad del dispositivo USB.....	75
Figura 2.65 Frecuencia de 12 canales	76
Figura 2.66 Toma externa SIM / USB	76
Figura 2. 67 Dispositivo	78
Figura 2.68. Datos de dispositivo a PC.	78
Figura 2.69 La Colmena.....	79
Figura 3.2 Arquitectura del sistema propuesto	84
Figura 3.3 Arquitectura del hardware	85
Figura 3.4.Arquitectura del hardware del nodo móvil	85
Figura 3.5 <i>Software</i>	86

Figura 3.6 Nodo estación base	86
Figura 3.8 Componentes principales de Waspote - Lado inferior	88
Figura 3.12 Gases pro calibrado.....	90
Figura 3.18 Esquema del funcionamiento de la Red XBee Celular LTE Cat-1 en el Dron.....	99
Figura 3.19 Tarjetas y figuras del sistema propuesto.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Síntomas que se presentan en el ser humano según porcentajes de “O ₂ ”	12
Tabla 2.2 Efectos en el ser humano debido a la deficiencia de oxígeno "O ₂ "...	13
Tabla 2.3 Síntomas que se presentan en el ser humano según los de CO ₂	13
Tabla 2.4 Medidas permitidas de gases.....	14
Tabla 2.5 Escala de cobertura espacial	14
Tabla 2.6 Casos registrados de Infecciones Respiratorias Agudas.....	16
Tabla 2.7 Estándares Iec 802.11.....	36
Tabla 2.8 Bandas de frecuencias de operación en la capa física.....	40
Tabla 2.9 Parámetros de Modulación.....	41
Tabla 2.10 Interferencia y atenuación en redes inalámbricas.....	48
Tabla 2.11 Especificaciones de Antena 802.15.4.....	59
Tabla 2.12 Especificaciones de Antena 2dBi / 5dBi.....	59
Tabla 2.13 Especificaciones modelos radio.....	71
Tabla 2.14 Radio módulos.....	75
Tabla 3.1 Especificaciones de instalación de la placa de sensores socke	92
Tabla 3.2 Especificaciones para programar sensores.....	93
Tabla 3.3 Presupuesto del sistema.....	101

Introducción

Las telecomunicaciones cada día se ven desafiadas ante inminentes necesidades; el laboratorio de invenciones no descansa en promover nuevas técnicas de información como las esparcidas en diversos sistemas, como los de monitorización en los dispositivos de control, lectura de infrarrojos entre otros, aún falta mucho de la integración de sistemas para el manejo de la información.

Las tareas para adquirir información han tenido entonces un lugar relevante en diversos avances tecnológicos encargados de crear plataformas unificadas para realizar procesos integrales de informaciones tiempo real ofreciendo a su vez interfaces que permitan acceder de forma remota a todos los servicios de la plataforma

La tecnología basada en dispositivos electrónicos capaces de monitorizar, el entorno mediante sensores en una determinada área, han contribuido con importantes soluciones a la integración de la información a eso se lo denomina red de sensores inalámbricos

Del mismo modo con el avance tecnológico de las redes ZIGBEE/ 4GLTE-GPS, que es nuestro caso, y en lo referente a la velocidad de transmisión en las telecomunicaciones y también a la par el avance de la microelectrónica en su tarea de mejorar el ancho de banda y a la par el avance de la microelectrónica en lo referente a los módulos de transmisión y recepción XBEE, sensores, enrutadores y drones en lograr nano dispositivos inteligente capaces de tomar decisiones por si solos.

Todo lo antes mencionado hace que científicos, ingenieros y trabajadores siga investigando para lograr una unión más estrecha entre el hardware y software y que la información tenga un grado de confiabilidad, seguridad y un tiempo muy reducido a su llegada.

Por eso el objetivo de este proyecto de titulación es elaborar una plataforma de red con sensores inalámbricos para monitorear emisiones de gases tóxicos desde un drone, gases como: monóxido de carbono ,dióxido de azufre , dióxido de nitrógeno , dióxido de carbono ozono y partículas de polvo al exterior y encima de las chimeneas de la refinería de Esmeraldas y que dichos datos podrán ser

utilizados para brindar comunicados a la ciudadanía y organismos de control, a fin de que se pueda optar por mejorar el medio ambiente, de igual modo este trabajo de investigación servirá de aporte para nuevos proyectos cuyo objetivo es entregar suficiente información a la ciudadanía y organismos de control para realizar planificaciones que brinden una mejor calidad del aire para la salud humana y del ecosistema.

Capítulo I: Generalidades del Tema

1.1 Antecedentes

Sin duda alguna con la evolución de la informática y el desarrollo de nuevas tecnologías en información y comunicación, a través de las redes de sensores inalámbricos,(WSN), se hizo posible la implementación de nuevos dispositivos en un dron, ofreciendo múltiples aplicaciones.

Pueden ser utilizadas en el “monitoreo de diversas circunstancias, del entorno en el cual converge el ser humano, pueden ser “eventos en agricultura, biología, medicina, domótica, aviónica, entornos inteligentes, control de consumo energético, monitorización del medio ambiente, entre otros. Debido a esto han sido identificadas como una de las tecnologías más prometedoras por diversos analistas tecnológicos y revistas especializadas, entre las que pueden citarse el observatorio tecnológico del MIT y la revista Dinero. (Gordon, 2012)

El principal objetivo de las WSN consiste en sustituir sensores de elevada complejidad (con costos elevados y limitados en número), y su infraestructura de comunicaciones asociada, por un conjunto mucho mayor de sensores más sencillos y eficientes que resultan considerablemente más económicos. Estos permiten la obtención de magnitudes físicas del entorno, adicionando la función de dar soporte a las comunicaciones de otros nodos como elementos de infraestructura. (Gordon, 2012)

Las redes de sensores inalámbricos datan de los años 80s, se empezó como proyecto militar por lo que no existe información exacta sobre la base de desarrollo de esta tecnología. Se considera que uno de los proyectos que sirvió para la creación de las WSN fue *Sound Surveillance System* (SOSUS), el cual se basaba en (Wikipedia, 2019) una red de boyas sumergidas instaladas en los Estados Unidos durante la Guerra Fría para detectar submarinos usando sensores de sonido. Otros proyectos de redes de sensores que precedieron a las WSN fueron: Chain Home (Segunda Guerra Mundial), NORAD (Guerra Fría). (Wikipedia, 2019)

La investigación en redes de sensores comenzó cerca de 1980 con el proyecto Distributed Sensor Networks (DSN) de la agencia militar de investigación avanzada de Estados Unidos Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) (Wikipedia, 2019). Las redes de sensores inalámbricas como tecnología comercial se empezó a desarrollar en el año 1998 con el proyecto Smart Dust,

desarrollado por el Dr. Kristofer Pister de la Universidad de Berkeley, este se basaba en empaquetar en una mota 1 de 1mm³ un dispositivo sensorial autónomo.

La primera mota denominada René fue desarrollada en el año de 1999. El primer sistema operativo para programar nodos de sensores fue TinyOS en el año 2002, desarrollado de igual manera por la Universidad de Berkeley, como sistema base para la construcción de aplicaciones en WSN, el mismo sigue siendo usado hasta la actualidad (Gordon, 2012)

Debido a que, en la monitorización de gases tóxicos en un dron autónomo, “lo óptimo sería realizarlo en tiempo real, adaptar esta aplicación en una red de sensores inalámbricos permitiría que la alerta temprana evite la pérdida de vidas humanas. (Gordon, 2012)

El modelo de la arquitectura para el servicio de monitorización en tiempo real basado en redes de sensores inalámbricos fue investigado por la Universidad de Cheju en el año de 2008, el proyecto plantea la distribución de elementos que se podría utilizar en caso de que se quiera hacer una monitorización en tiempo real con WSN.

Como se observa en la arquitectura necesita de un grupo de bloques con funciones específicas, estos son los que permiten que los datos obtenidos por los sensores sean percibidos en tiempo real por el encargado del manejo de la información.

Hay que tomar en cuenta, como se detalla en la investigación, el uso de software adicional como MySQL es necesario, por lo que tecnologías complementarias son importantes a desarrollar este tipo de monitorización (Gordon, 2012)

1.2 Planteamiento del Problema

En Esmeraldas la refinería, Termo Esmeraldas, fábrica de Codesa y parque automotor emiten partículas de diverso tamaño, así como hidrocarburos volátiles. Estas emisiones provienen desde las distintas fases de operación, incluyendo la unidad catalítica, el proceso de hidro sulfurización, calentamiento, quema de gas, almacenamiento y manejo del petróleo crudo y de los productos refinados, además en la combustión de productos derivados de petróleo se generan partículas de dióxido de azufre, óxido nitroso, dióxido de carbono y monóxido de carbono.

El dióxido de azufre se transforma en ácido sulfúrico al entrar en contacto con el oxígeno y la humedad del ambiente. Esto produce lluvias ácidas en las regiones cercanas, además por el fenómeno de dispersión del SO₂ en la atmósfera el olor a azufre se siente varios kilómetros alrededor de la refinería.

El problema de la salud humana es la lluvia ácida que se forma cuando los gases caen al suelo por su peso interactuando con el aire formando el óxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. “Esta interacción de gases con el vapor de agua forma el ácido sulfúrico y los ácidos nítricos. no lluvia ácida”. (Vidal, 2008)

“Los contaminantes de la lluvia ácida pueden recorrer grandes distancias, y los vientos los trasladan miles de kilómetros antes de precipitarse en forma de rocío, llovizna, lluvia, granizo, nieve o niebla que se vuelven ácidos al absorber gases residuales de industrias o centrales térmicas que usan carburantes fósiles, gases de tubos de escape de vehículos y otras causas, ya sean naturales o antropogénicas. Provoca un fuerte deterioro en el medio ambiente” (Montenegro, 2006)

“La lluvia normalmente presenta un pH de aproximadamente 5.6 (ligeramente ácido) debido a la presencia del CO₂ atmosférico, que forma ácido carbónico (H₂CO₃). Se considera que es lluvia ácida si presenta un pH de menos de 5 y puede alcanzar el pH del vinagre, pH 3. Estos valores de pH se alcanzan por la presencia de ácidos como el ácido sulfúrico (H₂SO₄), y el ácido nítrico (HNO₃).

Estos ácidos se forman a partir del dióxido de azufre (SO₂), y el monóxido de nitrógeno (NO)” (Montenegro, 2006)

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema de sensores inalámbricos para el monitoreo y adquisición de datos medioambientales de Refinería con la incorporación de un dron autónomo en el cantón de Esmeraldas

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar un estudio actual sobre la contaminación atmosférica y las variables medioambientales que permitan determinar la calidad del aire.
- Realizar un estudio actual de las tecnologías de sensores, redes de comunicaciones ZIGBEE Y 4GLTE, tecnologías sobre drones.

- Desarrollar una arquitectura del sistema utilizando un dron y una red inalámbrica de sensores
- Seleccionar los componentes del sistema propuesto.
- Evaluar el sistema económicamente

1.4 Justificación

Debido a los múltiples problemas que tiene la provincia de Esmeraldas en cuanto a la contaminación ambiental causadas por refinería se hace necesario y urgente desarrollar un sistema de monitoreo de gases contaminantes para obtener información de datos sobre los niveles de gases contaminantes actualizados y en tiempo real, para ser procesados y visualizados en una aplicación informática página web de la universidad Luis Vargas Torres ,que pueda ser consultada por los estudiantes y habitantes de la ciudad de Esmeraldas, así como también por los diferentes organismos de control, que serán los principales beneficiarios para que puedan tomar las debidas precauciones y controles.

1.5 Hipótesis

Con el desarrollo de una red de sensores inalámbricos incorporados en un dron arriba y al exterior de las chimeneas de la plantas industriales se podrá monitorear y medir los gases contaminantes y así entregar la suficiente información a la ciudadanía y organismo de control para realizar planificaciones que brinden una mejor calidad del aire para la salud humana y del ecosistema

1.6 Metodología

El trabajo de titulación en Maestría de Telecomunicaciones es de tipo bibliográfica exploratoria, descriptiva, explicativa pues se toma en cuenta el estado del arte de redes de sensores inalámbricos Waspnotes y sus distintos componentes necesarios para diseñar la estructura del dron.

Capítulo II: Marco Teórico

2.1 El Aire y sus Componentes

Los componentes del aire pueden dividirse tanto en constantes como en variables como se puede observar en la figura 2. 1. Alrededor de 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y el 0.97% de gases como el dióxido de carbono, argón, neón, helio, hidrógeno, otros gases y vapor de agua se consideran

constantes

El 0.03% constituye los componentes variables, son los demás gases y vapores característicos del aire de una zona o área determinada, por ejemplo, los óxidos de nitrógeno provenientes durante las tormentas eléctricas o el óxido de carbono que viene de los escapes de los motores de los vehículos, así como también de las fábricas . (Aguirre & Paladines, 2016)

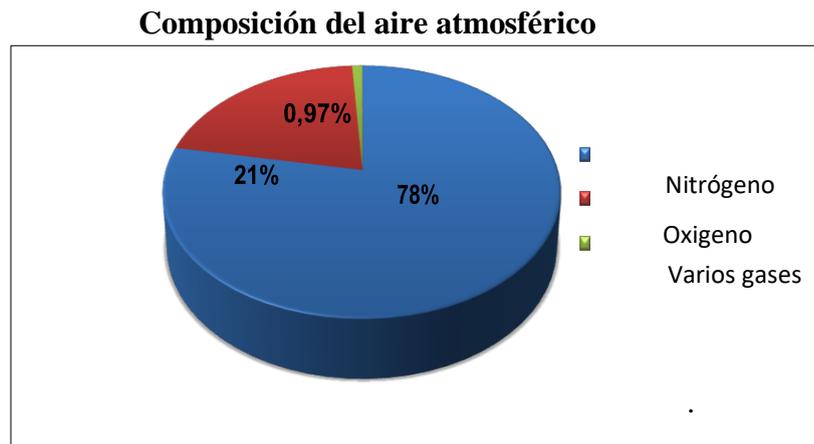


Figura 2.1 Composición del aire atmosférico

Fuente: (Aguirre & Paladines, 2016)

El ser humano respira aproximadamente 14 000 litros de aire al día, y si en 3 minutos no recibe oxígeno se produce de manera lenta la muerte debido al daño irreversible de más del 50% del tejido cerebral. En 10 minutos todo el cerebro estaría muerto. El corazón y el pulmón son también órganos delicados y pueden aguantar entre 5-6 minutos sin recibir oxígeno, a partir de ahí el daño es irreversible (Aguirre & Paladines, 2016)

2.2. Contaminación atmosférica.

Según la Organización Mundial de la Salud. “Existe contaminación del aire cuando en su composición aparecen una o varias sustancias extrañas en determinadas cantidades y durante determinados periodos de tiempo, que pueden resultar nocivas para el ser humano, los animales, las plantas o las tierras, así como perturbar el bienestar o el uso de los bienes” (Aguirre & Paladines, 2016)

2.2.1 Fuentes de contaminación.

Tomando en cuenta su origen, las fuentes de contaminación del aire se pueden agrupar en dos tipos: naturales y artificiales como se puede apreciar en la figura 2.2

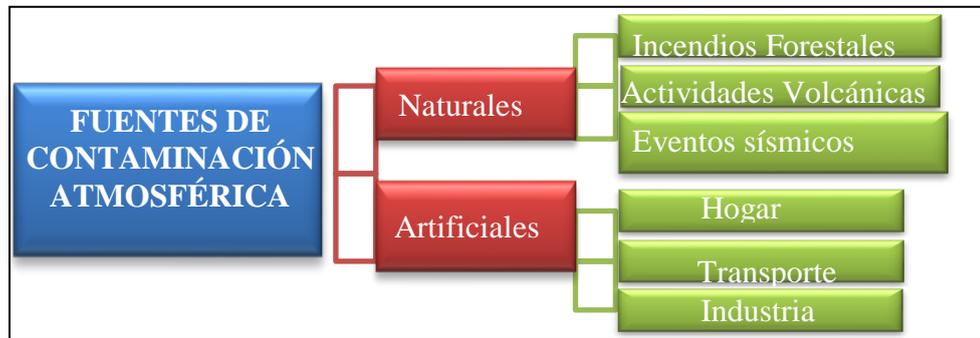


Figura 2.2 Fuentes de contaminación

Fuente: (Aguirre & Paladines, 2016)

2.2.1.1 Contaminantes naturales. Constituye las emisiones de contaminación formadas por la actividad natural

- Las erupciones volcánicas.
- Los incendios forestales.
- Ciertas actividades de los seres vivos como los procesos de respiración.
- Las descargas eléctricas generadas en las tormentas.
- Fuertes vientos con transporte de partículas

2.2.1.2 Contaminantes artificiales .Surgen a consecuencia de la presencia y actividades del ser humano

- El uso de calefacciones en las casas y otros aparatos domésticos que se emplean en el uso diario.
- El uso de automóviles y el avión generan un mayor valor de contaminación.
- En la industria, siendo las centrales térmicas, las cementeras, las papeleras y las químicas las más contaminantes.
- El uso intensivo de fertilizantes en la agricultura y ganadería.
- En la eliminación de residuos sólidos mediante los procesos de incineración (Aguirre & Paladines, 2016) .

2.3 Tipos de contaminantes atmosféricos

Existe una clasificación específica para los contaminantes atmosféricos como

se puede apreciar en la figura 2. 3, se considera como contaminantes primarios los gases que se encuentran en la atmosfera igual como fueron expuestos por sus fuentes, mientras que los contaminantes secundarios son los que resultan de la mezcla entre varios contaminantes primarios o con otras sustancias del medio (Aguirre & Paladines, 2016)

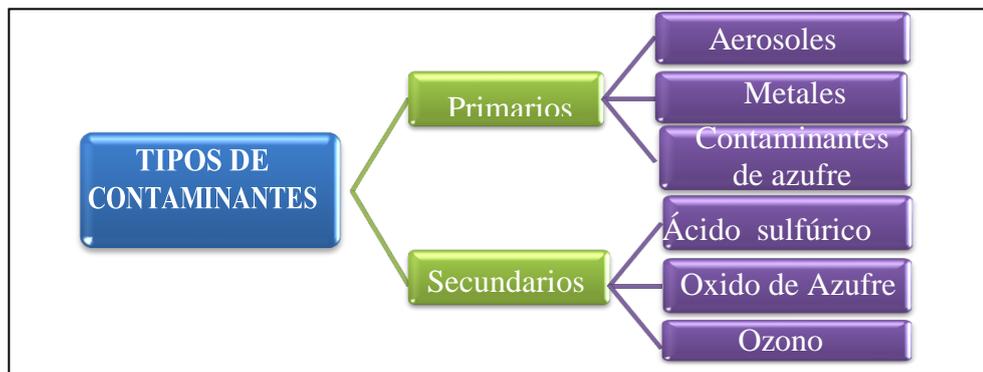


Figura 2.3 Tipo de contaminantes

Fuente: (Aguirre & Paladines, 2016) .

2.4 Factores que influyen en la contaminación

Los niveles de contaminación en una zona dependerán muchas veces de las emisiones de contaminantes que reciba de otras zonas y de las condiciones de dispersión de los mismos.

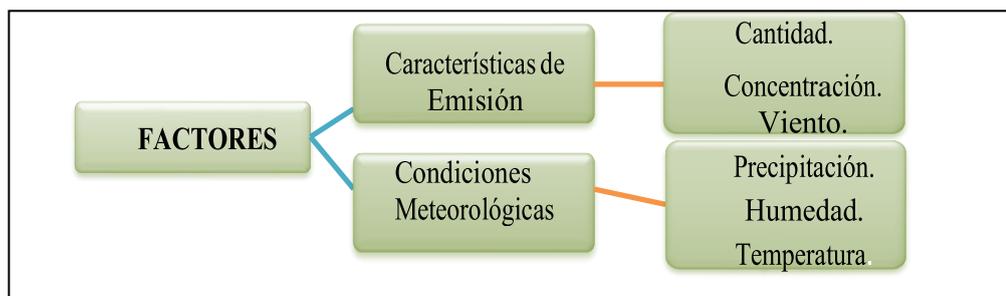


Figura 2.4 Factores que influyen en la contaminación

Fuente: (Aguirre & Paladines 2016)

El transporte de contaminantes del aire están influenciados por complejos factores como por ejemplo: las variaciones locales del clima y las condiciones topográficas del lugar, es por esto que es posible observar variaciones en cuanto a la medida de la calidad del aire en diferentes días en un lugar determinado, aunque las emisiones que provocan dicha contaminación permanezcan prácticamente constantes. Los factores que influyen en la contaminación se observan en la figura

2.4 (Aguirre & Paladines, 2016)

2.5 Los gases atmosféricos.

Se presenta una breve descripción de las características de los gases atmosféricos; sus fuentes de emisión y los posibles efectos en la salud humana

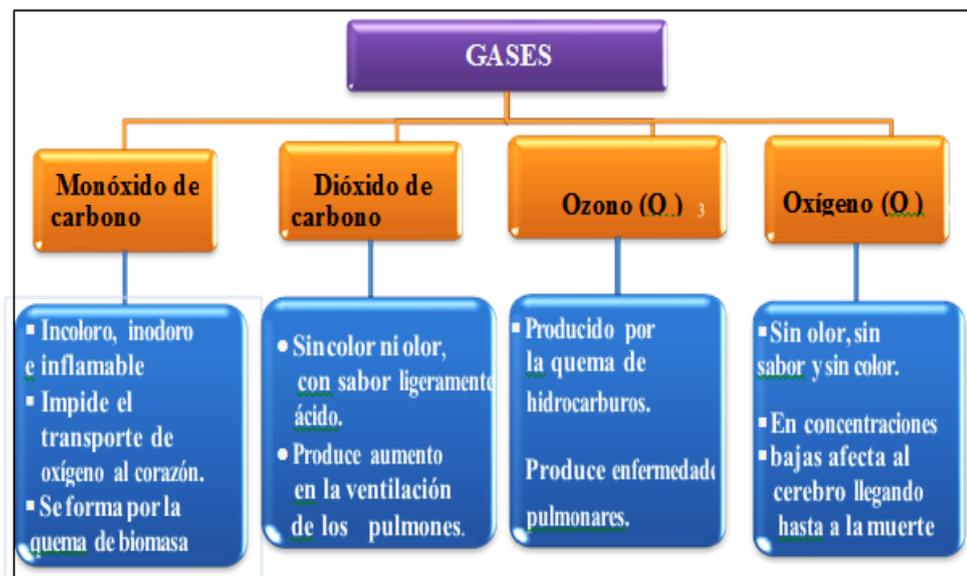


Figura 2.5 Características de los gases atmosféricos

Fuente: (Aguirre & Paladines 2016)

Los principales como el Monóxido de Carbono (CO) se produce por las combustiones incompletas, en particular de la siderurgia, refinerías de petróleo y motores de vehículos, es un gas incoloro, inodoro y tóxico.

El Dióxido de Carbono (CO₂). Se origina en los procesos de combustión. Es el principal gas del efecto invernadero (GEI), emitido por quema de combustibles fósiles. Los niveles de dióxido de carbono, llegaron a cifras récords en el año 2006, acelerando el calentamiento global según informe de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). (Aguirre & Paladines, 2016)

Este gas es producido por las actividades humanas y al cual el Panel Internacional del Clima de la ONU culpa de fomentar el calentamiento a nivel mundial. (Blanco, 2008). Este crecimiento en las concentraciones es debido principalmente a la quema de combustibles fósiles para energía, y en menor grado a la deforestación. El Dióxido de azufre (SO₂) proviene de las centrales eléctricas, fábricas, automóviles y del combustible de uso doméstico.

El aire contaminado agrava las enfermedades respiratorias, corroe árboles y construcciones de piedra caliza; afecta también a productos textiles sintéticos. Óxidos de Nitrógeno (NOx) se producen por los motores de combustión interna, los aviones, los hornos, el uso excesivo de fertilizantes, los incendios de bosques, entre otros, son el constituyente característico del smog de las grandes ciudades que ocasiona infecciones respiratorias, entre ellas la bronquitis, especialmente a los recién nacidos.

El material particulado está constituido por una mezcla de materiales sólidos y líquidos en forma de partículas suspendidas en el aire, varían de tamaño, forma y composición. Su tamaño va desde los 0.005 hasta 100 micras de diámetro aerodinámico, para entender mejor va desde unos cuantos átomos hasta el grosor de un cabello humano, entre los principales se tiene al material particulado PM2.5, cuyo diámetro aerodinámico es menor a 2.5 micras; y, al material particulado PM10, de diámetro aerodinámico menor a 10 micras. (Aguirre & Paladines, 2016)

Entre otros contaminantes del aire están: el metano (CH₄), influye sobre el clima con altas incidencias sobre el ozono en la tropósfera, el vapor de agua en la estratósfera y la capacidad oxidante de la atmósfera; el fosfato, se encuentra en las aguas de alcantarillas y de desechos, proviene de los detergentes, fertilizantes y de los residuos de las crías de animales; el mercurio (Hg), se produce en la utilización de combustibles fósiles, en la industria, en las centrales de energía eléctrica, en fabricación de pinturas, en papeleras.

Constituye un grave agente contaminante de los alimentos, especialmente de los provenientes del mar; el petróleo y sus derivados, la contaminación es causada por extraer el producto, durante su refinación, por los accidentes de buques petroleros y por la evacuación que se efectúa durante el transporte, causa daños desastrosos en el medio, destruyendo, la flora y fauna marinas; plaguicidas, son tóxicas para los crustáceos, (Aguirre & Paladines, 2016).

Los principales gases atmosféricos se han asociado a efectos específicos sobre el sistema respiratorio. Los seres humanos están expuestos a cada uno de ellos, pero en determinadas concentraciones y el lapso de tiempo que estén expuestos, las personas pueden presenciar daños en su salud.

En las tablas 2.1, 2.2 y 2.3 se han colocado los efectos adversos de dichos gases atmosféricos, estos valores han sido tomados de las recomendaciones por parte de la Organización Mundial de la Salud (Aguirre & Paladines, 2016)

Tabla 2.1 Síntomas que se presentan en el ser humano según porcentajes de “C”

Monóxido de Carbono	Síntomas
0.02%	Produce dolor de cabeza después de cuatro horas de exposición
0.04%	Produce dolor de cabeza y malestar en dos horas de exposición.
0.12%	En media hora produce palpitaciones rápidas del corazón tendencia a perder el equilibrio en una hora y media.
0.20%	Produce inconsciencia en media hora

Fuente: (Aguirre & Paladines, 2016)

Tabla 2.2 Efectos en el ser humano debido a la deficiencia de oxígeno "O"

Porcentaje de Oxígeno	Síntomas
17%	Respiración rápida y profunda.
15%	Vértigo, mareo, zumbido en oídos, aceleración de los latidos.
13%	Pérdida de conocimiento en exposición prolongada
9%	Desmayo e inconsciencia.
7%	Peligro de muerte.

6%	Movimientos convulsivos.
----	--------------------------

Fuente: (Aguirre & Paladines, 2016)

Tabla 2.2 Síntomas que se presentan en el ser humano según los Porcentajes de CO₂"

Dióxido de Carbono	Síntomas
3.3% - 5.4%	Durante 15 minutos se experimenta profundidad aumentada de respiración.
6.5%	Produce una sensación de inhabilidad para respirar (disnea), ritmo aumentado del pulso, jaqueca, mareos, sudor, fatiga, desorientación y distorsión visual desarrollada.
7.5%	Veinte minutos de exposición disminuye el rendimiento Mental.
30%	Por 20 – 30 segundos, afecta el corazón.

Fuente: (Aguirre & Paladines, 2016)

2.6. Valores de gases permisibles.

El Ministerio del Ambiente del Ecuador en su “Plan nacional de la Calidad del Aire en Ecuador” se establece la “Norma Ecuatoriana de Calidad de Aire, NECA”. Determina que algunos de los 7 y 89 dióxido de carbono no debe exceder un periodo continuo de 8 horas y el material articulado no deberá exceder un periodo continuo de 24 horas.

Tabla 2.4 Medidas permitidas de gases

Componente contaminado	Aire limpio	Aire contaminado
SO ₂	0.001-001ppm	0.02-ppm

CO ₂	350-450 ppm	450-700 ppm
CO	30-60 ppm	60-200 ppm
Hidrocarburos	1ppm	2 – 20 ppm
Partículas	10 – 20 ug/m ³	70 – 700 ug/m ³

Fuente: (Aguirre & Paladines, 2016)

2.7 Estaciones meteorológicas Ambientales.

Una estación meteorológica ambiental es una instalación definida para medir y registrar

Tabla 2.3 Escala de cobertura espacial

Estación	Escala de cobertura
Micro	10 a 100 m
Media	100 a 500 m
Vecindario	500 a 4 Km
Urbana	4 a 100 Km
Regional	100 a 1000Km

Fuente: (Aguirre & Paladines, 2016)

2.8 Calidad del aire en el Ecuador

Tomando los datos del trabajo investigativo de (Aguirre & Paladines, 2016) manifiesta que de una valoración realizada para el Ministerio del Ambiente para determinar la calidad de aire se aprecia que de 18 ciudades del Ecuador con poblaciones urbanas mayor a los 100 mil habitantes y en donde las concentraciones de actividades socioeconómicas se realizan en el centro de la urbe, pueden ser la que tienen mayores posibilidades de poseer una mala calidad ambiental.

Quito con la creación de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico “REMMAQ” a cargo de la Secretaria Metropolitana de Ambiente, mantiene un sistema de revisión técnica vehicular sobre las emisiones y calidad de aire en la ciudad, posee 8 estaciones automáticas en línea y 37 puntos manuales distribuidos en 35 Parroquias, según el “Informe Calidad del Aire 2014” presentado por

REMMAQ en abril del 2015 (Aguirre & Paladines, 2016).

En dicho informe se observa que las emisiones de monóxido de carbono se han reducido en un 54%, esto lo atribuyen al trabajo realizado en la calibración de los vehículos y sus emisiones. El nivel de ozono (O₃) no supera los niveles de peligro y se registra una disminución desde el año 2004 en un 30% hasta el año 2011 en donde se ha mantenido constante.

Se observa un aumento en el material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) conforme la normativa de calidad de aire, en los meses de agosto y septiembre 5 estaciones registran este aumento, durante los meses de enero y febrero ninguna estación superó la normativa, las estaciones ubicadas en Tababela, Quitumbe, y Guajaló que se mantuvieron por encima de la norma se atribuye a los trabajos realizados en la adecuación de las vías (Aguirre & Paladines, 2016)

Cuenca con la Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca “EMOV” y su “Red de Monitoreo de la Calidad de Aire” miden las concentraciones de ozono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y benceno, cuenta con 20 estaciones de monitoreo pasivas ubicadas en todo Cuenca. Ambato en 2014 fue nombrada como una de las tres ciudades con el aire más limpio en Latinoamérica, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) el Cabildo Ambateño con el “Plan de Optimización de la Calidad del Aire”, cuentan con una estación que monitorea partículas invisibles pero que son de gran afectación a la salud humana. (Aguirre & Paladines, 2016). Ver tabla N° 2. 6 de casos registrados por infecciones respiratorias agudas en Ecuador

Tabla 2.4 Casos registrados de Infecciones Respiratorias Agudas

Provincias	Casos registrados de infecciones respiratorias agudas
Guayas	391889
Manabí	289068
Pichincha	264352
El Oro	139027
Los Ríos	125033
Azuay	134016
Tungurahua	110057

Loja	92146
Esmeraldas	84636
Napo	67700
Morona Santiago	66376
Imbabura	66391
Chimborazo	63033
Cañar	61336
Cotopaxi	47213
Bolívar	41743
Santa Elena	37014
Carchi	34817
Zamora Chinchipe	32384
Pastaza	32047
Orellana	25658
Galápagos'	1892
Sucumbios	6329
Total	2271661

Fuente: (Aguirre & Paladines 2016)

2.9 Drones

Los drones no son más que Vehículos aéreos no tripulados (VANT), esa es la manera correcta de referirse a estos equipos que unidos de lo más moderno y avanzado de la robótica y la aeronáutica han realizado maniobras y acciones que el ser humano no había podido realizar directamente, por ello este invento ha sido bastante acertado.

Al principio los drones fueron fabricados para usos militares y no se los podía adquirir debido a su alto costo. Pero con el paso del tiempo y los avances tecnológicos, hoy existe una gran cantidad de drones a precios accesibles se dice que Jhon Stuart Foster fue el inventor de los aviones no tripulados, debido a su gran afición por el aeromodelismo, pensó que esta afición se podría aplicar al diseño de armas.

La primera aeronave fue desarrollada por el ejército Austriaco en una guerra contra Venecia en la cual se implementaron globos con explosivos así como se presenta en estos equipos fueron lanzados desde barcos Austriacos, uno de estos globos logro su cometido aunque esto dependía de muchos factores importantes como la situación climática y el viento (Guerra, s.f.)

Existen drones automáticos, que no necesariamente requiere de un control remoto para su movimiento, sino que se puede trazar una ruta mediante coordenadas para que el dron pueda seguirla mediante el GPS incorporado. Un dron con estas características tiene la capacidad para salir de un punto preestablecido, recorrer una trayectoria previamente programada y llegar a un punto determinado en la programación.

2.9.1 Aplicaciones de los Drones.

Mediante los alcances de la ciencia y tecnología se permite tener drones de usos militares y comerciales. Las bondades que estos artefactos electrónicos brindan son: velocidad, desplazamiento aéreo, tamaño, ahorro de tiempo y acceso para áreas restringidas.

Los drones pueden atravesar terrenos irregulares o accidentados superando cualquier tipo de obstáculos, pueden volar a gran altitud usando fuentes de energía renovable, comunicarse con una base vía satélite, llevar a cabo misiones que requieren de una gran precisión, pasar desapercibido ante los ojos de radares por su diminuto tamaño, o volar con otros drones creando un enjambre para una tarea en común. (Trujillo, 2017)

2.9.2 Búsquedas de personas desaparecidas.

Los drones son excelentes en buscar personas desaparecidas en lugares abiertos además son usados en áreas de difícil acceso como zonas montañosas, nevados,

bosques o selvas. Debido a su reducido tamaño existe la ventaja de tenerlos siempre disponibles en estaciones de rescate reduciendo considerablemente el tiempo de inicio en la búsqueda (Trujillo, 2017)



Figura 2. 6 Drone busca personas

Fuente: (Trujillo, 2017)

2.9.3 Componentes.

Los VANT están compuestos por cuatro subsistemas principales, independientes a nivel de desarrollo y vinculados entre sí a nivel funcional, dichos subsistemas son:

2.9.3.1 Plataformas de Vuelo. Se compone del vehículo en sí (normalmente definido como arfarme o aircraft) y la carga útil a bordo de éste (cámaras y otros sensores).

2.9.3.2 Sistemas de control de vuelo o FCS (Flight Control System). Se compone de los sensores (IMU, Air data, etc.), sistemas de posicionamiento (GPS u otros), servomecanismos, computador de abordo, etc. integrados en la plataforma de vuelo. El FCS se caracteriza por ser el encargado de geo referenciar la información adquirida por la plataforma en vuelo y contribuir al control y estabilización del UAV. (Aguirre & Paladines, 2016)

2.9.3.3 Sistemas de comunicaciones. Se compone de enlaces de comunicación, vía radio, entre la estación de control de tierra y el vehículo aéreo no tripulado. Se caracteriza por ser el encargado de transferir la información adquirida por la plataforma en vuelo y garantizar la comunicación entre el centro de control y la plataforma de vuelo.

2.9.3.4 Estación de control de tierra GCS (o Ground Control Station). Se compone del conjunto de ordenadores y/o dispositivos que monitorizan y

supervisan la plataforma de vuelo. Cuenta con un sistema de observación para realizar el análisis (generalmente gráfico) de la información adquirida e integrarla en una aplicación relacionada con el propósito de la misión

2.9.4 Tipos.

Existe una gran variedad de VANT, muchos de uso militar, en la actualidad desarrollados con todas las facilidades para un uso común, los VANT's se clasifican de acuerdo al tipo de ala rotativa que posean en su diseño como se observa en la Figura 2.7, en esta investigación se hablara más de los quad-rotors que es el tipo de VANT que se usara en el sistema a implementar

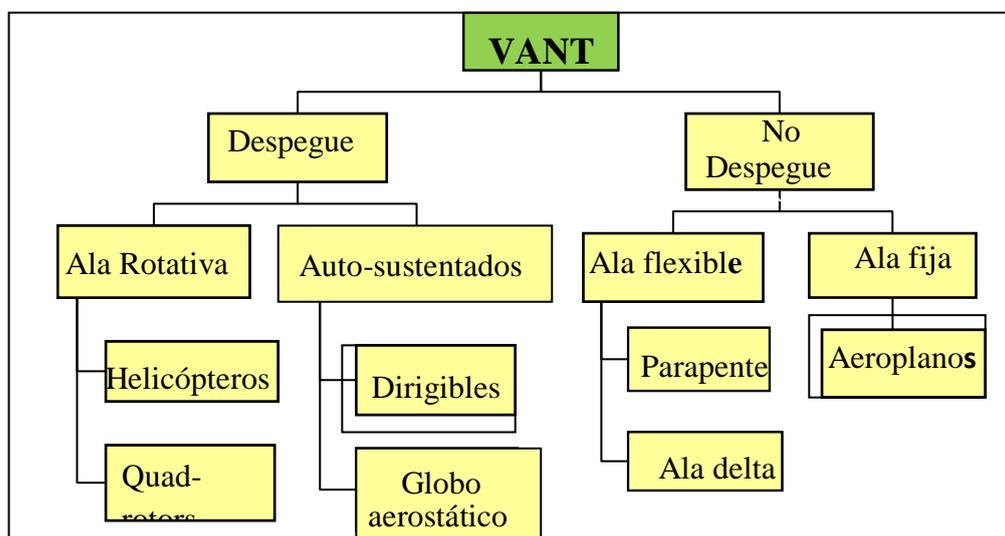


Figura 2.7 Tipos de VANT.

Fuente: (Aguirre &Paladines 2016)

2.10 Sensores.

Un sensor, también conocido como captador o transductor, es un dispositivo diseñado específicamente para recibir una información correspondiente a una magnitud externa al mismo, transformándola en otra magnitud, generalmente eléctrica, que permita una cuantificación y una manipulación mucho más sencillas. (Cardona, 2011)

2.10.1 Tecnologías en sensores de gases

La tecnología en sensores de gases sobre todo para la calidad de aire está avanzando, debido a la demanda en la producción de sensores de alta sensibilidad y selectividad, pero a la vez es un tema complejo, ya que es muy importante poder

detectar un sin número de gases utilizando sistemas de bajo costo. Algunos sensores realizan la detección de un gas específico eliminando lecturas de otros gases presentes, un ejemplo de esto son aplicaciones que detecten el oxígeno molecular “O₂” teniendo que eliminar lecturas de gases como el nitrógeno “N” que se encuentra en mayor medida en el ambiente. Así mismo existen aplicaciones que realizan el efecto contrario en la cual realizan mediciones de cada gas que se encuentra en el medio (Aguirre & Paladines, 2016)

2.10.2 Tipos de sensores.

Hay un sin número de tecnologías usadas para la detección de gases, pero en este proyecto nos enfocaremos sobre sensores de calidad de aire. Hay que diferenciar entre categorías de monitoreo de gases tóxicos para la salud humana o monitoreo de gases de combustible, ya que dependiendo de la aplicación a desarrollar, se requiere un sensor más sensible a niveles bajo de concentración o lo contrario sensible a altas concentraciones (Aguirre & Paladines, 2016)

2.9.2.1 Electroquímicos. Los componentes básicos de un sensor electroquímico son un electrodo de trabajo también denominado cátodo el cual es el que detecta, un contra-electrodo denominado ánodo y generalmente también un electrodo de referencia. Estos se encuentran dentro de la carcasa del sensor y en contacto con un líquido electrolítico (Aguirre & Paladines, 2016). “En una reacción por oxidación, se produce un flujo de electrones desde el electrodo de trabajo hacia el contra-electrodo a través del circuito exterior. Por otro lado, en una reacción por reducción, el flujo de electrones toma el camino inverso. Este flujo de electrones produce una corriente eléctrica proporcional a la concentración de gas”.

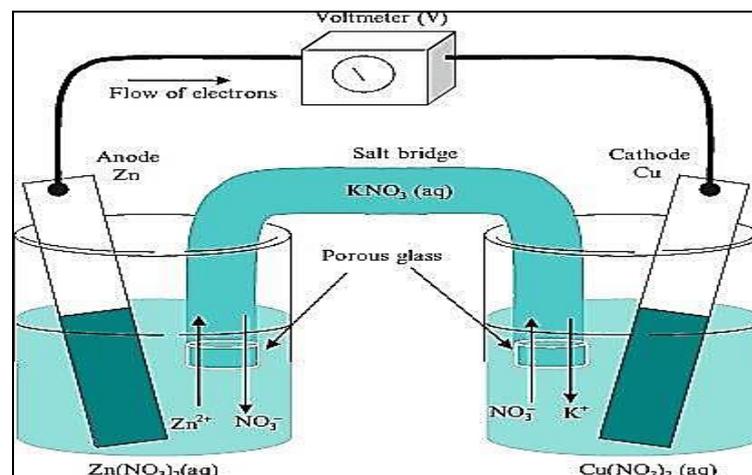


Figura 2. 8 Sensor electroquímico

Fuente: (Aguirre & Paladines, 2016)

2.10.2.2 Catalíticos. “Estos sensores se utilizan para detectar vapores y gases. En principio poseen bobinas de alambre, bobinas que se mezclan con dos tipos de catalizadores: uno para que el elemento sea activo y otro inactivo. Estas diferentes bobinas luego son combinadas en pares de elementos de detección y de referencia”

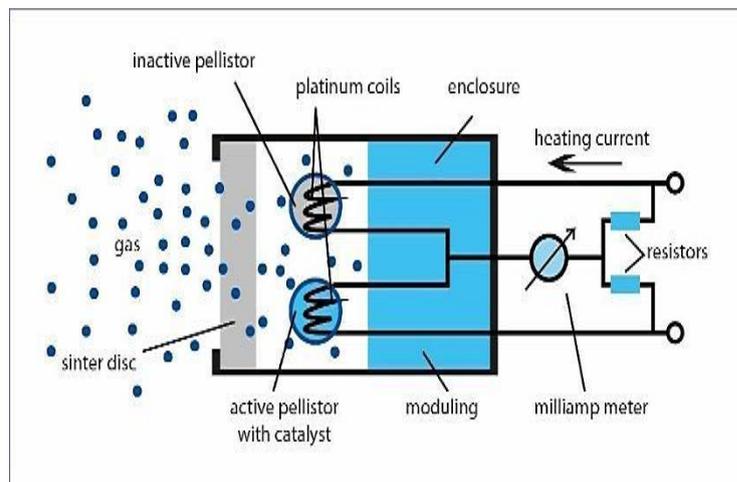


Figura 2.9 Sensor catalítico.

Fuente: (Aguirre & Paladines 2016)

En presencia de gases, las moléculas de gas se queman sobre la superficie del sensor, esto ocasiona que la resistencia interna que posee el sensor se altere, ésta se encuentra conectada a un puente de Wheatstone,

2.10.2.2.1 Catalíticos de gas de estado sólido. Esta clase de sensores se compone de uno o más óxidos metálicos de metales de transición. Estos tipos de óxidos metálicos están preparados en una pasta usada para formar un sensor en forma de burbuja; EL sensor reacciona con el tipo de gas a detectar en donde el óxido metálico causa una descomposición del gas en iones cargados, resultando la transferencia de electrones.

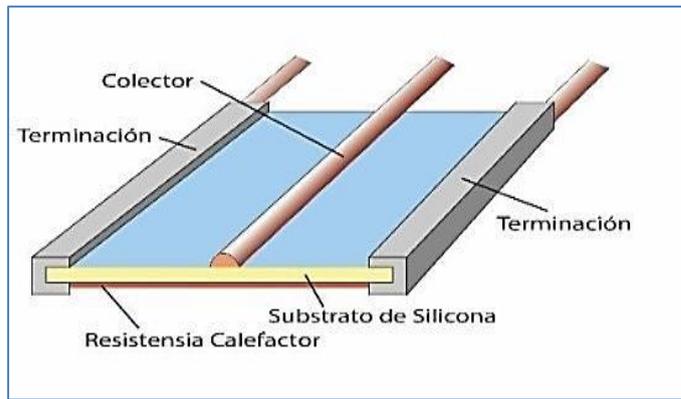


Figura 2.10 Sensor de gas de estado sólido.

Fuente: (Aguirre & Paladines, 2016)

2.10.2.2.2 *Infrarrojos*. La radiación pasa a través de la sección de absorción y luego se contrae al rango de longitud de onda requerida para el gas que deseamos detectar, a medida que aumenta la concentración del gas, se absorbe más radiación traduciéndose en una señal eléctrica

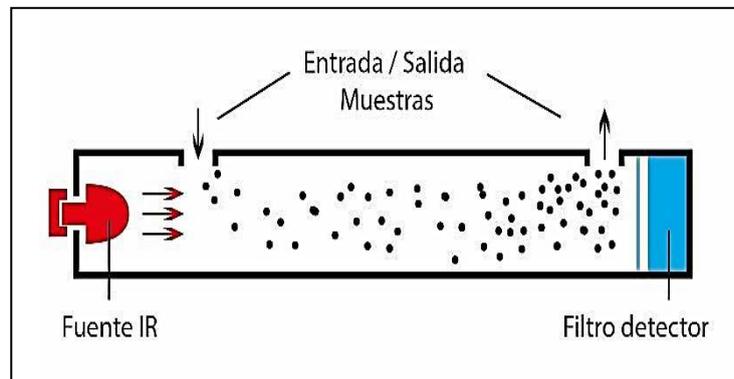


Figura 2. 11 Sensor de gas infrarrojo

Fuente: (Aguirre & Paladines, 2016)

2.11 Detectores de fotoionización.

Este tipo de detector de fotoionización, utiliza luz ultravioleta, de tal manera que ioniza las moléculas de gas (ver figura 2.12). Los electrones libres resultantes chocan con los electrodos del instrumento, produciendo una corriente. La magnitud de la corriente es proporcional a la concentración del gas.

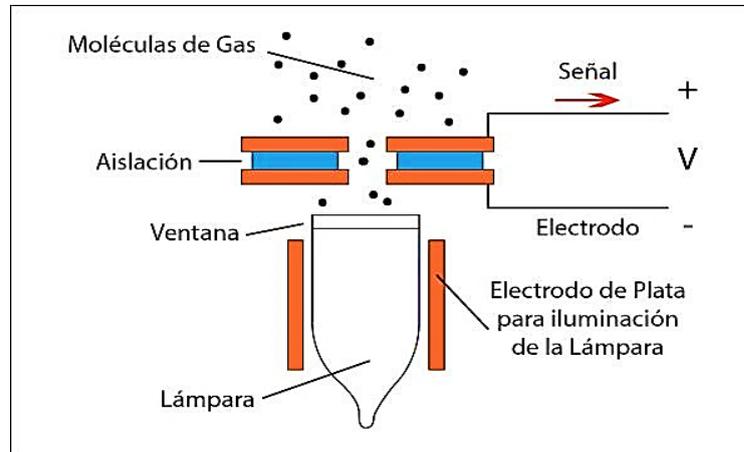


Figura 2.12 Detector de fotoionización.

Fuente: (Aguirre &Paladines 2016)

2.12. Redes

Gracias a la evolución de las capacidades de las redes, el tratamiento automatizado de la información ha mejorado considerablemente en los últimos sesenta años. A partir de los grandes sistemas centralizados hoy están disponibles varias arquitecturas. Una red es un medio de comunicación que permite a personas o grupos compartir información y servicios.

La tecnología de las redes informáticas está compuesta por el conjunto de herramientas que permiten a los ordenadores compartir información y recursos. Una red está constituida por equipos llamados nodos, las redes se categorizan en función de su amplitud y de su ámbito de aplicación. Para comunicarse entre sí los nodos utilizan protocolos o lenguajes comprensibles para todos ellos. (Dordoigne, 2015)

“En el libro de Gastón C. Hillar y Víctor J. Oltolina llamado Chat Fácil y Rápido indica que una red tiene muchas utilidades, entre ellas:

- Comunicar equipos informáticos entre sí y permitir la transmisión de cualquier clase de información digitalizada.
- Compartir información. Por ejemplo, varios equipos pueden acceder a los mismos archivos.

- Compartir recursos y dispositivos. Por ejemplo, espacio en disco para almacenamiento de archivos, impresoras, scanner, cámaras digitales (webcams), etc.
- Distribuir el procesamiento entre las computadoras conectadas a la red. Por ejemplo, los sistemas que van procesando información en diferentes máquinas y luego muestran el resultado final en una, para hacer más rápido o aprovechar determinados recursos. Muchos sistemas empresariales y científicos utilizan estos mecanismos.
- Compartir servicios o aplicaciones e interactuar con otros usuarios a través de ellas. Por ejemplo, varias computadoras utilizando el acceso a Internet provisto por una PC con una conexión ADSL, realizar transacciones de comercio electrónico (*e-commerce*), utilizar juegos en red, chat o mensajería instantánea”. (Cando, 2015)

Las posibilidades que brinda una red son prácticamente ilimitadas, pues se puede hacer todo lo que permitan varias computadoras intercambiando información. Los límites dependen de cómo interpreta cada computadora la información que recibe de la otra. (Cando, 2015)

2.12.1 Componentes de una Red.

Según Carlos H, (2009) expresa que la red más sencilla está conformada por los siguientes componentes de hardware, los cuales tienen su alineación con los de un sistema de comunicaciones:

- Las PC. Son las fuentes y destinos.
- Las tarjetas de red, también conocidas como adaptadores de red o simplemente NIC (*Network Interfaz Card* – Tarjeta de interfaz de red). Son las transmisoras y receptoras.
- El medio físico. Es el medio o sistema de transmisión. Además de estos componentes de hardware, pueden agregarse muchos otros a medida que crece la cantidad de computadoras conectadas en red, pero de eso nos ocuparemos más adelante en los siguientes capítulos. Por otro lado, tenemos los componentes de software:
- El sistema operativo de red, también conocido como NOS (*Network Operating System*). Es un sistema operativo preparado para trabajar en redes en los modelos cliente-servidor y par a par. Está diseñado con el

objetivo de soportar un determinado conjunto de protocolos, servicios y aplicaciones de redes. Prácticamente todos los sistemas operativos modernos son NOS. Son ejemplos de estos sistemas operativos Windows 2003, XP y 2000, Linux y Unix en sus diferentes versiones.

- Las aplicaciones diseñadas para la red. Es el software que se ejecuta sobre el sistema operativo de red y que está pensado para sacar provecho a las redes. Son algunos ejemplos, el correo electrónico (e-mail) como Outlook Express y KMail, la mensajería instantánea como ICQ o MSN Messenger, las aplicaciones para trabajar en equipo (groupware) como Lotus Notes y las específicas que utilizan servidores de bases de datos. (Cando, 2015)

2.12.2 Clasificación de las redes.

Según Capmany (2010) Indica que las redes de datos se clasifican atendiendo a diversos criterios y en virtud de los cuales se emplean términos desiguales para identificarlas, estas son las Redes de Área Local (LAN), Redes de Área Metropolitana (MAN) y Redes de Área Amplia (WAN). Las redes inalámbricas se pueden clasificar teniendo en cuenta como parámetro principal su rango de cobertura

2.12.3 Redes de Sensores Inalámbricos.

Las Wireless Sensor Networks (WSN) nacieron como idea en la Universidad de Berkeley bajo una propuesta del Dr. Kris Pister. El enfoque de esta nueva idea, era reducir de manera exponencial los problemas que existían con las Redes de Sensores de la época que eran el gran consumo de potencia, equipos demasiado grandes y alto costo de implementación y mantenimiento; estos problemas existían tanto en la red como en los equipos utilizados en los nodos. (Gordon, 2012)

Tomando esto como base luego de años de estudio nace la propuesta de *Smart Dust* junto con Joe Kahn y Bernhard Boser en el año 1997, el desarrollo al principio fue bastante rápido pero al transcurrir el tiempo aparecieron ciertos problemas que hicieron que el desarrollo de la tecnología no se logre tan rápido como se pensó en un inicio. (Gordon, 2012). En la primera propuesta del proyecto *Smart Dust*, el director designado era el Dr. Kris Pister. La idea estaba orientada al desarrollo de Redes de Micro sensores Autónomos con enlaces de Comunicación

Óptica, contaban con un fondo de veinticinco mil dólares y su duración era de un año. (Gordon, 2012).

Se desarrollaron varios dispositivos relacionados a este tema, uno de ellos contaba con un microprocesador y un sensor meteorológico (podía censar luz, temperatura, presión y humedad), y un puntero láser (encargado de la comunicación). Sistema hipotético de muchos sistemas micro electromecánicos (MEMS) como sensores, robots, y otros dispositivos que pueden por ejemplo detectar luz, temperatura, vibración, magnetismo o químicos; están usualmente conectados inalámbricamente; y están distribuidos sobre cierta área para desempeñar trabajos especiales, normalmente censar. (Gordon, 2012).

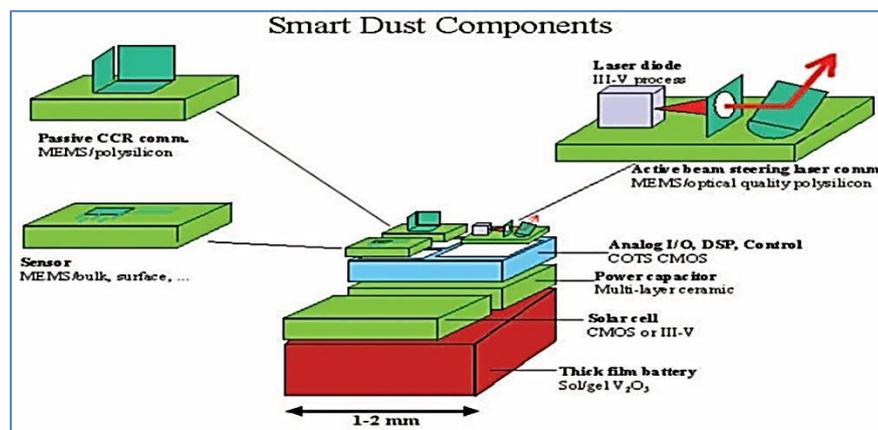


Figura 2.13. Componentes del primer Micro sensor Smart Dust

Fuente: (Gordon, 2012)

Los estudiantes del Dr. Pister se ubicaron en una torre (*Coit Tower, San Francisco*) allí pusieron el sensor, el mismo tenía línea de vista con la oficina del Profesor que se encontraba a 26 km, en donde se encontraba una pequeña cámara que se encargaba de procesar los datos obtenidos mediante un software que captaba recuadros consecutivos en los cuales se observaba el haz del láser del micro sensor, la prueba fue exitosa y lograron establecer una comunicación a larga distancia convirtiéndose en la base del desarrollo de las redes de sensores inalámbricos.

El siguiente punto donde se trabajó en la investigación fue en la miniaturización de los sensores, se trató de obtener un micro sensor inalámbrico de 100mm^3 , a pesar que no se logró este objetivo, fue la base para los dispositivos que existen en la actualidad los cuales integran una gran cantidad de funciones en un equipo de tamaño pequeño en relación a las funciones que incorporan.

Durante el desarrollo de esta idea, los estudiantes de Maestría en Ingeniería Mecánica del Dr. Pister construyeron el primer micro sensor que contaba con una interfaz de Radio Frecuencia, con el mismo se plantaron las bases sobre las que se desarrollarían las redes de múltiples saltos así como sistemas de localización en base a quién trataba de establecer la comunicación en la red. Este prototipo se lo desarrolló alrededor del año 2000. (Gordon, 2012)

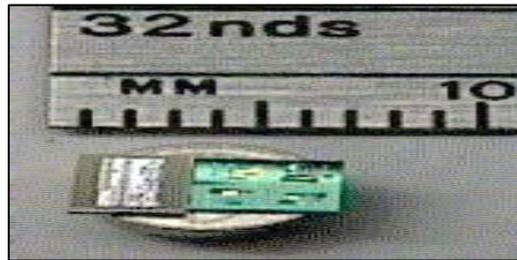


Figura 2. 14 .Prototipo Primer Micro sensor *Smart Dust*

Fuente: (Gordon, 2012)

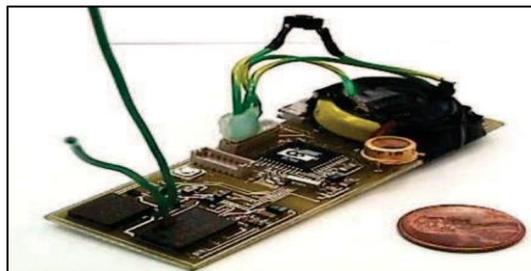


Figura 2. 15. Primer Sensor Inalámbrico con Interfaz

Fuente: (Gordon, 2012)

Como resultado de esta investigación en el verano del 2000 se obtuvo que el sensor RF:

- Era económico y fácil realizar sensores inalámbricos basados en RF
- Existía un gran interés por desarrollar sensores basados en RF por parte de la Industria, *Berkeley Wireless Research Center*, *Center of the Built Environment* (IUCRC), *PC Enabled Toys* (Intel)
- Pruebas de la Comunicación Óptica como concepto
- Problemas al trabajar con RF (Interferencia, Ruido, *Multipath*, Reflexión, entre otras)

Con el transcurrir del tiempo el consumo de potencia por procesamiento computacional ha ido disminuyendo de manera exponencial, de igual manera ha sucedido con las MEMS, con esto se ha logrado que los dispositivos tecnológicos

cada vez se hagan más baratos y tengan un mejor desempeño. A pesar de esto la instalación, conexión y puesta en marcha de redes de sensores (cableadas en un principio) era demasiado costoso, debido a este problema nace la idea de crear redes malladas inalámbricas las cuales permitirían reducir costos a mediano plazo.

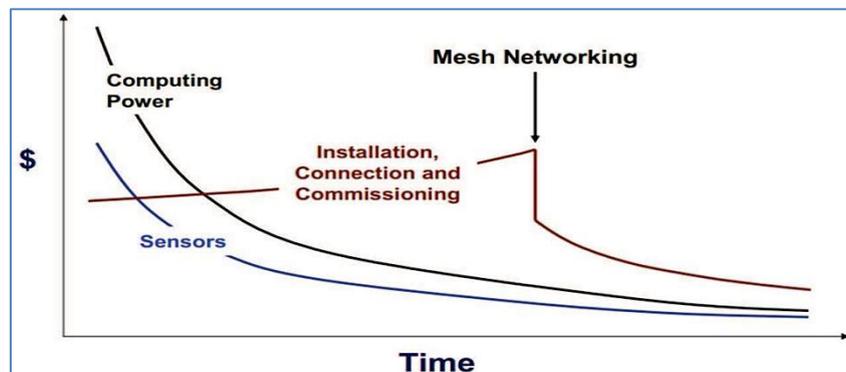


Figura 2.16. Costo de las WSN vs. Evolución de la Tecnología en el Tiempo

Fuente: (Gordon, 2012)

Las proyecciones obtenidas hasta la fecha impulsaban a las WSN como un negocio bastante lucrativo y con infinitas aplicaciones con beneficio tanto industrial como social, a pesar de esto la tecnología que se fue desarrollando para las WSN, primero con Zigbee. 2004, posteriormente con Zigbee 2006 y finalmente con Zigbee Pro (2007); no brindaban las prestaciones necesarias para la evolución de las mismas, principalmente porque soportaban un solo canal y al trabajar con la frecuencia de 2.4 GHz.

Existía demasiados riesgos de introducir al mercado un producto susceptible a interferencias producidas en esta banda ya que existían otras tecnologías como Wi-Fi que trabajaban en la misma, la idea no se estancó ahí y los investigadores y patrocinadores de este proyecto esperaron a que saliera la tecnología necesaria para desarrollar el proyecto.

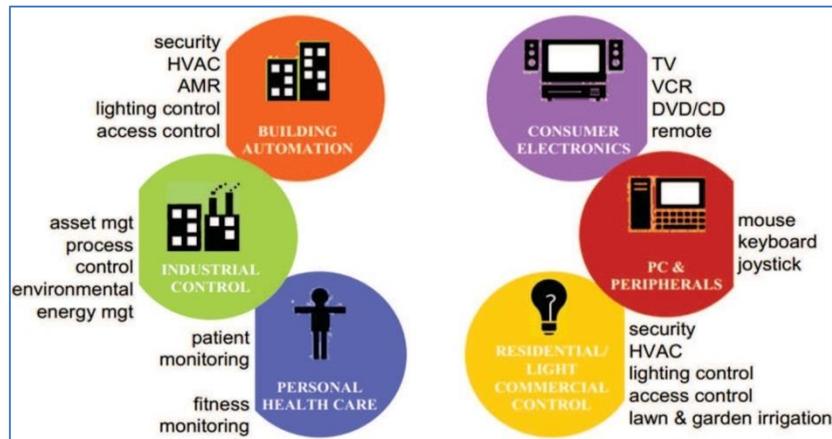


Figura 2.16 Proyección de Aplicaciones de las WSN

Fuente: (Gordon, 2012)

2.12.4 Protocolo de red de tiempo sincronizado.

Time Synchronize Mesh Protocol (TSMP), aparece como una solución ante la limitación de protocolos que existía en esa época, lo provechoso de este protocolo era que su desarrollo fue una adaptación de los protocolos existentes.

El protocolo asume que todas las motas que forman parte de la red están sincronizadas con una diferencia de tiempo de aproximadamente $1ms$.

Se propone el caso en que la mota B va a enviar un paquete a la mota A, para un uso eficiente de los recursos de la red. la mota A debe despertar únicamente cuando B necesite enviar un paquete, debido a la diferencia de tiempo de sincronización que existe entre la mota A y la mota B, A despertaría un poco antes de que la mota B comience a transmitir y esperaría un tiempo hasta que efectivamente el paquete proveniente de B se empiece a transmitir, si en este intervalo que suma en total $2ms$ no se recibe la información por parte de B, ya sea porque B no tenía que decir, la señal fue interferida por una transmisión de Wi-fi o por la interferencia multi camino presente en el entorno.

A determina que B no está enviando información y vuelve a su estado de espera. En el caso en que B si tenga datos que enviar, estos son receptados por A, si la información que llegó es correcta A envía un ACK a B, el mismo procedimiento es realizado por B y se finaliza la comunicación (A vuelve a estado de espera).

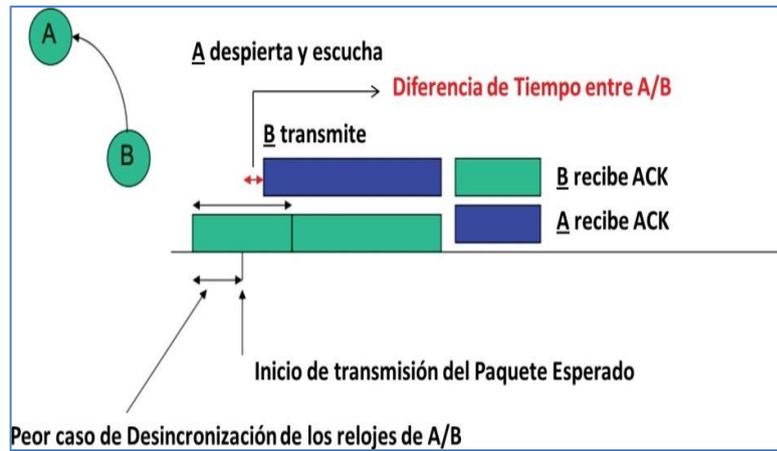


Figura 2. 17 Comportamiento de dos Motas al intercambiar mensajes

Fuente: (Gordon, 2012)

La diferencia de tiempo que existe entre el intervalo en que A esperaba por el paquete y el intervalo en que B envió el paquete genera un retardo, que aunque está en el orden de los μs , en una red con varios nodos puede generar retardos que ocasionen que la monitorización no se realice en tiempo real, es por eso que es importante determinar la máxima cantidad de nodos en una red de múltiples saltos, que generan un retardo aceptable para que la monitorización que se esté realizando, a pesar de los retardos generados se considere en Tiempo Real.

En cuanto a costo energético de enviar este paquete, en pruebas realizadas por el grupo de investigación del Dr. Pister, como se observa en la Figura.2.19 recreando la transmisión detallada anteriormente, se aprecia el consumo de energía en relación al tiempo, si se obtiene el área bajo la curva resultante determinaremos el costo total de la transmisión que resulta ser de $300\mu C$.

Una vez conocida esta información es necesario conocer el tiempo que conlleva realizar esta operación ya que esto determinará si la monitorización realizada es considerada en tiempo real.

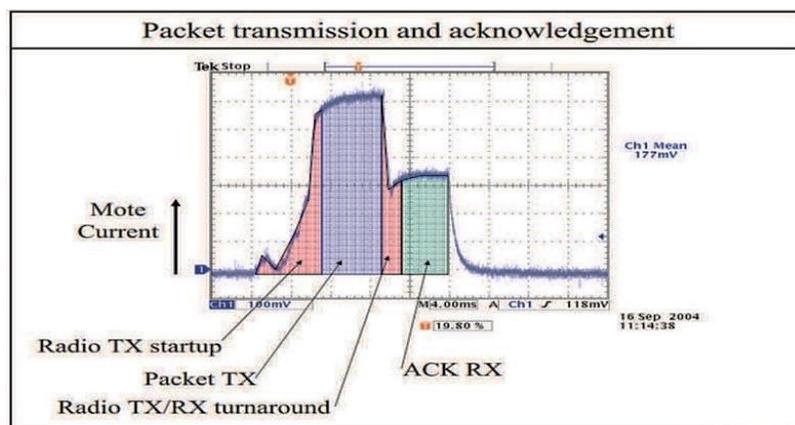


Figura 2.18 Costo Energético de la Transmisión del Paquete

Fuente: (Gordon, 2012)

En toda transmisión existen varios factores que determinan el tiempo que conlleva realizarla y es por eso que cada uno de estos debe ser analizado particularmente para al final sumarlos y conseguir el tiempo total de la transmisión:

El primer factor que debemos tomar en cuenta es el tiempo de propagación este, el mismo está dado por: el tiempo que demora el paquete en ser transmitido, en ser asignado un canal y ser recibido, a este tiempo de acuerdo a la nomenclatura usada por el Dr. Pister lo denominaremos T_{CCA} cuya fórmula y valores experimentales se detallan), el tiempo total de propagación de la información sería 0.512ms los cuales se pueden disminuir usando encriptación Gold24 a 0.228ms.

$$T_{CCA} = T_{TX \rightarrow RX} + T_{Asignación\ del\ Canal} + T_{RX \rightarrow TX} = 0.192ms + 0.128ms + 0.192ms$$

El segundo factor es el tiempo de envío de todo el paquete, basándose en el máximo tamaño posible de 1064 bits a una tasa de transmisión de 250kbps el tiempo requerido sería de 4.256ms, la fórmula se la puede observar en

$$T_{Pckt} = P_{ream} + SS + P_{pkt} = 1 + 4 + 128B = 133B = 1064bits \rightarrow 4.256ms @ 250kbps$$

El tiempo de encriptación también necesita ser considerado, de acuerdo al algoritmo estos pueden ser: 0.25–0.5ms Gold24, 0.5–1ms cc2420.

El tiempo de espera hasta recibir el ACK T_{gACK} también se debe tomar en cuenta, este depende del tiempo de encriptación T_{crypto} y del tiempo que le tomaría a la Mota B la transición de Transmisión a Recepción, aproximadamente 0.1ms.

- El tiempo que le tome enviar el ACK a la Mota A T_{ACK} , dependerá de su tamaño. Aproximadamente $1ms$.
- En total el tiempo que le tomaría a este proceso bajo el protocolo TSMP sería de $9ms$ como se observa en (2.3), para la publicación del mismo este tiempo se aproximó a $10ms$.

$$T_{slot} = T_{CCA} + 2 * T_g + T_{pkt} + T_{crypto} + T_{gACK} + T_{ACK} = 0.512 + 2 + 4.356 + 1 + 0.1 + 1 \approx 10ms$$

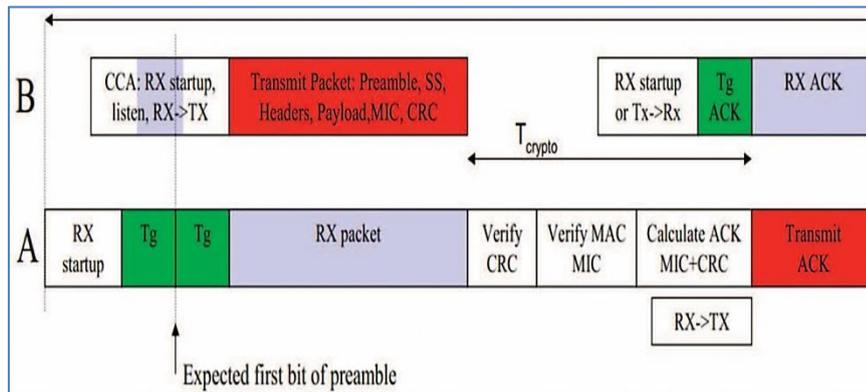


Figura 2. 19 Gráfica de los Procesos realizados en TSMP

Fuente: (Gordon, 2012)

En la Figura 2.20, se puede observar gráficamente la justificación de estos tiempos debido a los procesos que se realizan en TSMP.

En el estudio realizado por el grupo de trabajo del Dr. Pister, también se calculó la energía del paquete con el fin de determinar la cantidad de corriente necesaria para transmisiones realizadas en un ciclo de $10s$, concluyendo que esta sería de $10\mu A$ logrando el objetivo de disminuir el consumo energético potencializando así a TSMP para aplicarlo en WSN ya que las baterías llegarían a durar años, inclusive décadas.

Lo interesante del protocolo es el hecho de poder trabajar cambiando de canal, así en caso de existir problemas de interferencias con Wi-Fi o pérdidas por las características de propagación del canal, en un próximo intento gracias a estar sincronizados, permitirá que la transmisión se realice, además brinda el beneficio extra de enviar información de sincronización con cada paquete enviado en ambas direcciones.

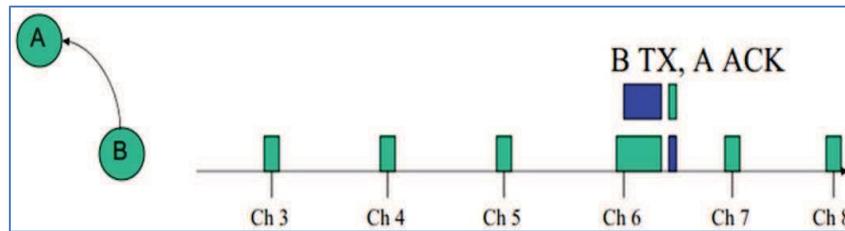


Figura 20 Comportamiento Mota A alternando canales

Fuente: (Gordon, 2012)

Los problemas que presenta esta característica del protocolo, es que conlleva un costo energético a la Mota A tener que cada cierto tiempo intentar recibir una transmisión de B, así esta no tenga paquetes que enviar, lo cual representa un uso ineficiente del espectro radioeléctrico, asumiendo que la Mota A despierta cada segundo la corriente necesaria es de $20\mu A$ lo cual representa un mínimo consumo energético. El comportamiento teórico de la mota A en este proceso se lo puede observar en la Figura 2.21

Características de propagación Las características del enlace establecido entre las motas no es tomado en cuenta ya que se asume que sin importar la ubicación de los nodos estos se van a comunicar, pero es necesario hacer un estudio previo del terreno donde se van a ubicar los equipos, caso contrario así estén ubicados a una corta distancia, la pérdida de propagación producida va a ser tan grande que las motas no se comunicarán y en caso de que lo hagan, la cantidad de paquetes perdidos y retransmitidos va a ser tan grande que la fiabilidad de los datos se verá comprometida. (Gordon, 2012)

La principal característica a tomar en cuenta al implementar un radioenlace es la denominada Zona de Fresnel. Se llama zona de Fresnel al volumen de espacio entre el emisor de una onda electromagnética y un receptor como se observa en la de modo que el desfase de las ondas en dicho volumen no supere los 180° . (Mundo Teleco, 2014)

Así, la fase mínima se produce para el rayo que une en línea recta al emisor y el receptor. Tomando su valor de fase como cero, la primera zona de Fresnel abarca hasta que la fase llegue a 180° , adoptando la forma de un elipsoide de revolución.

La segunda zona abarca hasta un desfase de 360° , y es un segundo elipsoide

que contiene al primero. Del mismo modo se obtienen las zonas superiores. (Mundo Teleco, 2014) La obstrucción máxima permisible para considerar que no hay obstrucción es el 40% de la primera zona de Fresnel. (Mundo Teleco, 2014)

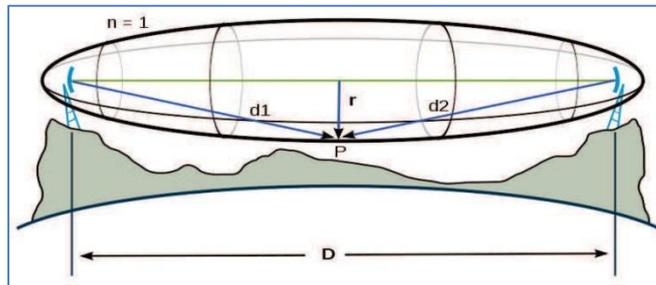


Figura 2.21 Imagen de la Zona de Fresnel

Fuente: (Mundo Teleco 2014)

La obstrucción máxima recomendada es el 20% ya que caso contrario el enlace y los datos obtenidos se verán comprometidos y no se podrá aseverar la veracidad de la información mostrada en pantalla. (Mundo Teleco, 2014)

2.12.4.2 enrutamiento Multi Salto. Una vez determinado como se obtienen los tiempos de transmisión entre dos Motas, es necesario determinar el retardo resultante de una transmisión multi salto debido a que la mayoría de sensores inalámbricos, trabajan como routers intermedios que retransmiten los paquetes de los sensores más remotos de la red. (Gordon, 2012).

Cuando se va a realizar una retransmisión a través de un sensor, la sincronización global de toda la red permite el ordenamiento secuencial de las tramas generadas por cada enlace, de esta manera al transmitir hacia el *Gateway*, se generará una súper trama que concentrará las tramas generadas por cada mota que envió información y se repetirá en el tiempo hasta llegar a su destino final.

Dependiendo del tamaño final de la súper trama generada por las Motas, se determinará el tiempo que tarda en llegar a su destino y mientras mayor sea este tiempo mayor será la latencia generada, si la latencia es demasiado alta la monitorización no será en tiempo real es por eso que el número de sensores debe ser el óptimo de tal manera que la latencia generada en las transmisiones no exceda un límite permitido.

Según las investigaciones realizadas por la Universidad de Berkeley, la latencia promedio sobre una red multi salto es:

$T_{trama}/2$, donde T_{trama} es el tiempo que tarda en transmitirse la Súper trama.

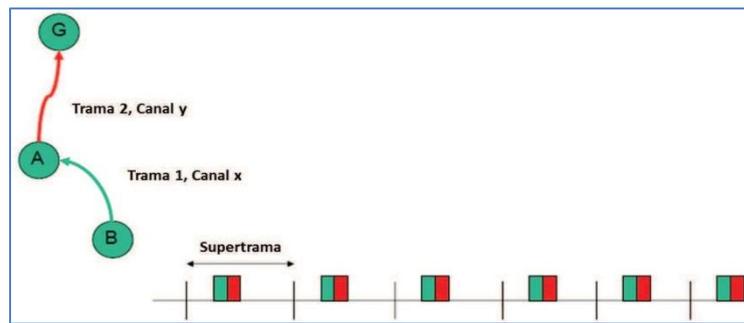


Figura 2.22 Transmisión de Paquetes hacia el Gateway
en una red de tres Motas
Fuente: (Gordon, 2012)

2.12.5 Estándar Ieee 802.15.4.

Este estándar define una capa de comunicación en el modelo OSI, su principal objetivo es permitir la comunicación entre 2 dispositivos. (Cando, 2015)

En el año 2000 dos grupos especialistas en estándares (el grupo 15 de trabajo IEEE 802 y ZigBee), se unieron para dar a conocer la necesidad de un nuevo estándar para redes inalámbricas de bajo consumo y por lo tanto bajos costos en ambientes industriales y caseros. El resultado fue que en diciembre de ese año el comité para nuevos estándares IEEE designó oficialmente un nuevo grupo de trabajo para el desarrollo de un nuevo estándar de baja transmisión en redes inalámbricas para áreas personales, con lo que nació el estándar que ahora se conoce como IEEE 802.15.4.(Cando, 2015)

El grupo de trabajo IEEE 802.15 TG4 fue designado a investigar una solución de baja velocidad transferencia de datos, con batería de larga vida, que dure meses o años y muy baja complejidad, operando en una banda no licenciada. La razón de promover un nuevo estándar, es para permitir la interoperabilidad entre dispositivos fabricados por compañías diferentes.

El estándar IEEE 802.15.4 está formado por súper tramas generadas por el nodo PAN coordinador. Cada una de estas supertramas está formada por 16 tramas de datos. En el estándar IEEE 802.15.4 es posible dos modos de funcionamiento: *beacon* habilitado y *beacon* sin habilitar.

El *beacon* es una cabecera de la súper trama MAC de 802.15.4, en la que se añade información relevante a la gestión de la comunicación. Su duración, junto

con el tiempo de espera que lleva asociado, es equivalente a una de las tramas que conforman toda una súper trama.

2.5 Estándares Iee 802.11

ESTÁNDARES IEEE 802.11 Y SU DESCRIPCIÓN		
Revisión	Título	Descripción
802.11	IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and physical layer (PHY) specifications	Estándar básico, define las capas MAC (control de acceso al medio) y PHY (capa física).
802.11b	Higher Speed physical layer (PHY) Extension in the 2,4 Ghz band.	WLAN, WI-FI.
802.11e	Medium Access Method (MAC) Quality of Service enhancements.	Mejora de la capa MAC actual para soportar calidad de servicio, con vistas a proporcionar aplicaciones como voz, audio o video.
802.11g	Further higher data rate extension in the 2,4 Ghz band.	Nueva capa física como extensiones de 802.11. Ya disponible comercialmente, alcanza 54 Mbit/s.
802.11i	Medium Access Method (MAC) Security enhancements.	Mejoras de los mecanismos de seguridad y autenticación de la capa MAC 802.11.
802.11k	Radio resource measurement of Wireless LANs	Esta revisión definirá las interfaces para proporcionar medidas de gestión de recursos radio a las capas superiores.
802.11n	Enhancements for higher throughput.	Mejoras de las capas PHY y MAC de 802.11 para alcanzar tasas de bit de más de 100 Mbit/s.

Fuente: (Cando, 2015)

2.12.5.1 Protocolo de área local Ideé 802.11. El protocolo IEEE 802.11 es un estándar de protocolo de comunicaciones del IEEE que define el uso de los dos niveles inferiores de la arquitectura OSI (capas física y de enlace de datos), especificando sus normas de funcionamiento en una WLAN. En general, los protocolos de la rama 802.x definen la tecnología de redes de área local. La familia 802.11 actualmente incluye seis técnicas de transmisión por modulación, todas las cuales utilizan los mismos protocolos.

El estándar original de este protocolo data de 1997, era el IEEE 802.11, tenía velocidades de 1 hasta 2 Mbps y trabajaba en la banda de frecuencia de 2,4 GHz. Este estándar en la actualidad incluye algunas técnicas de modulación para su transmisión.



Figura 2.23 Redes Inalámbricas

Fuente: (Cando, 2015)

2.12.5.2 Sensibilidad. Las especificaciones actuales de sensibilidad del IEEE 802.15.4 establecen -85 dBm para la PHY de los 2.4 GHz y de -92 dBm para la PHY de los 868-915 MHz. Dichos valores incluyen suficiente margen para las tolerancias que se requieren debido a las imperfecciones en la manufactura de la misma manera que permite implementar aplicaciones de bajo costo.

La distancia entre la potencia del transmisor y el receptor la dará la sensibilidad del receptor. El estándar especifica que cada dispositivo debe ser capaz de transmitir al menos 1 mW, pero dependiendo de las necesidades de la aplicación, la potencia de transmisión puede ser mayor o menor. (Gordon, 2012)

Se espera que los dispositivos típicos (con 1mW de potencia) cubran un rango entre 20- 30 m, con una buena sensibilidad y un incremento moderado en la potencia de transmisión, una red con topología tipo estrella puede proporcionar una cobertura total para una casa.

Para aplicaciones que requieran mayor tiempo de latencia, la topología tipo *mesh* ofrecen una alternativa atractiva con coberturas caseras dado que cada dispositivo solo necesita suficiente energía para comunicarse con su vecino más cercano.

2.12.5.3 Interferencia. Los dispositivos que operan en la banda de los 2.4 GHz pueden recibir interferencia causada por otros servicios que operan en dicha banda. Esta situación es aceptable en las aplicaciones que utilizan el estándar IEEE 802.15.4, las cuales requieren una baja calidad de servicio (QoS), no requiere comunicación asíncrona, y se espera que realice varios intentos para completar la transmisión de paquetes. Por el contrario, un requerimiento primario

de las aplicaciones del IEEE 802.15.4 es una larga duración en baterías.

Este objetivo se logra con poca energía de transmisión y muy pocas ciclos de servicio. Dado que los dispositivos IEEE 802.15.4 se la pasan dormidos el 99.9 por ciento del tiempo, y ocupan transmisiones de baja energía en el *spread septum*, deben estar trabajando en las vecindades de la banda de los 2.4 GHz.

En la figura 2.25, se puede observar los canales disponibles que esta tecnología puede trabajar evitando la interferencia de la tecnología Wi-Fi. Los canales 15, 20 y 25 son usados para que los enlaces tengan un mejor desempeño incluso en ambientes inalámbricos saturados con tecnologías como *bluetooth* y Wi-Fi.

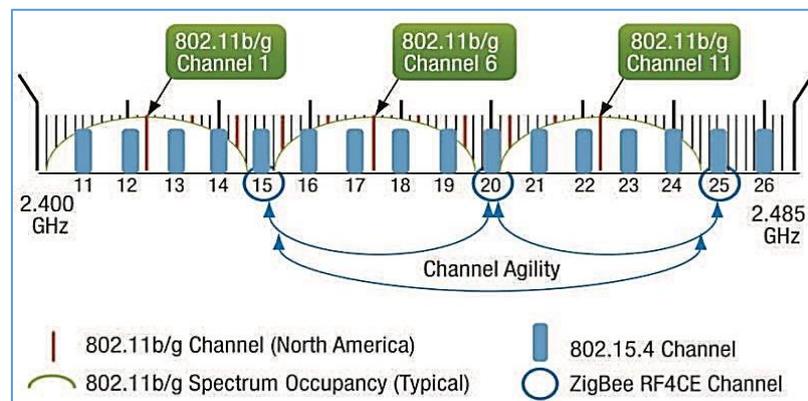


Figura 2.24 Interferencia

Fuente: (Gordon, 2012)

2.13 Capa de enlace de Datos.

El Proyecto Ieee 802 divide al Dll (*Data Link Layer*, Dll) en dos subcapas, la subcapa de enlace de acceso a medios (*Medium Access Control*, Mac) y la de control de enlaces lógicos (*Logicial Link Control*, LLC). El LLC es común a todos Estándares 802, mientras que la subcapa Mac depende del Hardware y varía respecto a la implementación física de esta capa.

Las características del MAC IEEE 802.15.4 son: la asociación y la disociación, reconocimientos de entrega de trama, mecanismos de acceso al canal, validación de trama, garantía del manejo de las ranuras de tiempo, y manejo de guías.

2.13.1 Capa Física.

La capa física (*Physical Layer*, PHY) es la responsable de la transmisión y la

recepción de datos en un canal de radio. Se utilizan radios con un espectro de dispersión de secuencia directa (DSSS), debido a los bajos costos de implementación digital en circuitos integrados, con operaciones de bajo consumo de energía.

La PHY de los 2.4 GHz, especifica operación en la banda industrial, médica y científica (ISM), que está disponible a nivel mundial, mientras que la banda 868 MHz está disponible en Europa y la banda de 915 MHz en Estados Unidos. En la figura 2. 26, se puede ver la representación de los canales de radio.

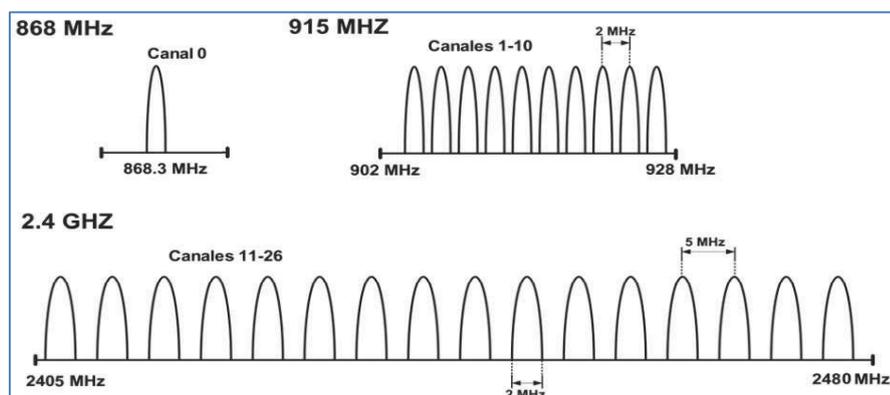


Figura 2.25 Bandas de frecuencias de operación en la capa física

Fuente: (Gordon, 2012)

La disponibilidad internacional de la banda de los 2.4 GHz ofrece muchas ventajas como mercados más amplios y costos de manufactura más bajos. Por otro parte, las bandas de 868 MHz y 915 MHz ofrecen una alternativa a la congestión creciente y demás interferencias (hornos de microondas, teléfonos inalámbricos, entre otros) asociadas a la banda de 2.4 GHz.

La PHY a 868/915 MHz se puede ocupar para lograr mayor sensibilidad y mayores áreas de cobertura, con lo que se puede reducir la densidad de nodos para cubrir un área determinada, mientras que con la PHY a 2.4 GHz se puede utilizar para conseguir mayor velocidad de transmisión. (Gordon, 2012)

Tabla 2.8 Bandas de frecuencias de operación en la capa física

Frecuencia	868MHz	902-928MHz	2.4GHz
Tasa de datos	20 kbps	40kbps	250kbps
#Canales	1	10	16
Potencia Tx	-3dBm	-3dBm	-3dBm

Fuente: (Gordon, 2012)

2.13.2 Modulación.

La PHY en los 868/915 MHz utiliza una aproximación simple DSSS, en la cual cada bit transmitido se representa por un chip-15 de máxima longitud de secuencia (secuencia m).

Los datos binarios son codificados al multiplicar cada secuencia m por +1 o -1, y la secuencia de chip que resulta se modula dentro de la portadora utilizando BPSK (*binary phase shift keying*). Antes de la modulación se utiliza una codificación de datos diferencial para permitir una recepción diferencial coherente de baja complejidad.

La PHY de los 2.4 GHz emplea una técnica de modulación semi-ortogonal basada en métodos de DSSS. Los datos binarios son agrupados en símbolos de 4 bits, y cada símbolo especifica una de las 16 secuencias de transmisión semi-ortogonales de código de pseudo-ruido (PN). Las secuencias de PN son concatenadas para que sean datos de símbolos exitosos, y la secuencia agregada al chip es modulada en la portadora utilizando MSK (*minimum shift keying*).

El uso de símbolos casi ortogonales simplifica la implementación a cambio de un desempeño ligeramente menor a 0.5 dB. Los parámetros de modulación para ambas PHY se resumen en la tabla 2. 9

Tabla 2. 6 Parámetros de Modulación

		Parámetros de datos	Parámetros de riesgo
--	--	---------------------	----------------------

PHY	Banda	Velocidad de bits (kb/s)	Velocidad símbolos (kbaud)	Modulación	Velocidad de chip (Mchips/s)	Modulación
868/915 (MHz)	868-868.6 (MHz)	20	20	BPSK	0.3	BPSK
	902-928 (MHz)	40	40	BPSK	0.6	BPSK
2.4 (GHz)	2.4-2.4835 (GHz)	250	62.5	16-semi ortogonal	2.0	O-QPSK

Fuente: (Gordon, 2012)

En términos de eficiencia energética requerida por bit, la señalización ortogonal mejora su desempeño en 2 dB que BPSK diferencial. Sin embargo, en términos de sensibilidad de recepción, la PHY 868/915 MHz tiene una ventaja de 6-8 dB debido a que tiene velocidades de transmisión más bajas. En ambos casos las pérdidas de implementación debido a la sincronización, forma del pulso, simplificaciones en el detector, y demás resultan en desviaciones en sus curvas óptimas de detección.

2.13.3 Acceso al Medio.

La capa MAC es la responsable de asegurar la comunicación entre un nodo y todos los nodos conectados directamente a él, evitando colisiones y mejorando la eficiencia. Las tareas que la capa MAC tiene que realizar son:

- Generar balizas (*beacons*) si el dispositivo es un coordinador y se funciona en balizado.
- Sincronizar las balizas de la red
- Gestionar la conexión y desconexión a la red de los dispositivos asociados al propio nodo.
- Emplear el algoritmo CSMA-CA para gestionar el acceso al canal
- Asegurar un enlace fiable con la capa MAC de los nodos contiguos

2.14 ZigBee

ZigBee es un estándar de comunicaciones inalámbricas diseñado por la *ZigBee Alliance*. No es una tecnología, sino un conjunto estandarizado de soluciones que pueden ser implementadas por cualquier fabricante. *ZigBee* está basado en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (*wireless personal area network*, WPAN) y tiene como objetivo las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la

vida útil de sus baterías. (Wikipedia, 2019)

Una de las razones para usar esta tecnología inalámbrica es la reducción en los gastos de instalación, ya que no es necesario realizar el cableado. Las redes inalámbricas implican un gran intercambio de información con un mínimo de esfuerzo de instalación.

Esta tendencia es impulsada por la gran capacidad de integrar componentes inalámbricos de forma más barata, por esta razón se da el éxito en otros sistemas de comunicación inalámbrica como los móviles.

Una red Zigbee puede estar formada hasta por 255 nodos los cuales tienen la mayor parte del tiempo el *transceiver* Zigbee dormido con objeto de consumir menos que otras tecnologías inalámbricas. El objetivo, es que un sensor equipado con un *transceiver* Zigbee pueda ser alimentado con dos pilas AA durante al menos 6 meses y hasta 2 años.

2.14.1 Empaquetamiento y Direccionamiento.

En *ZigBee*, el empaquetamiento se realiza en cuatro tipos diferentes de paquetes básicos, los cuales son: (Gordon, 2012) datos, ACK, MAC y *beacon*. El paquete de datos tiene una carga de datos de hasta 104 bytes. La trama está numerada para asegurar que todos los paquetes lleguen a su destino. Un campo nos asegura (Gordon, 2012) que el paquete se ha recibido sin errores. Esta estructura aumenta la fiabilidad en condiciones complicadas de transmisión.

La estructura de los paquetes ACK, llamada también paquete de reconocimiento, es donde se realiza una realimentación desde el receptor al emisor, de esta manera se confirma que el paquete se ha recibido sin errores. (Gordon, 2012) Se puede incluir un tiempo de silencio entre tramas, para enviar un pequeño paquete después de la transmisión de cada paquete; el paquete MAC, se utiliza para el control remoto y la configuración de dispositivos nodos.

Una red centralizada utiliza este tipo de paquetes para configurar la red a distancia. El paquete *beacon* se encarga de despertar los dispositivos que escuchan y luego vuelven a dormirse si no reciben nada más. (Gordon, 2012) Estos paquetes son importantes para mantener todos los dispositivos y los nodos sincronizados, sin tener que gastar una gran cantidad de batería estando todo el tiempo encendidos.

2.14.2 Relación entre Zigbee y el Estándar Ieee 802.15.4.

La relación entre Zigbee y el estándar IEEE 802.15.4 está basada en la arquitectura, la cual está definida en capas de Zigbee basadas en el modelo OSI (*Open Systems Interconnection*). Cada capa es responsable de ofrecer servicios para las capas superiores.

Las interfaces entre capas sirven para definir los enlaces lógicos (**Gordon, 2012**) que son descritos en el estándar IEEE 802.15.4. El modelo de referencia que se observa en la figura 2. 27, muestra las distintas capas de la arquitectura de la tecnología inalámbrica Zigbee en relación al estándar IEEE 802.15.4.

Estas capas muestran las características que hacen a la tecnología Zigbee muy atractiva, de bajo costo, de bajo consumo, de energía, entre otras. El estándar IEEE 802.15.4 solo contempla las capas PHY (*Physical Layer*) y MAC (Médium Access Control), la capa NWK (*Network Layer*) y APS (*Application Layer*) han sido establecidas por la Alianza Zigbee.

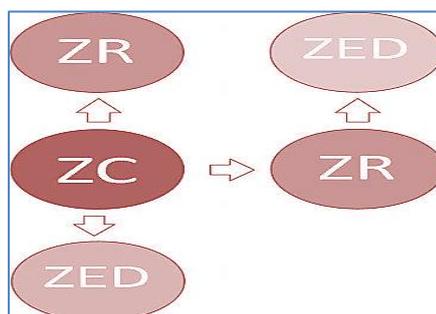


Figura 26 Modelo de referencia
802.15.4 y ZigBee

Fuente: (Gordon, 2012)

2.14.3 Tipos de dispositivos de Zigbee

La red de Zigbee define tres tipos diferentes de dispositivos según su papel en ella: (Wikipedia, 2019)

2.14.3.1 Coordinador ZigBee. (ZigBee coordinador, ZC). El tipo de dispositivo más completo. Puede actuar como administrador de una red en árbol así como servir de enlace a otras redes. Existe solo un coordinador por cada red. Puede almacenar información sobre la red y actuar como su centro de confianza en la distribución de claves de cifrado.

- Router *ZigBee* (ZR). Además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario, puede actuar como router interconectando dispositivos separados en la topología de la red. (Maestre, 2015)
- Dispositivo final (*ZigBee end device*, ZED). Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías.

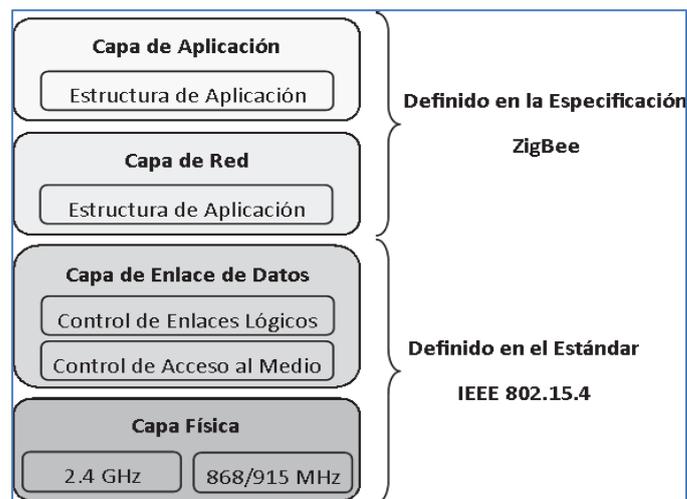


Figura 2. 27 Tipos de dispositivos en red Zigbee

Fuente: (Gordon, 2012)

- Un ZED tiene requerimientos mínimos de memoria y es por tanto significativamente más barato. En base a su funcionalidad puede plantearse una segunda clasificación: (Wikipedia, 2019)
- Dispositivo de funcionalidad completa (FFD): es capaz de recibir mensajes en formato del estándar 802.15.4 (Wikipedia, 2019) Gracias a la memoria adicional y a la capacidad de computar, puede funcionar como coordinador o router, o puede ser usado en dispositivos de red que actúen de interface con los usuarios.
- Dispositivo de funcionalidad reducida (RFD): tiene capacidad y funcionalidad limitadas (especificada en el estándar) con el objetivo de conseguir un bajo coste y una gran simplicidad. Básicamente, son los sensores/actuadores de la red (Wikipedia, 2019)

2.14.3.2 Capa de aplicación. La estructura de aplicación (*Application*

framework) es el ambiente en el cual se encuentran los objetos de aplicación, mismos que envían y reciben datos a través de un ente de datos APS (APSDE) por medio de un servicio de acceso de punto (APSDE-SAP). Un objeto aplicación está definido por el fabricante que implementa esta aplicación. El stack de protocolos ZigBee soporta hasta 30 objetos aplicación que pueden ser ejecutados al mismo tiempo.

Cada capa se comunica con sus capas subyacentes a través de una interface de datos y otra de control, las capas superiores solicitan servicios a las capas inferiores, y éstas reportan sus resultados a las superiores. Además de las capas mencionadas, a la arquitectura se integran otro par de módulos: módulo de seguridad, que es quien provee los servicios para cifrar y autenticar los paquetes, y el módulo de administración del dispositivo ZigBee, que es quien se encarga de administrar los recursos de red del dispositivo local, además de proporcionar a la aplicación funciones de administración remota de red.

2.14.3.3 Capa de Red. La capa de red (*Network Layer*, NWK) une o separa dispositivos a través del controlador de red, implementa seguridad, y encamina tramas a sus respectivos destinos. Además, el controlador de red es responsable de crear una nueva red y asignar direcciones a los dispositivos de la misma. La capa de red soporta múltiples configuraciones de red.

Las redes que se construyan dentro de esta capa del estándar IEEE 802.15.4 deben auto organizarse y auto mantenerse para que de esta forma se reduzcan los costes totales para facilitar su uso. La topología a escoger es una elección de diseño y va a estar dado por la aplicación a la que se desee orientar.

2.15 Descripción de las Redes Inalámbricas

2.15.1 Red de Área Local LAN (Local Área Network). Las redes de área local LAN (Local Área Network) dice: “LAN (Local Área Network) como su nombre lo indica estas son redes de área local, las cuales conectan dispositivos en una única oficina o edificio, una LAN puede ser constituida por mínimo dos computadores y una impresora.

Todas las redes están diseñadas para compartir dispositivos y tener acceso a ellos de una manera fácil y sin complicaciones”, (Cando, 2015) ; estas tienen las siguientes características

- Operan dentro de un área geográfica limitada.
- Permite el Multi acceso a medios con alto ancho de banda.
- Controla la red de forma privada con administración Local
- Proporciona conectividad continua a los servicios locales.
- Conecta dispositivos Físicamente adyacentes”.



Figura 2.28. Red de área local

Fuente: (Cando, 2015)

2.15.2 Redes de área metropolitana MAN (metropolitana área network).

Según Jselji (2008) del blog personal, en el documento Redes de área metropolitana MAN (Metropolitan Área Network), dice: “Una Red de área Metropolitana (Metropolitan Área Network o MAN, en inglés) es una red de alta velocidad (banda ancha) que dando cobertura en un área geográfica extensa, proporciona capacidad de integración de múltiples servicios mediante la transmisión de datos, voz y vídeo, sobre medios de transmisión tales como fibra óptica y par trenzado de cobre a velocidades que van desde los 2 Mbits hasta 155 Mbits.

El concepto de red de área metropolitana representa una evolución del concepto de red de área local a un ámbito más amplio, cubriendo áreas mayores que en algunos casos no se limitan a un entorno metropolitano sino que pueden llegar a una cobertura regional e incluso nacional mediante la interconexión de diferentes redes de área metropolitana”. (Cando, 2015)

A continuación se describen sus características:

- Operan dentro de una área geográfica extensa
- Mejor rango de cobertura
- Velocidad banda ancha
- Mejor integración de conexiones
- Integración de servicios
- Transmisión por fibra óptica y par trenzado de cobre

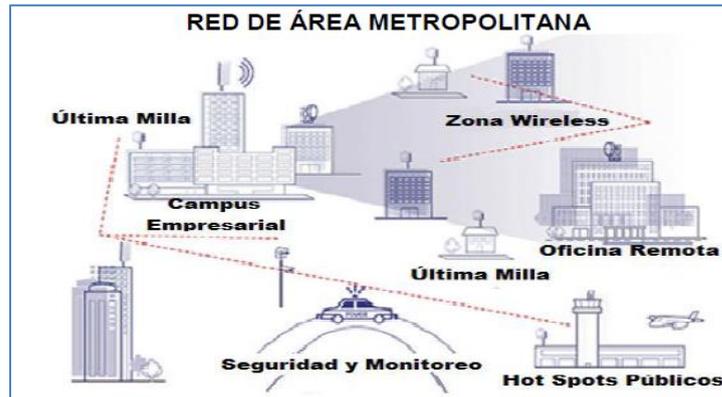


Figura 2.29. Red de aérea metropolitana

Fuente: (Cando, 2015)

2.15.3 Redes de área amplia metropolitana WAN (*wide área network*) wide área network.

“Redes de Arrea Local LAN (Local Área Network) dice: “WAN (Wide Área Network) al igual que las redes LAN, estas redes permiten compartir dispositivos y tener un acceso rápido y eficaz, la que la diferencia de las demás es que proporciona un medio de transmisión a larga distancia de datos, voz, imágenes, videos, sobre grandes áreas geográficas que pueden llegar a extenderse hacia un país, un continente o el mundo entero, es la unión de dos o más redes LAN”. (Cando, 2015), sus características son:

- Operan dentro de un área geográfica extensa.
- Permite el acceso a través de interfaces seriales que operan a velocidades más bajas.
- Suministra velocidad parcial y continua.
- Conecta dispositivos separados por grandes distancias

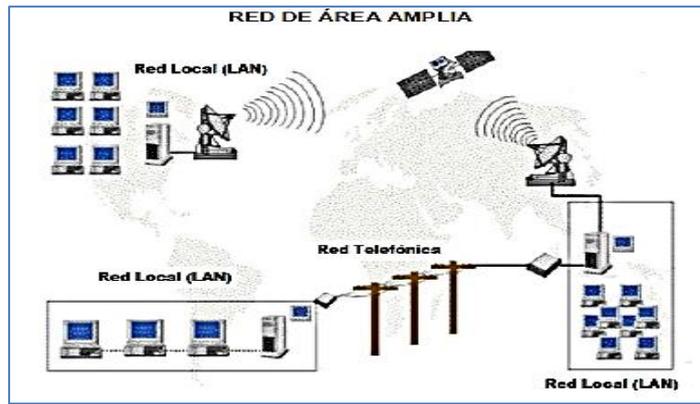


Figura 2.30. Red de aérea metropolitana

Fuente: (Cando, 2015)

2.15.4 Interferencia y Atenuación.

Según Andrés S, (2011) Debido a la naturaleza de la tecnología de radio, las señales de radio frecuencia pueden desvanecerse o bloquearse por materiales medio-ambientales.

Tabla 2.7 Interferencia y atenuación en redes inalámbricas

INTERFERENCIA Y ATENUACIÓN EN REDES INALÁMBRICAS		
Material	Ejemplo	Interferencia
Madera	Tabiques	Baja
Vidrio	Ventanas	Baja
Amianto	Techos	Baja
Yeso	Paredes interiores	Baja
Ladrillo	Paredes interiores y exteriores	Media
Hojas	Árboles y plantas	Media
Agua	Lluvia / Niebla	Alta
Cerámica	Tejas	Alta
Papel	Rollos de papel	Alta
Vidrio con alto contenido en plomo	Ventanas	Alta
Metal	Vigas, armarios	Muy Alta

Fuente: (Cando, 2015)

2.16 Sistemas de Comunicaciones

Según Carlos H, (2009) Expresa que un sistema de comunicaciones es un conjunto de elementos que interactúan entre sí con el objetivo de intercambiar información. El sistema de origen o emisor, a su vez compuesto por:

2.16.1 La fuente.

Es el equipo o el dispositivo que genera los datos a transmitir. Por ejemplo, una PC.

2.16.2 El transmisor.

Es el dispositivo encargado de transformar los datos generados por la fuente en las señales adecuadas para el medio a utilizar para transmitir la información. Generalmente las señales no se transmiten de la misma forma que se generan, por lo cual, requieren de este proceso previo a su paso por el medio. Por ejemplo, una tarjeta de red, un módem analógico o digital, etc.

2.16.3 El medio o sistema de transmisión.

Son los cables o mecanismos inalámbricos utilizados para enlazar al sistema de origen con el de destino. Por ejemplo, un cable coaxial, un cable UTP (Par trenzado sin blindaje), de fibra óptica, la línea telefónica, un sistema de comunicaciones inalámbrico por microondas, etc.

El sistema de destino o receptor, a su vez compuesto por:

2.16.4 El receptor.

Es el dispositivo encargado de transformar las señales provenientes del medio utilizado para transmitir la información en los datos que pueda interpretar el destino. Generalmente las señales no se reciben de la misma forma que se transmiten, por lo cual, requieren de este proceso previo a su llegada al destino y posterior a su paso por el medio. Por ejemplo, una tarjeta de red, un módem analógico o digital, etc.

2.16.5 El destino.

Es el equipo o el dispositivo que recibe los datos generados por la fuente. Por ejemplo, otra PC

2.17 Componentes de una Red de Sensores Inalámbricos (WSN)

Una red de sensores inalámbricos (WSN) es una red inalámbrica conformada por dispositivos de bajo costo y consumo, distribuidos autónomamente capaces de obtener información de su entorno ya sean condiciones físicas como ambientales, procesa los datos en el mismo nodo, y se envían a través de enlaces inalámbricos hasta un nodo central.

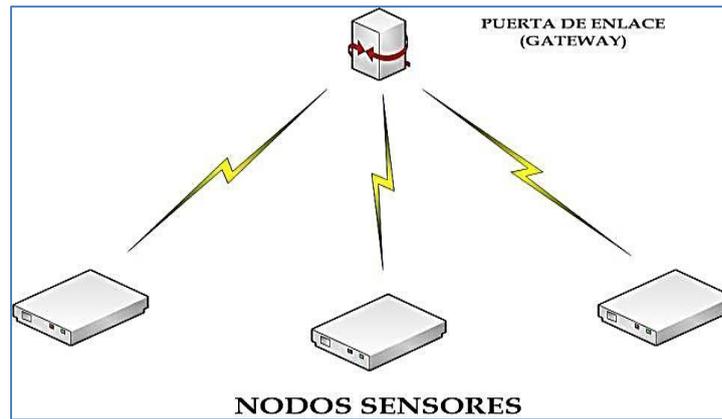


Figura 2.31 Componentes de WSN, puerta de enlace y nodos distribuidos

Fuente: (Aguirre & Paladines, 2016)

En un sistema WSN una puerta de enlace es crucial, es la que provee conectividad inalámbrica entre los nodos, véase en la figura 2.32. En un principio sus aplicaciones fueron militares, pero actualmente con la tecnología avanzando existen un sin número de aplicaciones desarrolladas por personas civiles

2.17.1 Aplicaciones de las WSN.

Existen aplicaciones WSN en un sin número de áreas, como por ejemplo: el cuidado de la salud, con el monitoreo a pacientes; el monitoreo de los servicios básicos como electricidad, agua, gas, etc. Aplicaciones de monitoreo remoto, monitoreo ambiental, monitoreo estructural para edificios y puentes, monitoreo industrial de máquinas, monitoreo de procesos, seguimiento de activos, etc. A continuación se describen algunas de estas aplicaciones. (Aguirre & Paladines, 2016)

2.17.2 Monitorización de Gases. Una WSN en minas o en túneles de trabajo puede garantizar la seguridad de los trabajadores, con el monitoreo de los diferentes gases como CO, CO₂, O₂ que se encuentran en este lugar de trabajo, permitiendo seguridad y control.

El presente trabajo de titulación está relacionado mucho con algunas aplicaciones descritas anteriormente, por este motivo consideramos que es de gran utilidad el conocimiento y aprendizaje de aplicaciones ya antes creadas, su control y su monitorización, de tal manera que nos guíen en el desarrollo de este proyecto.

2.18 Topologías de Red WSN.

Existen diferentes posibilidades de interconectar los nodos de una red de sensores inalámbricos, están típicamente organizados en tres tipos de topologías de red las cuales se describe a continuación.

2.18.1 Estrella.

Es la topología más básica. Los nodos se conectan directamente al coordinador como se puede observar en la figura.2 33

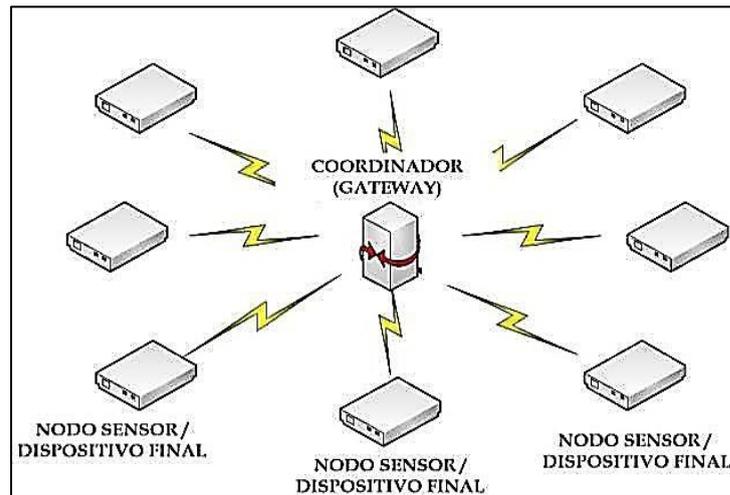


Figura 2.32 Topología tipo estrella

Fuente: (Aguirre & Paladines, 2016)

2.18.2 Árbol.

Cada nodo se conecta a un nodo de mayor jerarquía en el árbol y después al coordinador, es decir los datos son trasladados desde el nodo de menor jerarquía en el árbol hasta el coordinador

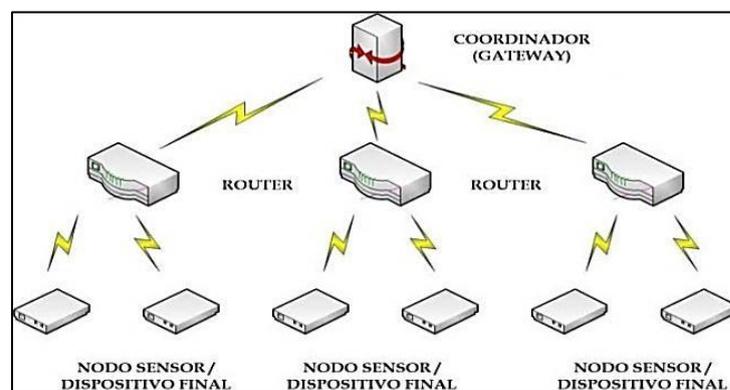


Figura 2.33 Topología tipo árbol

Fuente: (Aguirre & Paladines, 2016)

2.18.3 Malla.

Para tener mayor fiabilidad muchos optan por las redes tipo malla, la característica de esta topología es que los nodos se pueden conectar a múltiples nodos en el sistema y pasar los datos por el camino disponible de mayor confiabilidad, como se puede observar en la figura 2. 35

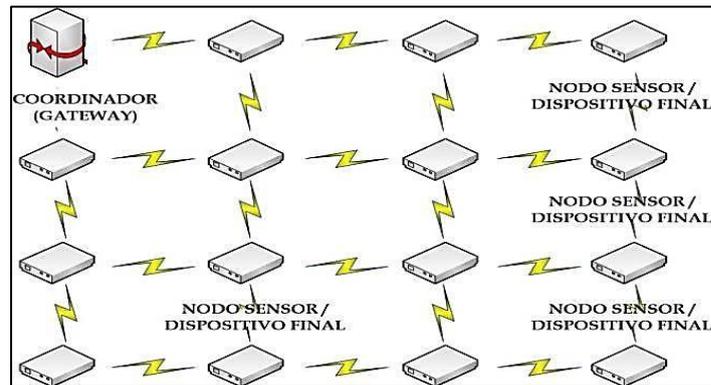


Figura 2.34 Topología tipo malla

Fuente: (Aguirre & Paladines, 2016)

2.18.4 Ventajas y desventajas de las WSN.

A continuación se describe algunas de las ventajas y desventajas que más se presentan en las WSN

Ventajas:

- Mayor tiempo de vida.
- Mayor cobertura de la red.
- Bajos costos y facilidad de instalación.
- Rápido tiempo de respuesta.
- Bajo consumo de potencia.
- Precisión y frecuencia de las mediciones.

Desventajas:

- Restricciones de energía.
- Menor capacidad de cómputo.
- Menor capacidad de memoria.

- Redes desatendidas con alta prioridad de fallo. (Montes & Geraldo, 2012)

2.19 Red de Sensores con Tecnología Wasmotes

Es una plataforma de sensor inalámbrico de fuente abierta especialmente enfocada en la implementación de modos de bajo consumo para permitir que los nodos sensores (“*motes*”) sean completamente autónomos y alimentados por batería, ofreciendo una vida útil variable de 1 a 5 años dependiendo del ciclo de trabajo y la radio utilizada. (Gordon, 2012)

Wasmotes fue lanzado oficialmente en 2009, y dos años más tarde hubo una comunidad de desarrolladores en crecimiento que lo usaba como una plataforma estándar para Internet de las Cosas. Además de sus excelentes características técnicas, les gusta su enfoque horizontal, modular y de código abierto. Ahora, queremos extender esta plataforma a nuestros seguidores de *Cooking Haces* mediante la distribución de diferentes kits de desarrollo, para que cualquiera pueda probarlo

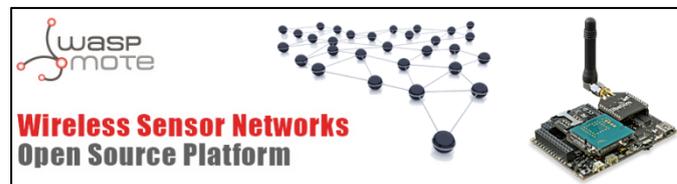


Figura 2.35. Sensores con tecnología Wasmotes

Fuente: (Libelium, 2018)

2.19.1 Arquitectura modular. Wasmotes se basa en una arquitectura modular. La idea es integrar solo los módulos necesarios en cada dispositivo optimizando los costos. Por esta razón, todos los módulos (radios, paneles de sensores, etc.) conectan Wasmote a través de sockets.

Los módulos disponibles para la integración en Wasmote están categorizados en:

- Módulos ZigBee / 802.15.4 (2.4GHz, 868MHz, 900MHz)
- Módulos Lora WAN (bandas 868, 900-915 y 433 MHz)
- Módulo Lora (bandas 868 y 900-915 MHz)
- Módulo Sigfox (banda de 868 MHz)
- GSM - Módulo 3G / GPRS (versiones de Europa y América / Australia)
- Módulos de sensores (paneles de sensores)
- Módulo de almacenamiento: tarjeta de memoria SD

- Ubicación del GPS

2.19.2 Nuevo Wasmote.

La primera versión de Wasmote (v1.1) se lanzó en 2009. Desde entonces, más de 2000 desarrolladores han estado utilizando la plataforma, habiendo recibido muchas sugerencias para posibles mejoras, por ello se modificó tanto la API de Wasmote como el Hardware para incluir todas estas ideas.

En febrero de 2013 se lanzó con el nombre de Wasmote PRO (v1.2). un hardware con muchas mejoras : Wasmote no tiene puentes, ahora las conexiones son más robustas, la carga del código es mucho más rápida ahora, no hay necesidad de una batería de monedas... y es posible cargar código con el XBee Radio conectada. La API es más robusta y más fácil de usar ahora. Además, tenemos una gran cantidad de ejemplos y guías de programación mejoradas para ayudar al usuario a tener un desarrollo más rápido.

- Micro controlador: ATmega1281
- Frecuencia: 14MHz
- SRAM: 8 KB
- EEPROM: 4 KB (1 KB reservado)
- FLASH: 128 KB
- Tarjeta SD: 2GB
- Peso: 20gr
- Dimensiones: 73.5 x 51 x 13 mm
- Rango de temperatura: [-10°C, + 65°C]

Wasmote cuenta con 2 modos de suspensión, *deep sleep e hibernate*

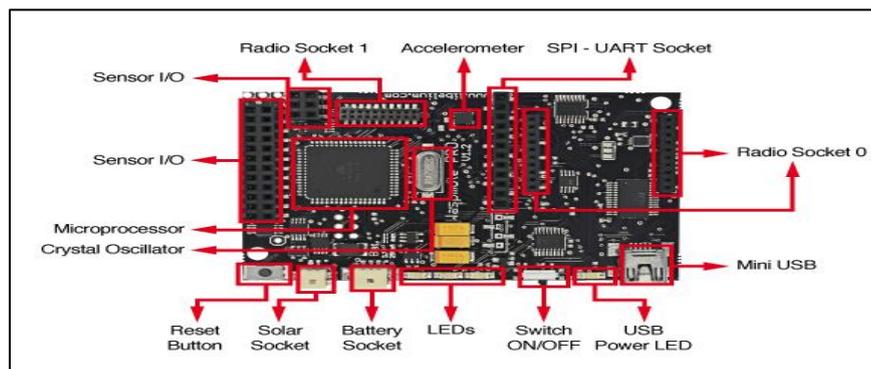


Figura 2.36 Componentes principales de Wasmote - Parte superior

Fuente: (Libelium, 2018)

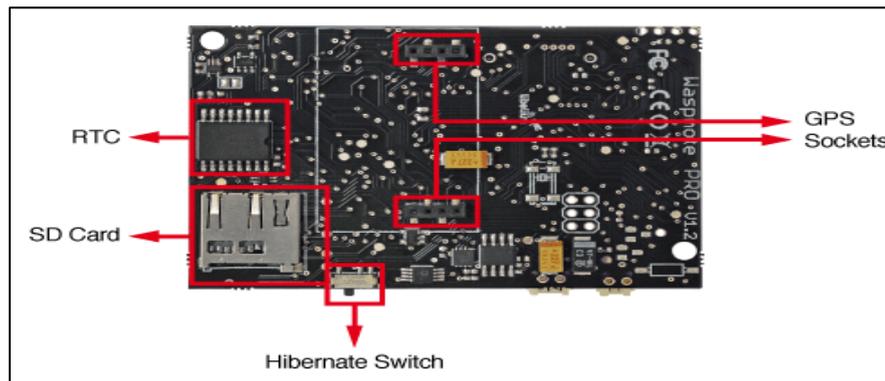


Figura 2.37 Componentes principales de Waspote - Lado inferior

Fuente: (Libelium, 2018)

El consumo en el modo de sueño profundo es de $55\mu\text{A}$. Los sensores pueden generar una interrupción para activar el micro controlador principal cuando el valor leído supera o supera un umbral pre programado.

El dispositivo está completamente dormido y los sensores funcionan. Los valores de los umbrales del sensor se controlan mediante software a través de potenciómetros digitales (digipots).

En Hibernate, el consumo es solo $0.7\mu\text{A}$. Todos los sistemas están apagados para garantizar un consumo mínimo. Waspote será despertado por una alarma del reloj interno. Usando este modo, la vida útil de cada nodo puede variar de 1 a 5 años, dependiendo del ciclo de trabajo y la capacidad de la batería, Aunque la vida útil se puede extender indefinidamente conectando un panel solar en el zócalo dedicado en el tablero.

2.19.3 Sensores. Waspote cuenta con un acelerómetro de triple eje soldado a bordo y más de 80 sensores ya integrados a través de escudos sensores específicos que están enchufados en la parte superior de la placa base principal. La idea es facilitar la integración y el uso de sensores complejos que necesitan sistemas electrónicos especiales para funcionar.

2.19.3.1 Gases.



Figura 2.38 Gases

Fuente: (Libelium, 2018)

2.19.3.1 *Aplicaciones de gases*

- Contaminación de la ciudad
CO, CO₂, NO₂, O₃
- **Emisiones de granjas y criaderos**
CH₄, H₂S, NH₃
- **Control de procesos químicos e industriales**
C₄H₁₀, H₂, COV
- **Incendios forestales**
CO, CO₂

Sensores

- Monóxido de carbono - CO
- Dióxido de carbono - CO₂
- Oxígeno - O₂
- Metano - CH₄
- Hidrógeno - H₂
- Amoníaco - NH₃
- Isobutano - C₄H₁₀
- Etanol - CH₃CH₂OH
- Tolueno - C₆H₅CH₃
- Sulfuro de hidrógeno - H₂S
- Dióxido de Nitrógeno - NO₂
- Ozono - O₃
- Hidrocarburos - COV
- Temperatura
- Humedad
- Presión atmosférica

2.19.3.2 Gases pro (sensores de gas calibrado).

Aplicaciones

- **Contaminación de la ciudad**
CO, NO, NO₂, O₃, SO₂, Materia de Partículas - Polvo
- **Cálculo del índice de calidad del aire**
SO₂ NO₂, Materia de Partículas - Polvo, CO, O₃, NH₃
- **Emisiones de granjas y criaderos**
CH₄, H₂S, NH₃
- **Gestión de invernaderos**
CO₂, CH₄, humedad
- **Control de procesos químicos e industriales**
H₂ HCl, CH₄, SO₂, CO₂
- **Calidad del aire interior**
- CO₂, CO, Particle Matter - Dust, O₃
- **Incendios forestales**
- CO, CO₂

Sensores

- Monóxido de carbono - CO
- Dióxido de carbono - CO₂
- Oxígeno molecular - O₂
- Ozono - O₃
- Óxido nítrico - NO
- Dióxido nítrico - NO₂
- Dióxido de Azufre - SO₂
- Amoníaco - NH₃
- Metano - CH₄ - y otros gases combustibles
- Hidrógeno molecular - H₂
- Sulfuro de hidrógeno - H₂S
- Cloruro de hidrógeno - HCl
- Cianuro de Hidrógeno - HCN
- Fosfina - PH₃
- Óxido de etileno - ETO
- Cloro - Cl₂

- Particle Matter (PM1 / PM2.5 / PM10) - Sensor de polvo [*Solo para Plug & Sense!*]
- Temperatura
- Humedad
- Presión

2.19.4 Módulos de Comunicación

Hay 17 interfaces inalámbricas diferentes para Waspote, incluidas las de largo alcance (3G / GPRS / *Lora WAN* / *Lora* / Sigfox / 868 / 900MHz), rango medio (ZigBee / 802.15.4 / Wii) y de corto alcance (RFID / NFC / Bluetooth 4.0). Se pueden usar únicamente o en combinación de dos usando la placa de expansión de radio.

La idea era utilizar el mismo zócalo de tipo XBee para hacer que todos sean compatibles, por lo que diseñamos nuevos módulos de radio (como Wifi, Bluetooth y NFC) para usar los mismos zócalos que las radios XBee originales.

De esta forma, todos ellos se conectan a Waspote_a través del mismo socket, de modo que ahora puede elegir el que necesita para su aplicación cuando la compra y cambiarla más tarde por otra simplemente desenchufando la anterior y conectando la nueva.

Antena 802.15.4



Figura 2.39. Antena 2dBi / 5dBi

Fuente: (Libellium, 2018)

Tabla 2.8 Especificaciones de Antena 802.15.4

Protocolo	Frecuencia	Poder TX	Sensibilidad	Canales	Distancia
-----------	------------	----------	--------------	---------	-----------

802.15.4	2,405 - 2,465 GHz	63.1mW	-100dBm	12	7000m
----------	----------------------	--------	---------	----	-------

Fuente: (Libellium, 2018)

Antena: 2dBi / 5dBi

Cifrado: AES 128b

Control de señal: RSSI

Estándares: IEEE -802.15.4 – Conforme

Antena - ZigBee

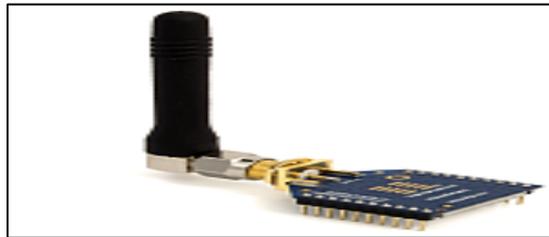


Figura 2.40 Antena 2dBi / 5dBi

Fuente: (Libelium, 2018)

Tabla 2.9 Especificaciones de Antena 2dBi / 5dBi

Protocolo	Frecuencia	Poder TX	Sensibilidad	Canales	Distancia
ZigBee	2,40 - 2,47 GHz	50mW	-102dBm	14	7000m

Fuente: (Libelium, 2018)

Antena: 2dBi / 5dBi

Cifrado: AES 128b

Control de señal: RSSI

Estándares: ZigBee-Pro v2007 – Compatible

2.19.5 Expansión radio board.

Wasmote puede tener dos radios conectadas al mismo tiempo cuando usa Expansión Radio Board, lo que permite la creación de puentes entre diferentes redes como ZigBee y Wifi, Wifi y 3G / GPRS, RFID y Bluetooth, etc.

2.19.5.1 Aplicaciones que permiten Expansión Radio Board Lora WAN-GPRS

Redes de sensor ZigBee multifrecuencia (2.4GHz - 868 / 900MHz)

Sigfox - Redes híbridas ZigBee

Aplicaciones NFC (RFID) + 3G / GPRS a la nube

Aplicaciones NFC (RFID) + Wifi a la nube

ZigBee - Red híbrida Wifi



Figura 2. 41 Radio Board

Fuente: (Libellium, 2018)

2.19.5.2 Sobre la programación de aire (OTAP) . Waspnote está destinado a ser utilizado en despliegues de grandes redes de sensores inalámbricos donde cientos de nodos están instalados en escenarios reales. Por esta razón, hemos desarrollado capacidades de Programación Over the Air (OTAP) para facilitar el mantenimiento de la red. OTA permite actualizar el firmware de los nodos (reprogramar toda la memoria flash) enviando el programa de forma inalámbrica (por ejemplo, usando 802.15.4 o ZigBee). Con OTA puede reprogramar un nodo específico (modo Unicast), varios nodos (modo *Multicast*) o toda la red (modo *Broadcast*)

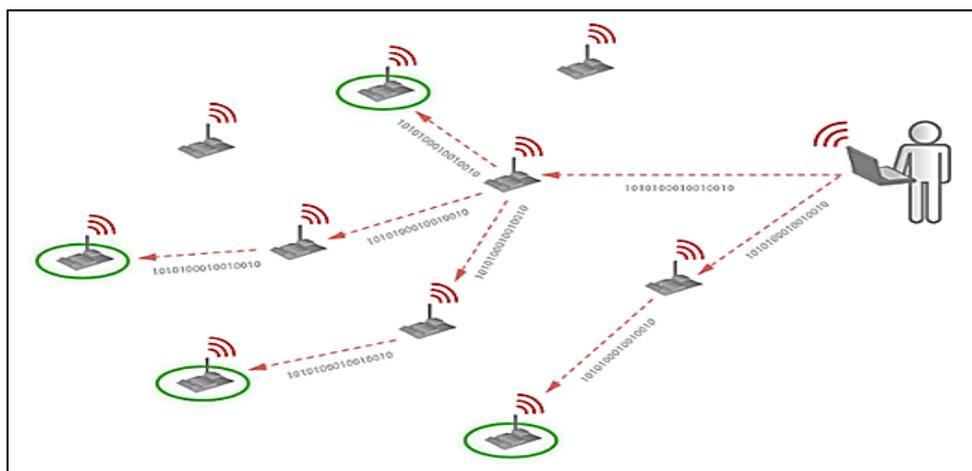


Figura 2. 42 Programación de aire (OTAP)

Fuente: (Libellium, 2018)

2.20 Tipos de nodos

2.20.1 Nodo final. Estos nodos tienen sensores integrados y se usan para recopilar la información y enviarla al GW. Crean una red de malla entre ellos, reenviando los paquetes de otros nodos para hacer que la información llegue al GW. Cada *End Node* está equipado con una radio 6LoWPAN, sensores y una batería.

2.20.2 Gateway (GW).

Este nodo toma la información enviada por los nodos finales y la envía al servidor de túnel utilizando la interfaz Ethernet IPv4. Cada GW Node está equipado con una radio 6LoWPAN y una interfaz Ethernet y una batería.

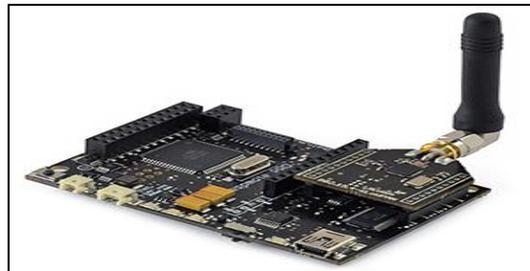


Figura 2.43. Tarjeta Gateway

Fuente: (Libellium, 2018)



Figura 2.44. Nodo final del Gateway

Fuente: (Libellium, 2018)

2.21 Topología de la red

En el siguiente diagrama, podemos ver cómo funciona la red Waspote Mote Runner 6LoWPAN / IPv6. Los nodos de sensor utilizan el protocolo 6LoWPAN sobre la capa de enlace 802.15.4 para crear una red de malla que interconecta cualquier dispositivo en la red con la puerta de enlace (GW). Una vez que GW

toma los paquetes 6LoWPAN, cambia el encabezado IP a IPv4 mientras mantiene la capa de transporte UDP

Luego, envía la información a la máquina de túnel IPv4 / IPv6, que cambiará el encabezado al formato IPv6 apropiado y enviará la información a los servidores IPv6 ubicados en Internet, donde los usuarios están conectados. GW y Tunneling Machine están destinados a ser un único dispositivo. Libellium e IBM están trabajando actualmente en esto.

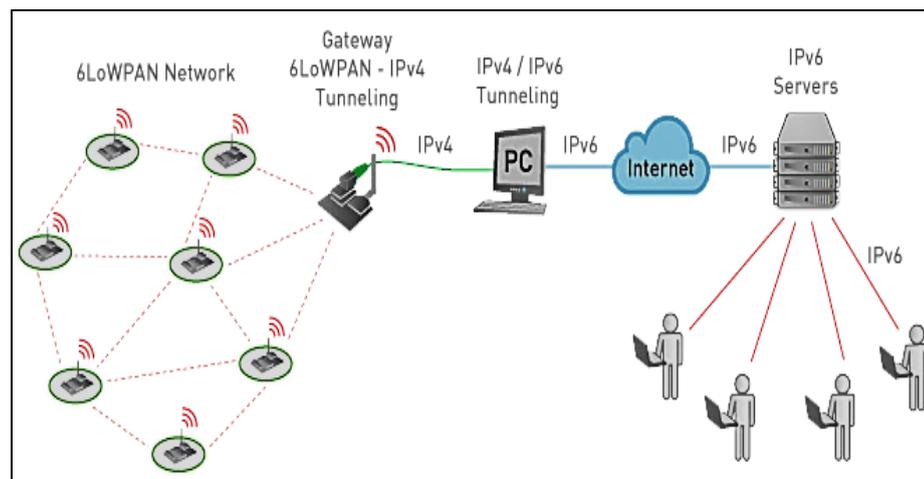


Figura 2.45. Funcionamiento de la red Waspote

Mote Runner 6LoWPAN / IPv6.

Fuente: (Libellium, 2018)

2.22 Almacenamiento de alta capacidad

Waspote implementa internamente un sistema de archivos FAT16 que le permite trabajar con tarjetas SD de hasta 2GB. Para tener una idea de la capacidad de información que puede almacenarse en una tarjeta de 2GB, simplemente divide su tamaño por el promedio de lo que generalmente ocupa un marco de sensor en Waspote (aproximadamente 100 Bytes): $2\text{GB} / 100\text{B} = 20$ millones de mediciones

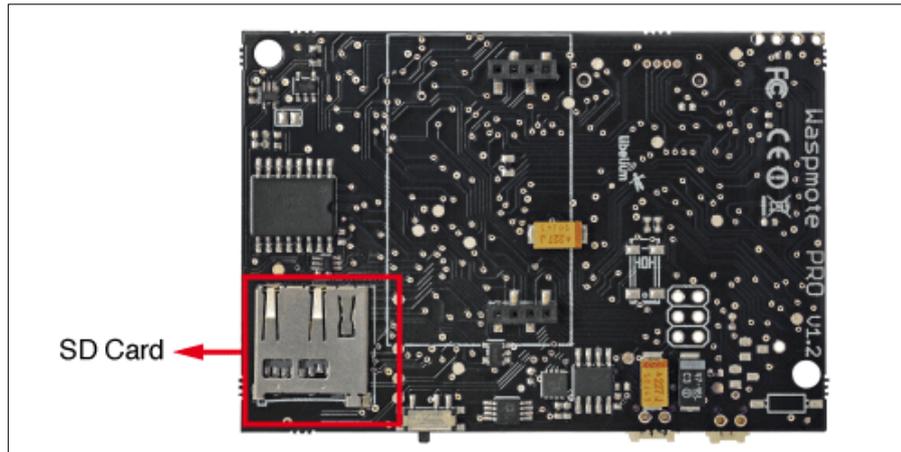


Figura 2.46 Tarjetas SD
Fuente: (Libellium, 2018)

2.23 Waspote: "Plug & Sense"

2.23.1 Waspote. Waspote es la línea original en la que los desarrolladores tienen un control total sobre el dispositivo de hardware. Puede acceder físicamente a la placa y conectar nuevos sensores o incluso incrustarlo en sus propios productos como un dispositivo sensor electrónico.

2.23.2 Waspote Plug & Sense.- El Nuevo Waspote Plug & Sense, permite a los desarrolladores olvidarse de la electrónica y enfocarse en servicios y aplicaciones. Ahora puede implementar redes de sensores inalámbricos de una manera fácil y escalable, garantizando un mínimo de costos de mantenimiento.

La nueva plataforma consiste en un robusto recinto a prueba de agua con enchufes externos específicos para conectar los sensores, el panel solar, la antena e incluso el cable USB para reprogramar el nodo ha sido especialmente diseñado para ser escalable, fácil de implementar y mantener. (Libellium, s.f.)



Figura 2.47 Waspnotes - Wireless Sensor Networks

Fuente: (Waspnote)

Características

- Robusto recinto IP65 a prueba de agua
- Agrega o cambia una sonda del sensor en segundos
- Energía solar con opciones de panel interno y externo
- Radios disponibles: ZigBee, 802.15.4, WiFi, 868MHz, 900MHz, *Lora WAN, Lora, Sigfox*, 3G / GPRS y Bluetooth *Low Energy*
- Programación sobre el aire (OTAP) de múltiples nodos a la vez
- Soportes especiales y soportes listos para su instalación en farolas y frentes de edificios
- Interfaz de programación gráfica e intuitiva
- Restablecimiento externo sin contacto con imán
- Conector SIM externo para GPRS o modelos 3G



Figura 2. 48 Waspnote.- Sondas de sensor

Fuente: (Libellium, 2018)

2.23.2.1 Sondas del Sensor. Las sondas del sensor se pueden unir fácilmente atornillándolas en la toma inferior. Esto le permite agregar nuevas capacidades de detección a las redes existentes en cuestión de minutos. De la misma manera, las sondas de sensor pueden reemplazarse fácilmente para garantizar el menor costo de mantenimiento de la red del sensor.

2.23.2.2 Módulo de energía Solar. La batería puede recargarse utilizando las opciones del panel solar interno o externo. El panel solar externo está montado en un soporte de 45° que garantiza el máximo rendimiento de cada instalación al aire libre. Para la opción interna, el panel solar está incrustado en la parte frontal del gabinete, perfecto para usar donde el espacio es un desafío importante.



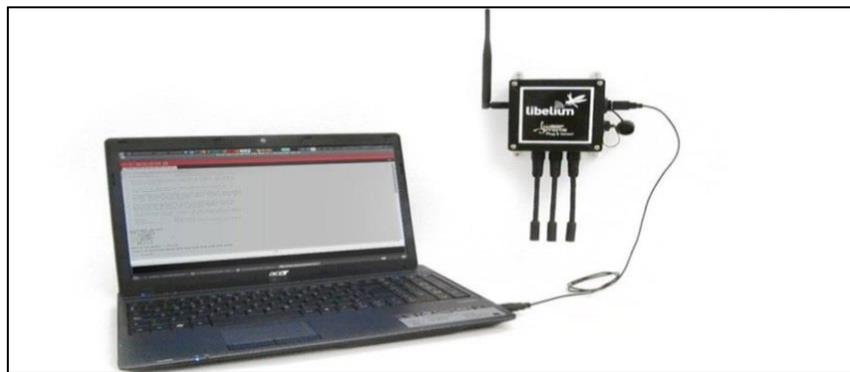
Figura 2.49 Tecnología Wasp mote .Recarga con panel solar

Fuente: (Libellium, 2018)

2.23.3 Programación de Nodos.

Wasp mote Plug & Sense puede ser reprogramado de dos maneras:

1. La programación básica se realiza desde el puerto USB. Simplemente conecte el USB al enchufe externo específico y luego a la computadora para cargar el nuevo firmware.



.Figura 2.50 Programación básica de Nodos

Fuente: (Libellium, 2018)

2. Over the Air Programmig también es posible una vez que el nodo ha sido instalado con esta técnica, puede reprogramar de manera inalámbrica uno o más nodos del sensor Wasp mote al mismo tiempo utilizando una computadora portátil y el Wasp mote Gateway

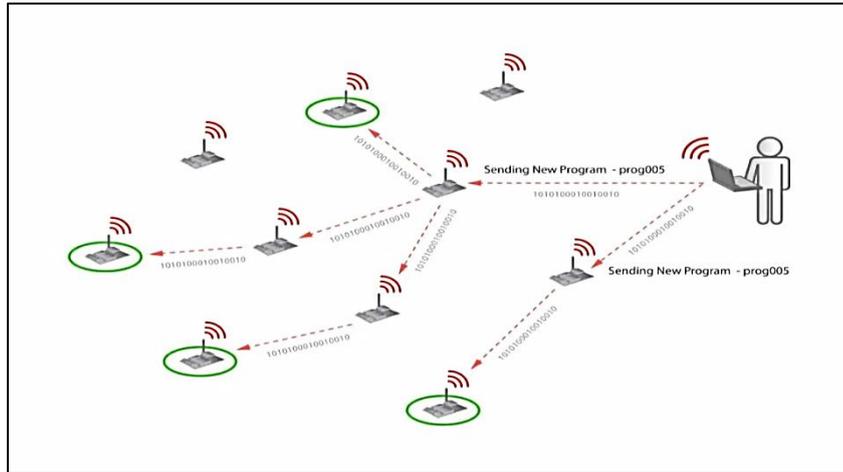


Figura 2.51 Reprogramación de manera inalámbrica

Fuente: (Libellium, 2018)

2.23.4 Interfaces de Radio

2.23.4.1 Programa en minutos. Para programar los nodos, se ha desarrollado una interfaz gráfica intuitiva. Los desarrolladores solo necesitan completar un formulario web para obtener el código fuente completo de los nodos del sensor. Esto significa que el programa completo para una aplicación específica puede generarse solo en minutos.

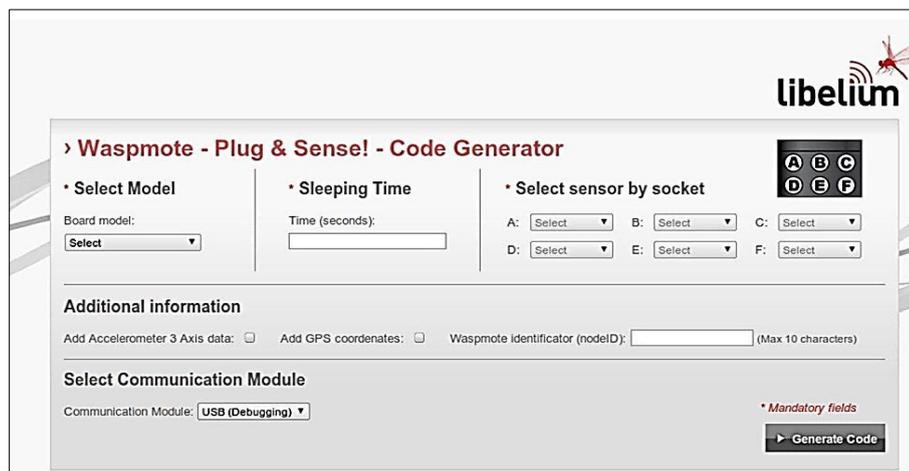


Figura 2.52. Interfaz gráfica intuitiva

Fuente: (Libellium, 2018)

2.23.5 Nuevos modelos de Wasmote`Plug & Sense.

Hay algunas configuraciones definidas de Waspnote Plug & Sense Dependiendo de qué sensores se van a utilizar. Waspnote Plug & Sense las configuraciones permiten conectar hasta seis sondas de sensor al mismo tiempo.

Cada modelo toma un circuito de acondicionamiento diferente para permitir la integración del sensor. Por esta razón, cada modelo permite conectar solo sus sensores específicos. Esta sección describe cada configuración de modelo en detalle, mostrando los sensores que se pueden usar en cada caso y cómo conectarlos a Waspote. En muchos casos, los enchufes del sensor aceptan la conexión de más de una sonda del sensor. (Santos, 2014).

Es muy importante señalar que cada socket está diseñado solo para un sensor específico, por lo que no son intercambiables. Siempre asegúrese de que conectó las sondas en el zócalo derecho, de lo contrario, pueden dañarse.

2.23.5.1 Ambiente inteligente. El modelo Smart Environment está diseñado para monitorear parámetros ambientales tales como la temperatura, la humedad, la presión atmosférica y algunos tipos de gases.

Las principales aplicaciones para este Waspote Plug & Sense la configuración es la medición de la contaminación de la ciudad, las emisiones de granjas y criaderos, el control de los procesos químicos e industriales, los incendios forestales, etc. Los sensores se calibran para mediciones más precisas. (Libellium, 2018)



Figura 2. 53 Modelo Smart Environment

Fuente: (Libellium, 2018)



Figura 2. 54 Smart Cities PRO

Fuente: (Libellium, 2018)

2.23.5.2 Smart Cities PRO. Las principales aplicaciones para este Waspnote Plug & Sense los modelos son los mapas de ruido (monitorear en tiempo real los niveles acústicos en las calles de una ciudad), la calidad del aire, la gestión de residuos, la iluminación inteligente, etc. Los zócalos de los sensores se configuran como se muestra en la siguiente figura.



Figura 2. 55 Modelo Smart
Environment PRO

Fuente: (Libellium, 2018)

2.23.5.3 Smart environment PRO. El modelo Smart Environment PRO se ha creado como una evolución del entorno inteligente. Permite al usuario implementar proyectos de contaminación, calidad del aire, industriales, ambientales o agrícolas con altos requisitos en términos de alta precisión, fiabilidad y rango de medición a medida que los sensores vienen calibrados de fábrica.

2.24 Datos a la nube

Los datos del sensor recopilados por Waspnote Plug & Sense los nodos son enviados a la nube por Meshlium, el enrutador Gateway especialmente diseñado para conectar las redes de sensores Waspnote a Internet a través de las interfaces Ethernet, WiFi y 3G. Gracias a la nueva característica de Meshlium, el analizador de sensores, ahora es más fácil recibir cualquier cuadro, analizarlo y almacenar los datos en una base de datos local o externa.



Figura 2. 56 Analizador de sensores, Meshlium

Fuente: (Libellium, 2018)

2.25 Internet Gateway – Meshlium

Es un enrutador Linux que funciona como la puerta de enlace de las redes de sensores Waspote. Puede contener 5 interfaces de radio diferentes: WiFi 2.4GHz, WiFi 5GHz, 3G / GPRS, Bluetooth y XBee / LoRa. Además de esto, Meshlium también puede ser solar y con batería.

Estas características una larga con una carcasa de aluminio IP-65 permiten que Meshlium se coloque en cualquier lugar al aire libre. Meshlium viene con Manager System, una aplicación web que permite controlar rápida y fácilmente las configuraciones WiFi, XBee, Lora, Bluetooth y 3G / GPRS de forma prolongada con las opciones de almacenamiento de los datos del sensor recibidos.

2.25.1 Internet Meshlium Xtreme. Meshlium Xtreme permite detectar dispositivos iPhone y Android y, en general, cualquier dispositivo que funcione con interfaces WiFi o Bluetooth. La idea es poder medir la cantidad de personas y automóviles que están presentes en un determinado punto en un momento específico, lo que permite el estudio de la evolución de la congestión del tráfico de peatones y vehículos. (Libellium, 2018)



Figura 2. 57 Meshlium Xtreme

Fuente: (Libellium, 2018)

Aplicaciones con Meshlium

- Conecta su red ZigBee a Internet a través de Ethernet, WiFi y 3G / GPRS
- Almacena los datos del sensor en una base de datos local o externa con solo un clic
- Crea una red WiFi Mesh en solo dos pasos
- Establece un punto de acceso WiFi en 1 minuto
- Descubre usuarios de Bluetooth y almacena sus ruta
- Base de datos local
- Base de datos externa

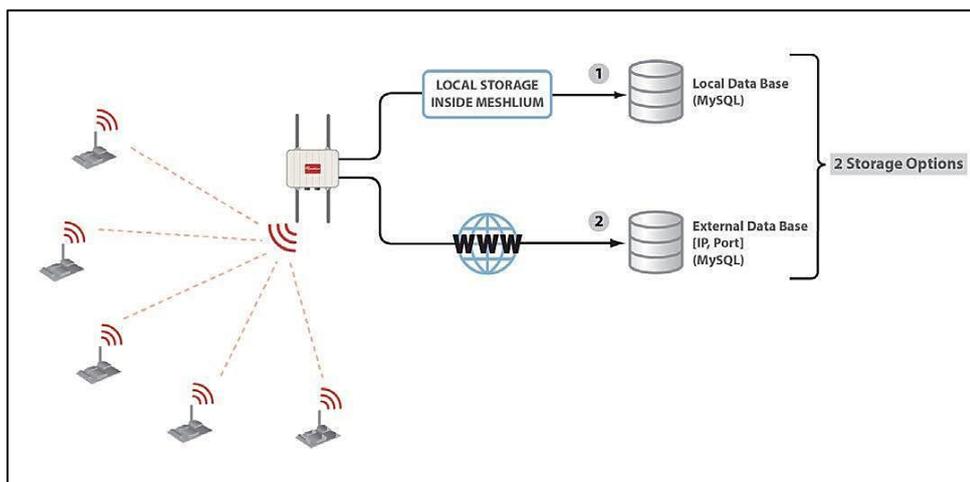


Figura 2.58 Meshlium Xtreme funciones con interfaces WiFi o Bluetooth

Fuente: (Libellium, 2018)

Opciones de conexión de Meshlium

- XBee / Lora / GPRS / 3G / Wi-Fi → Ethernet
- XBee / LoRa / GPRS / 3G / Wi-Fi → Wi-Fi
- XBee / LoRa / GPRS / 3G / Wi-Fi → 3G / GPRS

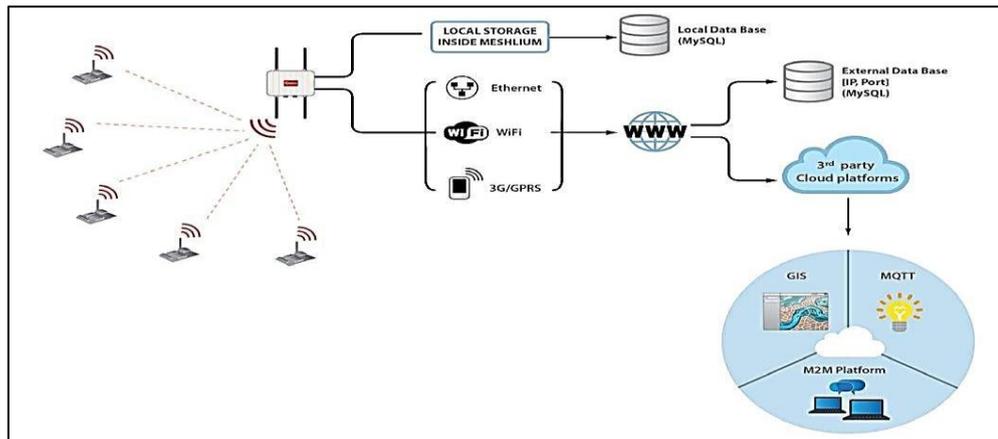


Figura 2.59 Opciones de Conexión de Meshlium

Fuente: (Libellium, 2018)

2.25.2 Captura y almacenamiento de datos del sensor en Meshlium desde una red de sensores Waspote.

Cuando compra un kit que contiene Waspotes, Gateway y Meshlium, las Waspotes vienen ya configuradas para enviar marcos a la puerta de enlace. Más tarde, una vez que el usuario ha desarrollado el código para transmitir a Gateway, puede cambiar a Meshlium que recibirá los datos del sensor enviados por Waspote utilizando la radio inalámbrica y almacenará los marcos en la Base de Datos Local. Eso se puede hacer de forma automática gracias al Sensor Analizador.

El Sensor es un sistema de software que puede realizar las siguientes tareas de una manera fácil y transparente:

- Recibir marcos de XBee y LoRa (con el formato de Marco de datos)
 - Recibe tramas de 3G / GPRS, WiFi y Ethernet a través del protocolo HTTP (sistema de administrador versión 3.1.4 y superior)
- Analiza marcos
- Almacena los datos en una base de datos local
- Sincroniza la base de datos local con una base de datos externa

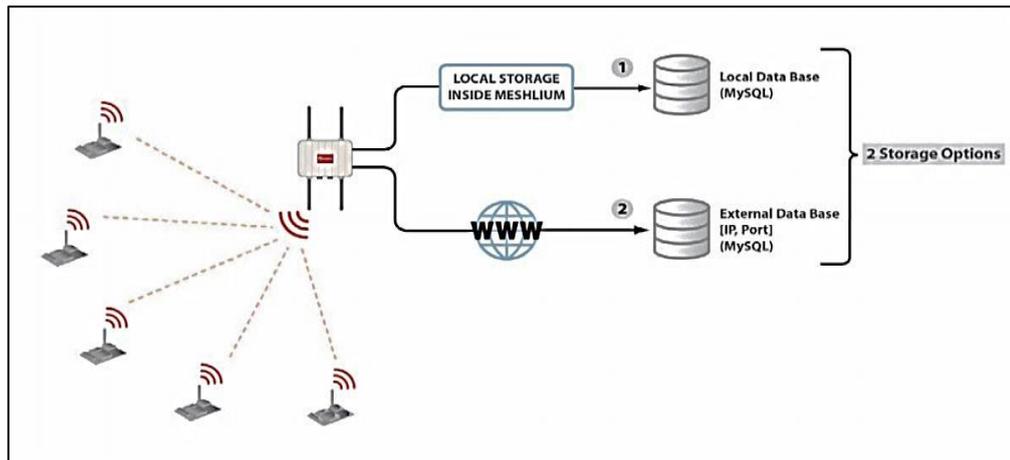


Figura 2.60 Capturar y almacenar nuevos marcos de datos del sensor

Fuente: (Libellium, 2018)

También puede enviar la información recibida a Internet utilizando las interfaces Ethernet, WiFi y 3G / GPRS.

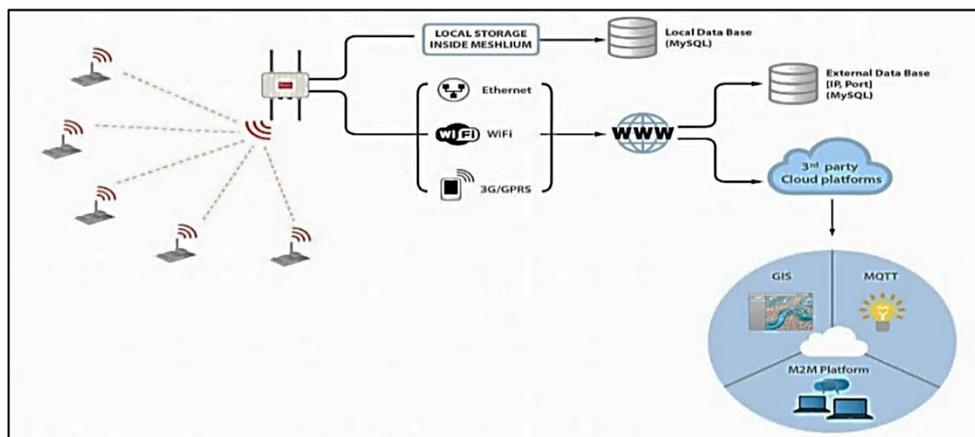


Figura 2. 61 Ethernet, Wi-Fi y 3G / GPRS.

Fuente: (Libellium, 2018)

2.26 Interactuar con plataformas cloud de terceros

Libellium se ha asociado con los mejores proveedores de soluciones de software en la nube para ofrecerle todos los componentes necesarios para implementar proyectos de Internet de las cosas (IoT), máquina a máquina (M2M) o Smart Cities con un tiempo mínimo de comercialización. Meshlium está listo para enviar datos de sensores a muchas plataformas de software

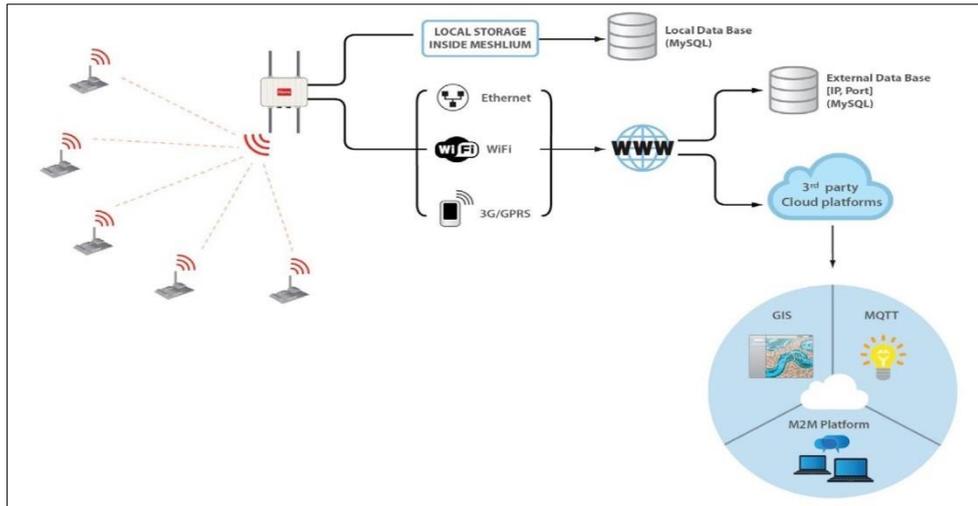


Figura 2.62 Envío de datos de sensores a muchas plataformas de software

Fuente: (Libellium, 2018)

Tabla 2.13 Especificaciones modelos radio

Radio	Protocolo	Frequency bands	Transmisión power	Sensitivity	Range*
XBee-PRO 802.15.4 EU	802.15.4	2.4 GHz	10 dBm	-100 dBm	750 m
XBee-PRO 802.15.4	802.15.4	2.4 GHz	18 dBm	-100 dBm	1600 m
XBee 868LP	RF	868 MHz	14 dBm	-106 dBm	8.4 km
XBee 900HP US	RF	900 MHz	24 dBm	-110 dBm	15.5 km
XBee 900HP BR	RF	900 MHz	24 dBm	-110 dBm	15.5 km
XBee 900HP AU	RF	900 MHz	24 dBm	-110 dBm	15.5 km
WiFi	WiFi (HTTP(S), FTP, TCP, UDP)	2.4 GHz	17 dBm	-94 dBm	500 m

4G EU/BR	4G/3G/2G (HTTP,FTP, TCP, UDP) GPS	800, 850, 900, 1800, 2100, 2600 MHz	4G: class 3 (0.2 W, 23 dBm)	4G: - 102 dBm	- km - Typical base station range
4G US	4G/3G/2G (HTTP,FTP,TC, UDP) GPS	700,850, 1700, 1900 MHz	4G: class 3 (0.2 W, 23 dBm)	4G: - 103 dBm	- km - Typical base station range
4G AU	4G (HTTP,FTP, TCP, UDP)	700,1800, 2600 MHz	4G: class 3 (0.2 W, 23 dBm)	4G: - 102 dBm	- km - Typical base station range
Sigfox EU	Sigfox	868 MHz	16 dBm	-126 dBm	- km - Typical base station range
Sigfox US	Sigfox	900 MHz	24 dBm	-127 dBm	- km - Typical base station range
Lora WAN US	Lora WAN	868 MHz	14 dBm	-136 dBm	> 15 km
Lora WAN US	LoRaWAN	900 MHz	18.5 dBm	-136 dBm	> 15 km
Lora WAN US	LoRaWAN	915-928 MHz	18.5 dBm	-136 dBm	> 15 km
Lora WAN IN	LoRaWAN	865-867 MHz	18.5 dBm	-136 dBm	> 15 km

Fuente: (Libellium, 2018)

2.27 Conectividad del dispositivo USB

El conector USB externo le permite conectar cualquier dispositivo USB a Meshlium. La única limitación es que su dispositivo debe ser compatible con un sistema Linux (obviamente, puede instalar sus controladores a través de un repositorio o cargar los archivos directamente). En el siguiente ejemplo, conectaremos una cámara web y capturaremos varias imágenes a las que se accederá desde una página web. Obviamente, el proceso variará dependiendo de la cámara o dispositivo USB que deseamos integrar.



Figura 2. 63. Conectividad del dispositivo USB

Fuente: (Libellium, 2018)

2.28 Radio módulos

Wasmote Plug & Sense Puede integrar muchos módulos de radio para comunicaciones inalámbricas. Estos módulos han sido elegidos por su alta sensibilidad de recepción y potencia de transmisión, así como por ser Compatible con 802.15.4 (modelo XBee-802.15.4) y compatible con ZigBee-Pro v2007 (modelo XBee-ZB

Tabla 2.14 Radio módulos

Radio versión	Frequency	Transmission power	Sensitivity	Range
XBee-PRO 802.15.4 EU	2.4 GHz	10 dBm	-100 dBm	750 m
XBee-PRO 802.15.4		18 dBm		1600 m

Fuente: (Libellium, 2018)

2.29 XBee-pro 802.15.4

La frecuencia utilizada es la banda libre de 2.4 GHz, que utiliza 12 canales con un ancho de banda de 5 MHz por canal. (Torres O, 2014)

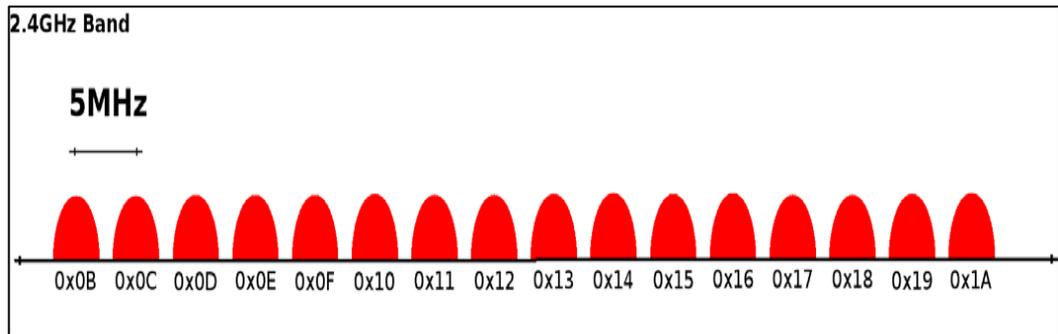


Figura 2.64 Frecuencia de 12 canales

Fuente: (Libellium, 2018)

2.30 Toma externa SIM / USB

La toma externa SIM / USB reemplaza la toma USB en dos tipos de dispositivos:

- Waspnote Plug & Sense! dispositivos con módulo 4G
- Dispositivos Meshlium con módulo 4G.

La toma externa SIM / USB está compuesta por 2 conectores:

- Tarjeta nano-SIM
- Micro-USB (tipo B)

Tenga en cuenta la orientación correcta de la tarjeta nano-SIM: el lado del chip debe mirar hacia el conector micro-USB, y la esquina con un ángulo de 45° debe estar orientada hacia el dispositivo



Figura 2. 65 Toma externa SIM / USB

Fuente: (Libellium, 2018)

2.31 Módulo 4g de Wasmote'Plug-& Sense Como Data Mule

El módulo 4G permite la conectividad a redes celulares de alta velocidad LTE, HSPA +, WCDMA para posibilitar la creación del próximo nivel de proyectos compatibles a nivel mundial dentro de la nueva era "Internet de las cosas".

El módulo incluye un receptor GPS / GLONASS, capaz de realizar servicios de geo localización utilizando oraciones NMEA, ofreciendo información como latitud, longitud, altitud y velocidad; Eso lo hace perfecto para realizar aplicaciones de seguimiento.

El módulo 4G ofrece el máximo rendimiento de la red 4G, ya que utiliza 2 antenas diferentes (normal + diversidad) para la recepción (MIMO DL 2x2), seleccionando la mejor señal recibida en cualquier momento y obteniendo una velocidad de descarga máxima de 100 Mbps.

Elegimos la familia de chipsets LE910 de Telit, EU/BR hasta 100Mbips

Este módulo puede realizar las siguientes tareas:

- Envío / recepción de SMS
- Multisocket hasta 6 clientes TCP / IP y UDP / IP servidor TCP/IP , TCP SSL, servicio HTTP•

Este modelo utiliza el UART1 a una velocidad de baudios de 115200 bps para comunicarse con el micro controlador. Bibliotecas API relacionadas: Wasp4G.h, Wasp4G.cpp

2.32 Interactuando con Wasmote

2.31.1 Recibiendo Marcos XBee con Wasmote Gateway

2.31.1.1 Wasmote Gateway. Este dispositivo permite recopilar datos que fluyen a través de la red de sensores hacia una PC o dispositivo con un puerto USB estándar. Wasmote Gateway actuará como un "puente de datos en función de las necesidades específicas de la aplicación.

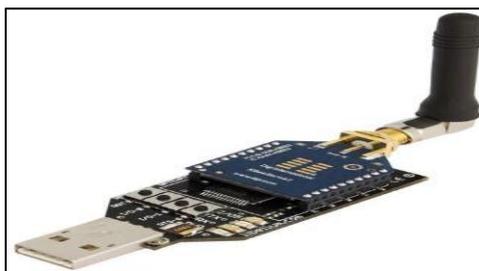


Figura 2. 66 Dispositivo
Gateway-Wasp mote

Fuente: (Libellium, 2018)

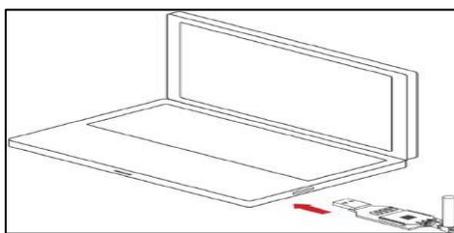


Figura 2.67. Datos de dispositivo a PC.

Fuente: (Libellium, 2018)

2.21.1.2 Meshlium La puerta de enlace de IoT. Los datos del sensor recopilados por Wasp mote Plug & Sense son enviados a la nube por Meshlium, el enrutador de la puerta de enlace de IoT, especialmente diseñado para conectar las redes de sensores Wasp mote a Internet a través de Ethernet y las interfaces 4G / 3G / 2G.

Meshlium puede trabajar como:

- Un enrutador de RF (XBee) a Ethernet para nodos Wasp mote
- Un enrutador RF (XBee) a 4G / 3G / GPRS / GSM para nodos Wasp mote
- Un punto de acceso WiFi
- Un enrutador WiFi a 4G / 3G / GPRS / GSM
- Un GPS - rastreador en tiempo real 4G / 3G / GPRS / GSM
- Un escáner de teléfono inteligente (detecta dispositivos iPhone y Android)

2.32 La colmena

The Hive es un servicio en la nube creado por Libelium. Envía información desde cualquier dispositivo de IoT a las principales plataformas de nube en todo el mundo simultáneamente y sin tener que implementar cada protocolo de nube específico o proceso de autenticación.

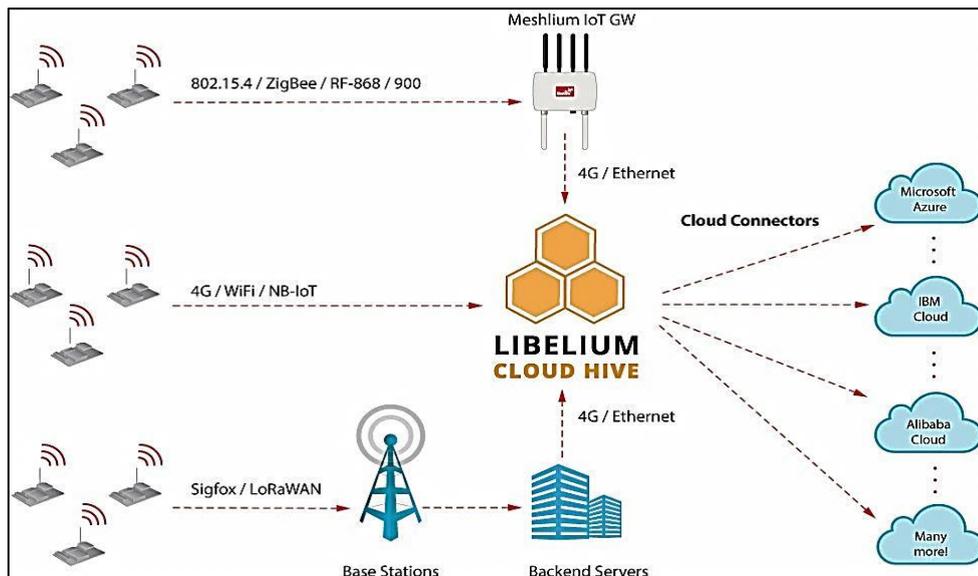


Figura 2.68 *La Colmena*

Fuente: Fuente: (Libellium, 2018)

Capítulo III: Propuesta

3.1 Tema: Desarrollo de un Sistema de Sensores Inalámbricos para Monitorear los Gases Tóxicos emitidos por Refinería de Esmeraldas, Incorporados en un Robot Aéreo Móvil.

3.2 Descripción de la Propuesta.

La ciudad de Esmeraldas, es la capital de la provincia de Esmeraldas situada al Noroccidente del Ecuador a 318 Km. de Quito la capital del Ecuador. Su clima es cálido y se encuentra junto al Océano Pacífico. Su extensión es de 2982 Km² y cuenta con aproximadamente 168.000 habitantes.

En la ciudad de Esmeraldas, están localizadas entre otras grandes industrias, el Terminal petrolero de Balao, primer puerto marítimo ecuatoriano de alta mar por el que se exporta el crudo de la amazonia; la Refinería Estatal, principal productora de derivados del petróleo, y la Central térmica Celec EP Termo-Esmeraldas, la más importante del país, que genera 132,5 megavatios de energía, entre otras industrias contaminan el medio ambiente, de allí la responsabilidad de buscar una solución a los problemas de monitoreo, y la necesidad de determinar el nivel de la calidad del aire para obtener resultados inmediatos que ayuden a tomar medidas para realizar planificaciones que brinden una mejor calidad del aire para esta población.

La universidad técnica Luis Vargas Torres de la ciudad de Esmeraldas interesada en la salud de los residentes del cantón y del ecosistema, se propuso realizar un seguimiento del grado de afectación a medio ambiente que provocan las industrias construidas en la zona urbana, aledañas con sectores poblados como Tolita 1 , Codesa , Propicia 1,2,3,y 4 una..

El inconveniente para el proyecto, es que algunas de las zonas donde se van a monitorear los datos, no existe redes eléctricas y hay muchos árboles, por lo que es el acceso a esos puntos es peligroso y con el afán de evitar riesgos laborales con el dron acoplado a un panel solar produce la energía para el trabajo del dron, para la transmisión y recepción de la información que será recogida por los módulos sensoriales en un drone el mismo que a través de un software Mission Planer programado, monitoreará las rutas señaladas; luego esa información será enviada a través de una red celular a la unidad de control que está ubicada en el Centro de Cómputo de la universidad, para luego ser analizada mediante un interface gráfico para su posterior envío a su página web

Es en este lugar donde se desarrollará una red de sensores inalámbricos usando la tecnología Zigbee en un drone y que esté basado en el internet de las cosas, redes de sensores, sensores, lenguaje de programación, drones, etc. Las aplicaciones o usuarios que se comuniquen con el Gateway podrá obtener información de mediciones por cada uno de los nodos, así como diferentes datos de funcionamiento, la creación de la red de sensores se cuenta con hardware y el software necesario para la programación y prueba de los mismos.

Para el envío de datos el hardware se denominara como grupos de nodos los cuales se encargan de formar la red , ellos deben comunicarse con la aplicación o usuarios que se encargara de utilizar y almacenar estos datos , los nodos que fueron programados se encargaran de enviar la información al nodo coordinador el que se encarga de verificar si la información llegue al servidor y de que en la red no llegue ningún dispositivo que no pertenezca a la red y que pueda causar daño a la aplicación o a la misma red de sensores

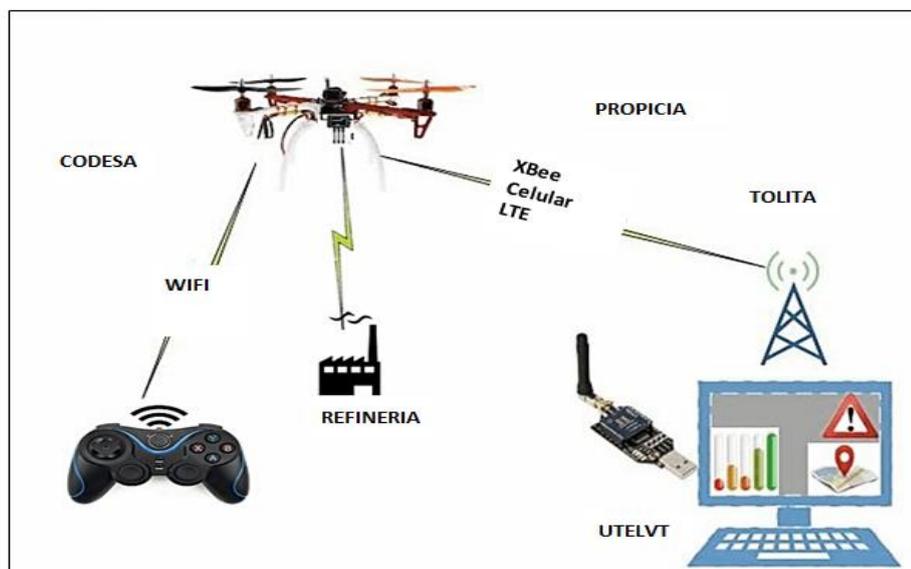


Figura 3.1 Diseño de Red propuesta

Fuente: (Villagómez, 2014)

Adaptación: El autor

Para el envío de datos el hardware se denominara como grupos de nodos los cuales se encargan de formar la red , ellos deben comunicarse con la aplicación o usuarios que se encargara de utilizar y almacenar estos datos , los nodos que fueron programados se encargaran de enviar la información al nodo coordinador el que se encarga de verificar si la información llegue al servidor y de que en la

red no llegue ningún dispositivo que no pertenezca a la red y que pueda causar daño a la aplicación o a la misma red de sensores

3.3 Diseño de la Propuesta

3.3.1 Tecnología Aplicada.

La tecnología principal de una red inalámbrica de sensores Waspnote es la red ZigBee y los módulos *XBee* y se los implementa en nuestra propuesta porque en esta tecnología una de sus principales características es la de monitoreo y control a más del bajo consumo energético que presenta, baja tasa de transmisión de datos y bajos costos de los equipos, en comparación a otras tecnologías, en lo referente a la tecnología 4g, servirá de transporte para los datos originados por los nodos, que debido a la carencia de línea de vista por la topología irregular,

3.3.1.1 *XBee Cellular LTE Cat 1 módems integrados.* Digi International Digi reúne el poder y la flexibilidad del ecosistema XBee con Verizon, la red celular más grande del mundo. Esta poderosa combinación permite a los OEM integrar rápidamente la tecnología celular 4G de vanguardia en sus dispositivos y aplicaciones sin tener que lidiar con las dolorosas, caras y costosas certificaciones de dispositivos finales de FCC y proveedores. Un plan de datos agrupados estará disponible como una opción, con el módem 'envío rápido', pre-aprovisionamiento completo y listo para comunicarse a través de la red celular de manera inmediata.

3.3.1.1.1 *Xbee-cellular.* Un conjunto completo de marcos estándar de la API de XBee y los comandos AT, los clientes existentes de *XBee* pueden realizar la transición sin problemas a este nuevo módem con solo pequeños ajustes de software. Cuando los fabricantes de equipos originales agregan el *XBee Cellular* a su diseño, crean un diseño preparado para el futuro con flexibilidad para cambiar entre los protocolos inalámbricos o las frecuencias según sea necesario, ideal para cualquier empresa con una hoja de ruta ágil.

3.3.1.1.2 *Características*

- Interfaz de datos en serie Uart (Spi próximamente)
- Analog I / O 4 líneas Adc (próximamente)
- Digital I / O 15 líneas Dio (próximamente)

- Form Factor 20-Pin XBee a través del orificio
- Opciones de Antena 2 U.FI para antenas primarias y secundarias
- Dimensiones 0.960 X 1.297 In (2.438 X 3.294 Cm)
- Referencia Chipset Telit / Altair
- Temperatura de Funcionamiento -40° C A + 80° C
- Modulación Lte / 4g - Qpsk, 16qam
- Potencia de transmisión 23dbm
- Recibir Sensibilidad -102 Dbm
- Portador Y Tecnología Verizon 4g Lte Cat 1
- Bandas Soportadas 4/13
- Seguridad Ssl / Tls
- Tarifas de datos 921 Kbps Vía Uart
- Voltaje de Suministro 3.0 A 5.5v
- Corriente de Transmisión 860 Ma promedio, 1020 Ma Pico A 3.3 V
- Recibir Corriente 530 Ma Promedio A 3.3v
- Corriente Ida (Escuchando) 143 Ma A 3.3v
- Fcc (Ee. Uu.) Contiene: Fcc: Ri7le866sv1
- Ic (Canadá) Contiene: Ic: 5131a-Le866sv1
- Dispositivo Final de Verizon próximamente

3.4. Desarrollo del Sistema

Desarrollar una red sensores inalámbrica XBee Cellular LTE incorporada en un drone Implementará esa red con equipos de alta tecnología como Wasmote plug-Smart einveronmet-pro módulo XBee Cellular LTE Cat 1, con un servicio de telemetría usando red de datos de telefonía celular 4G y antenas de radiofrecuencia omnidireccional y direccional; eso en la parte transmisora y en la parte receptora, el equipo radio receptor Wasmote- Gateway incluido el receptor XBee más los software de visualización de datos que pueden ser vistos en una PC o teléfono móvil

El drone para su tarea de monitoreo deberá ser programado en forma automática mediante un software Misión Planer para que realice sus tareas de monitoreo, además atreves de un GPS que también permita visualizar sus tareas y también podrá ser controlado en forma remota si así el operador lo considera.

Luego se interconectarán los diferentes módulos sensoriales que se encargarán de recoger los datos medioambientales y enviarlos a la estación base quien tendrá una interfaces grafica de Labview para su análisis correspondiente y subida a su página web. Se prevé la colocación de estos módulos sensoriales estarán incorporados en el dron quien en forma autónoma seguirá las rutas ya trazadas a través del software Misión Planer para conocer su estado de los nódulos y su funcionamiento. La alimentación eléctrica para el sistema será suministrada por un sistema autónomo formado por placas solares y/o pequeños molinos, quien estará cargando de energía continua a las baterías

3.4.1 Arquitectura de la Red.

Una vez planteados los requerimientos del proyecto para la implementación del sistema de vuelo autónomo que se realizará con el drone dentro de la toma de información en una red de sensores inalámbrica (WSN).

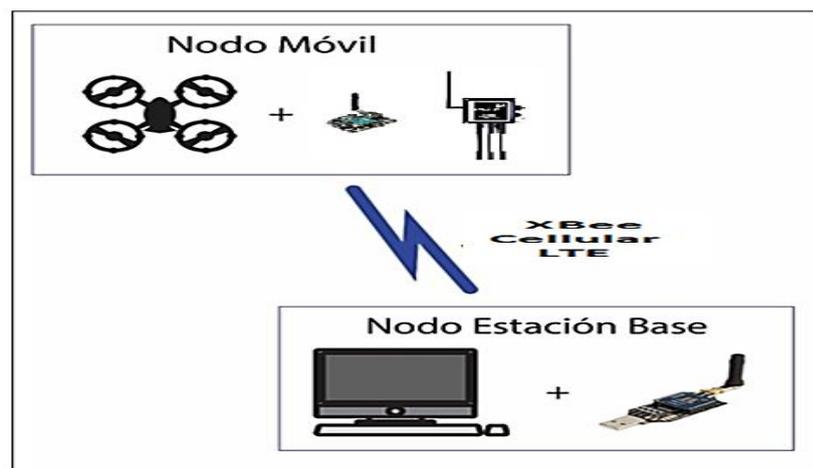


Figura 69 Arquitectura del sistema propuesto

Fuente: Aguirre & Paladines, 2016

3.4.1.1 Arquitectura Hardware del Sistema. La arquitectura general del sistema de calidad de aire se presenta en la figura 3.3. Se establecen dos nodos, un nodo móvil compuesto por el VANT y la placa de sensores de gases, que permite adquirir las variables medioambientales; y el nodo estación base que es el encargado de recibir los datos enviados por el nodo móvil.

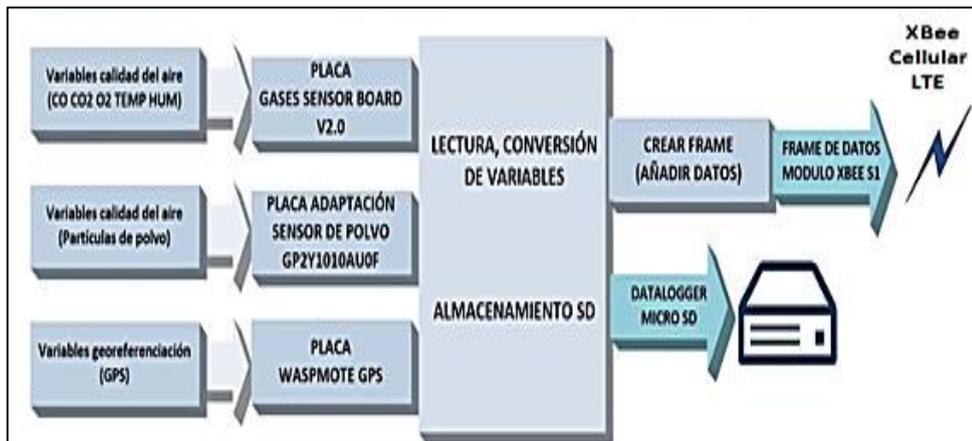


Figura 70 Arquitectura del hardware

Fuente: (Aguirre & Paladines, 2016)

La arquitectura hardware del nodo móvil se presenta en la figura 3.4 se observa la parte de adquisición de variables, procesamiento de información, almacenamiento y envío de datos

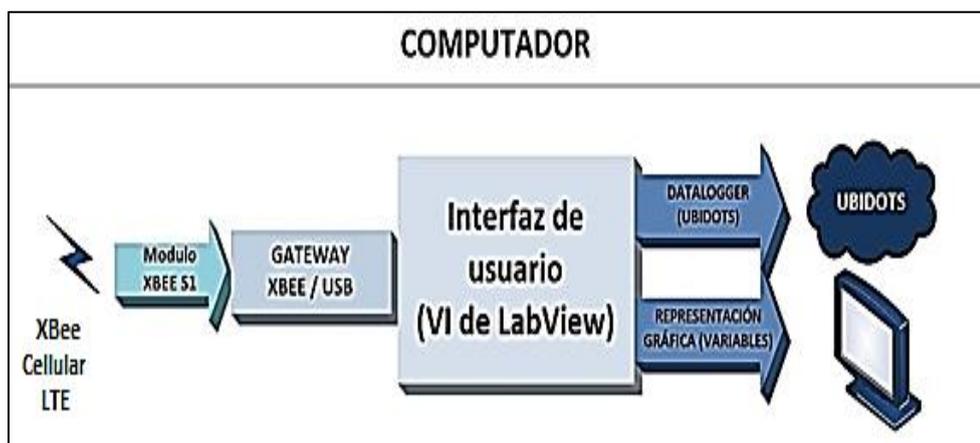


Figura 71.Arquitectura del hardware del nodo móvil

Fuente: (Aguirre & Paladines, 2016)

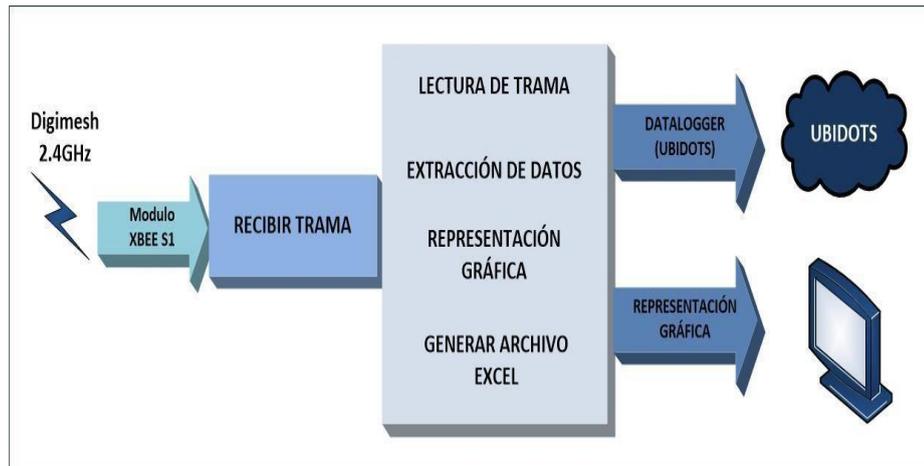


Figura 72 Software

Fuente: (Aguirre & Paladines, 2016)

3.4.1.2 arquitecturas software del sistema. La arquitectura software del nodo móvil presenta las características de la figura 3.5 se aprecia la adquisición, lectura y conversión de los datos, la creación de la trama a enviar, y el almacenamiento de los datos. Esto se realiza en la placa de sensores de Waspnote

En la figura 3.6 se presenta la arquitectura software del nodo estación base, desarrollada en la plataforma Labview, la recepción de la trama, lectura y extracción de los datos, la representación gráfica, la visualización de los datos para el usuario y la subida de los datos al servidor de Ubidots.

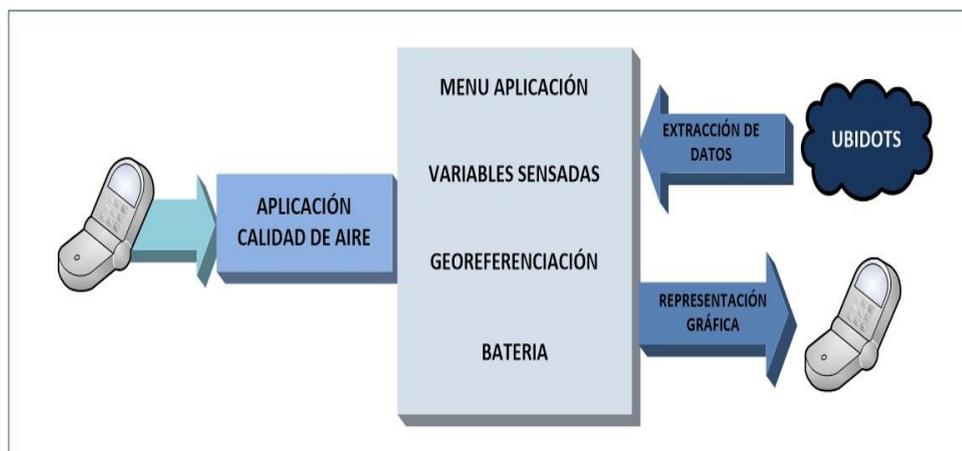


Figura 73 Nodo estación base

Fuente: (Aguirre & Paladines, 2016)

3.4.2 Placa de Sensores Waspnote

Hablando de hardware, hay muchas mejoras: Wasmote no tiene puentes ahora, las conexiones son más robustas, la carga del código es mucho más rápida ahora, no hay necesidad de una batería de monedas... y es posible cargar código con el XBee Radio conectada

La API es más robusta y más fácil de usar ahora. Además, tenemos una gran cantidad de ejemplos y guías de programación mejoradas para ayudar al usuario a tener un desarrollo más rápido.

- **Micro controlador:** ATmega1281
- **Frecuencia:** 14MHz
- **SRAM:** 8 KB
- **EEPROM:** 4 KB (1 KB reservado)
- **FLASH:** 128 KB
- **Tarjeta SD:** 2GB
- **Peso:** 20gr
- **Dimensiones:** 73.5 x 51 x 13 mm
- **Rango de temperatura:** [-10°C, + 65°C]

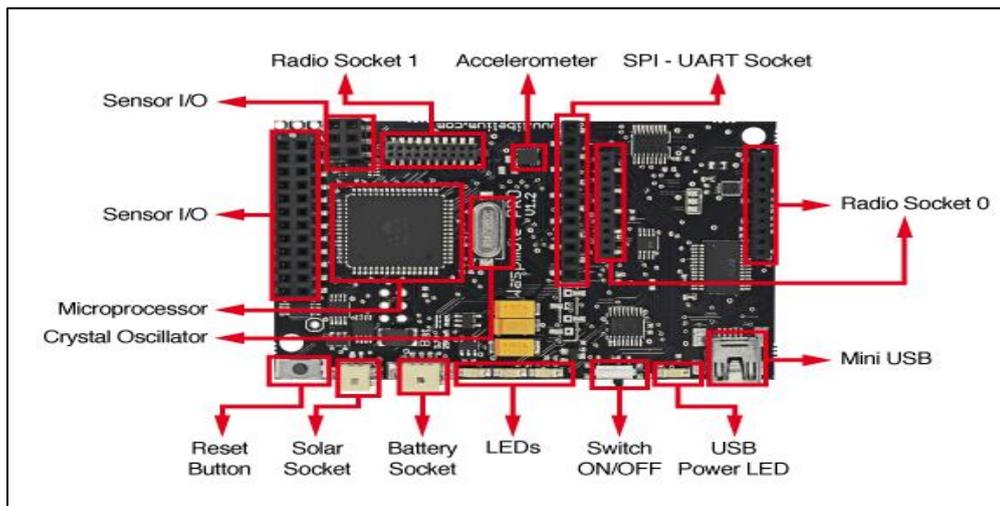


Figura 3.7 Componentes principales de Wasmote - Parte superior

Fuente: (Libelium, 2018)

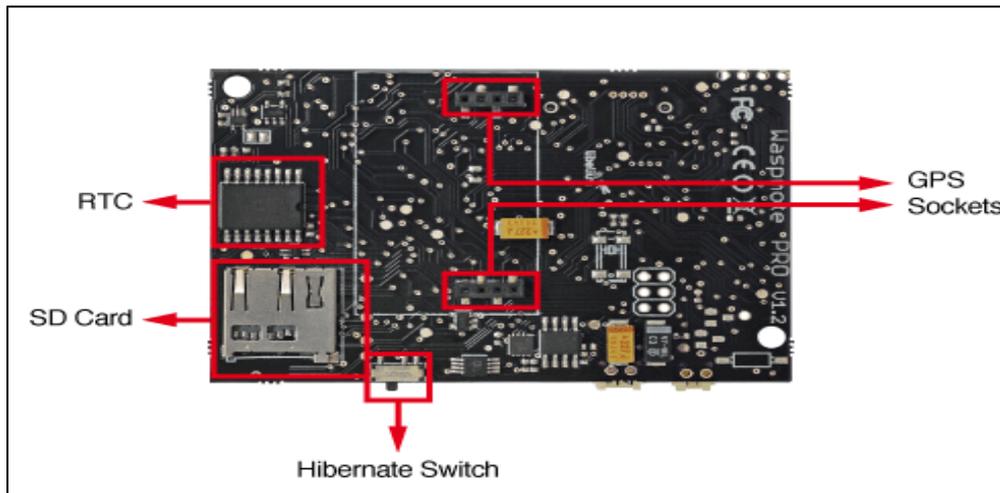


Figura 74 Componentes principales de Wasp mote - Lado inferior

Fuente: (Libelium, 2018)

3.4.3 Sistema de recolección de datos

Para el propósito de nuestra red de telemetría 4g se tiene previsto dos tipos de almacenamiento; el primero que es interno en la placa Wasp mote Gateway que posibilita instalar dos radios al mismo tiempo, esto quiere decir un radio wiki y un radio 4g que estará equipada en el dron, mediante el cual el técnico podrá obtener información vía Wi-Fi; es decir a la distancia y línea de vista que le dé el dron por sus características técnicas, y que desde ese punto podrá obtener datos gráficos que le proporcionan los sensores

Y el segundo radio 4g que servirá para enviar los datos del módulo Wasp mote y manipular y controlar el dron vía red de telemetría desde cualquier punto de la tierra, a la sala de control instalada en la universidad Luis Vargas torres, a través de un Gateway permitirá mediante dos software de interfaces tomar esos datos almacenados, convertirlos en forma gráfica digital para su análisis; mediante el Grafico con Software Labview (Fig.3.9) interface Misión Planer. (Fig.3.10) que juntos obtienen los gráficos correspondientes, tanto de gases tóxicos producidos como el monitoreo del dron.



Figura 3.9 Interfaz para el control y monitorización de los nodos de la WSN

Fuente: (Aguirre & Paladines, 2016)

Adaptación: Autor



Figura 3.10 Interfaz para el monitoreo del dron

Fuente: (Aguirre & Paladines, 2016)

3.4.4 Alimentación Solar del Módulo de sensores

Para el propósito de alimentar nuestra red y que se la hace a través de baterías, teniendo con ella poca duración de vuelo especialmente, se podrá mejorar el tiempo de funcionamiento de los equipos y dron a través de la incorporación de un módulo energía solar o energía eólica.



Figura 3.11 Alimentación Solar del módulo de sensores

Fuente: El autor

3. 4.5 Sensores

El sensor que vamos a utilizar en el proyecto es “sensores catalíticos de gas de estado sólido” propio para sensar gases y vapores, el modulo sensor Waspnote plug & sense, gases Pro (sensores de gas calibrado) de Libelium facilita el seguimiento a distancia de los parámetros más relevantes relacionados con la calidad del aire. Con esta plataforma se pueden medir más de 16 parámetros

3.4.5.1 Gases Pro (Sensores de Gas Calibrado).



Figura 75 Gases pro calibrado

Fuente: (Libelium, 2018)

3.4.5.2 Ambiente inteligente PRO. El modelo Smart Environment PRO ha sido creado como una evolución de Smart Environment. Permite al usuario implementar proyectos de contaminación, calidad del aire, industrial, ambiental o agrícola con altos requisitos en términos de alta precisión, confiabilidad y rango de medición, ya que los sensores vienen calibrados de fábrica.



Figura 3.13 Environment PRO

Fuente: (Libelium, 2018)

3.4.5.3 Ciudades inteligentes. Las principales aplicaciones para este WaspMote Plug & Sense son: Los mapas de ruido (monitorean en tiempo real los niveles acústicos en las calles de una ciudad), la calidad del aire, la gestión de residuos, la iluminación inteligente, etc. Los zócalos de los sensores se configuran como se muestra en la figura.3.14.



Figura 3.14. Cities PRO

(Libelium, 2018)

Tabla 10. Especificaciones de instalación de la placa de sensores sock

Sensor Socket	Sensor probes allowed for each sensor socket
	Carbon Monoxide (CO) for low concentrations [Calibrated]
	Carbon Dioxide (CO ₂) [Calibrated]
	Oxygen (O ₂) [Calibrated]
	Ozone (O ₃) [Calibrated]
	Nitric Oxide (NO) for low concentrations [Calibrated]
	Nitric Dioxide (NO ₂) high accuracy [Calibrated]
	Sulfur Dioxide (SO ₂) high accuracy [Calibrated]
	Ammonia (NH ₃) for low concentrations [Calibrated]
	Ammonia (NH ₃) for high concentrations [Calibrated]
	Methane (CH ₄) and Combustible Gas [Calibrated]
	Hydrogen (H ₂) [Calibrated]
	Hydrogen Sulfide (H ₂ S) [Calibrated]
	Hydrogen Chloride (HCl) [Calibrated]
	Hydrogen Cyanide (HCN) [Calibrated]
	Phosphine (PH ₃) [Calibrated]
	Ethylene (ETO) [Calibrated]
	Chlorine (Cl ₂) [Calibrated]
	D
E	Temperature, humidity and pressure
	Luminosity (Luxes accuracy)
	Ultrasound (distance measurement)

Fuente: (Libelium, 2018)

Adaptación: Autor

Tabla 11 Especificaciones para programar sensores

Sensor Socket	Parameter
A	Noise level sensor
	Temperature + Humidity + Pressure
	Luminosity (Luxes accuracy)
	Ultrasound (distance measurement)
B, C and F	Carbon Monoxide (CO) for high concentrations [Calibrated]
	Carbon Monoxide (CO) for low concentrations [Calibrated]
	Carbon Dioxide (CO ₂) [Calibrated]
	Oxygen (O ₂) [Calibrated]
	Ozone (O ₃) [Calibrated]
	Nitric Oxide (NO) for low concentrations [Calibrated]
	Nitric Dioxide (NO ₂) high accuracy [Calibrated]
	Sulfur Dioxide (SO ₂) high accuracy [Calibrated]
	Ammonia (NH ₃) for low concentrations [Calibrated]
	Ammonia (NH ₃) for high concentrations [Calibrated]
	Methane (CH ₄) and Combustible Gas [Calibrated]
	Hydrogen (H ₂) [Calibrated]
	Hydrogen Sulfide (H ₂ S) [Calibrated]
	Hydrogen Chloride (HCl) [Calibrated]
	Hydrogen Cyanide (HCN) [Calibrated]
	Phosphine (PH ₃) [Calibrated]
	Ethylene (ETO) [Calibrated]
	Chlorine (Cl ₂) [Calibrated]
Temperature + Humidity + Pressure	

	Luminosity (Luxes accuracy)
	Ultrasound (distance measurement)
D	Particle Matter (PM1 / PM2.5 / PM10) – Dust
	Temperature + Humidity + Pressure
E	Luminosity (Luxes accuracy)
	Ultrasound (distance measurement)

Fuente: (Libelium, 2018)

Los sensores de gas calibrados se fabrican una vez que se ha realizado el pedido para garantizar la máxima durabilidad de la función de calibración.

El proceso de fabricación y la entrega pueden tardar de 4 a 6 semanas. La vida útil de los sensores de gas calibrados es de 6 meses trabajando con la máxima precisión. Recomendamos a nuestros clientes que compren sensores de gas adicionales para reemplazar los originales después de ese tiempo para garantizar la máxima precisión y rendimiento

3.4.6 Programación del Sistema

Inicialmente se declara todas las librerías utilizadas para el correcto funcionamiento de nuestro programa así como también cada una de las variables que utilizaremos. En el “setup”, que es la primera parte del código, el cual solo se ejecuta una vez al iniciar el programa, se enciende la tarjeta micro SD que almacena en un nuevo fichero cada dato obtenido, se inicializa la placa de sensores de gases y se inicializa el módulo GPS.

En el loop, que es un bucle infinito que se ejecuta continuamente, se realiza la configuración, lectura y conversión de los datos obtenidos por cada uno de los sensores, así como también la lectura y obtención de los datos GPS, se guardan cada uno de estos datos en la tarjeta SD, entre cada dato obtenido se calcula un retardo de obtención de muestra, este retardo dependerá del número de muestras y el tiempo de ejecución del programa. (Aguirre & Paladines, 2016)

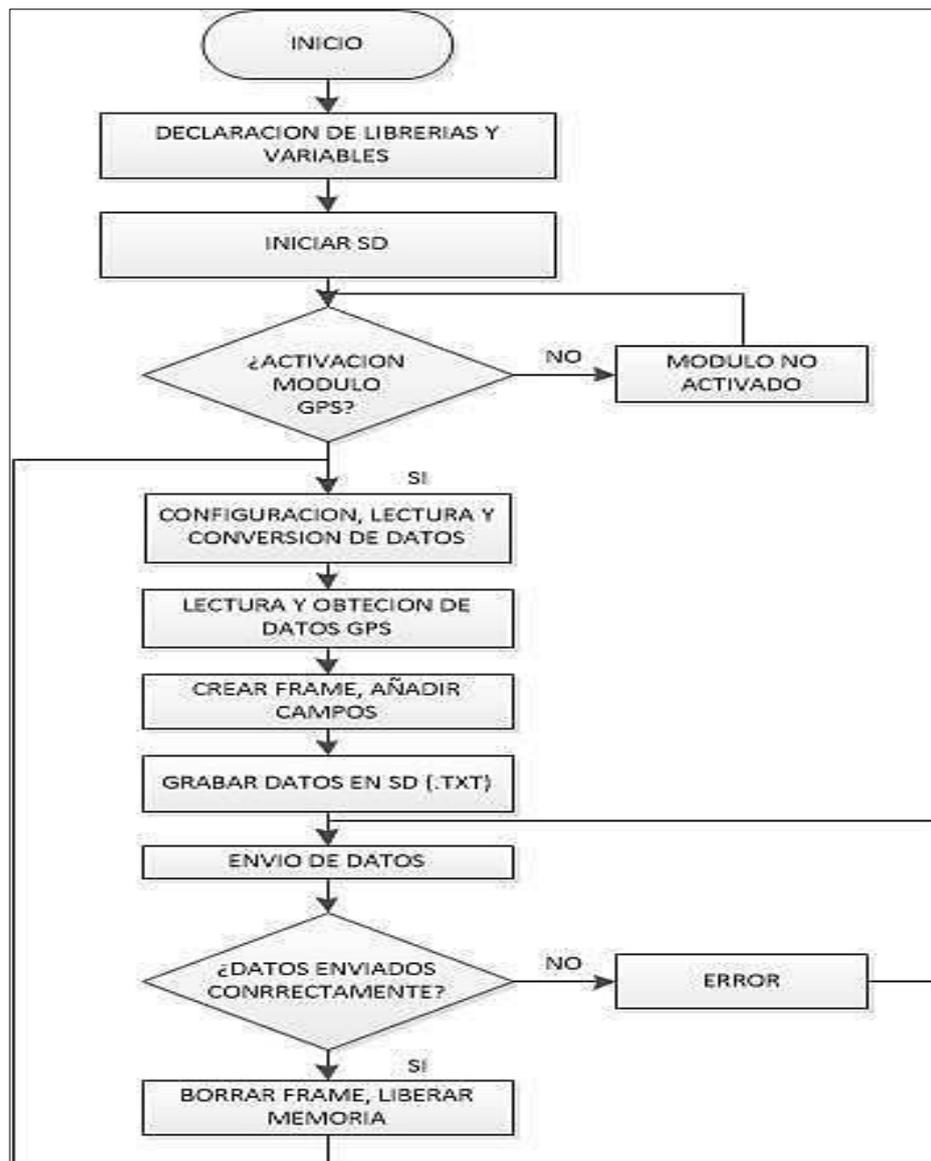


Figura 3.15. Diagrama de programación del sistema

Fuente: (Aguirre & Paladines, 2016)

A continuación, se crea el frame con los datos obtenidos, se envía al módulo XBee y los datos son enviados al nodo estación base en el computador, al finalizar se limpia la memoria cache de envío y se repite el procedimiento. A continuación se detalla la constitución y el funcionamiento de los nodos que vamos a tener dentro de la investigación:

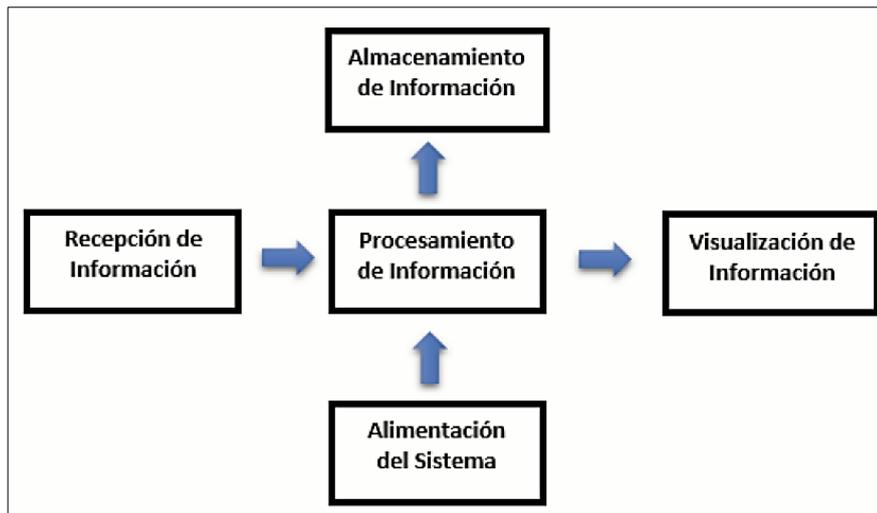


Figura 3.16 Diagrama de bloques, nodo móvil

Fuente: (Trujillo, 2017)

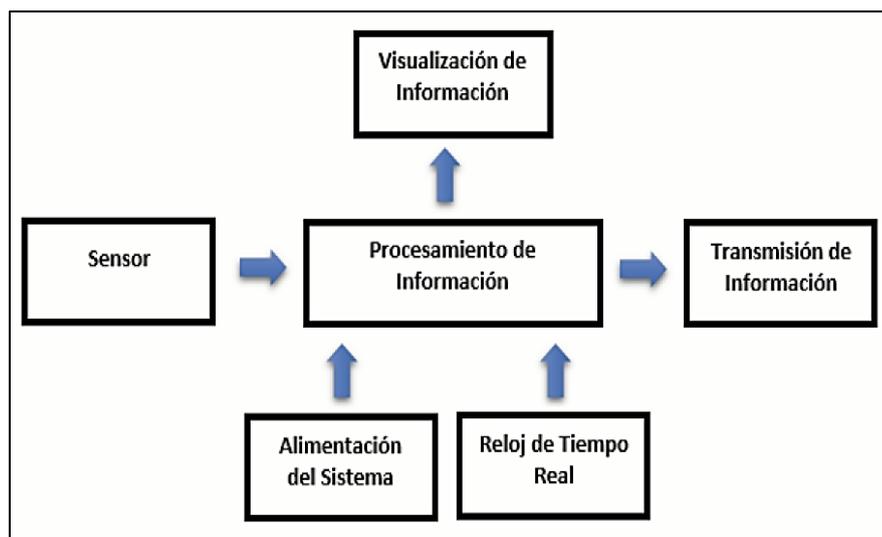


Figura 3.16 Diagrama de bloques del nodo coordinador de la Red WSN

Fuente: (Trujillo, 2017)

3.5 Funcionamiento de la Red Xbee Celular LTE Cat-1 en el Dron.

El módulo de sensores Wasmopte estará acoplado en el dron mediante unos seguros que posee este módulo para su correcto acople, esto se lo hará con un modelo matemático en tercera dimensión 3D mediante un software Solid Works quien determinará el punto de equilibrio entre el módulo de sensores y el dron; para su vuelo deberá tener una fuerza de empuje en los motores que debe ser el doble o mayor al peso total del dron, para que este funcione deberá tener incorporado una tarjeta electrónica Arduino Mega que posee un micro

controlador quien controlara el vuelo o tarjeta de telemetría, una tarjeta de comunicaciones 4g, una tarjeta de almacenamiento Microsd de 2gb , un acelerómetro de tres ejes, un giroscopio, un módulo compas HMC o brújula y una tarjeta de extracción de datos telemétricos Minim Osd, estos datos servirán para controlar y monitorear al dron.

Además mediante el software Ide Arduino se podrá grabar las coordenadas para cumplir las tareas propuesta y con un GPS se podrá ver el estado de encuentro del dron, en nuestro proyecto; esto es monitorear los sectores de Tolita, Codesa, la Propicia y universidad Luís Vargas Torres, que será el centro de recepción de datos , que lo hará a través de un interface LAVIEW.

El Módulo sensor waspmote internamente estará implementado en sus sondas de sensores catalíticos de gas de estado sólido y de una placa de gases pro calibrada, los cuales hacen la labor de censado ,los datos censados luego serán convertidos por un transductor de forma analógica a eléctrica ,en voltaje e intensidad mediante una tarjeta electrónica waspmote Atmega la cual tiene incorporado un microcontrolador , que luego envía los datos al módulo Xbee/4g para su transmisión vía telemetría 4g al punto de destino.

Quiero indicar que otra de las posibilidades que tiene este sensor waspmote plug es que sus tarjetas se pueden comunicar entre sí por un puerto común, a esta tarjeta según su fabricante se les puede instalar dos radios, estos serían radio WiFi y radio XBee, con el radio WiFi se podrán programar, reprogramar, controlar y tomar datos ya procesados, todo esto se lo podrá hacer mediante una interface de programación inalámbrica OTAP y con un programa IDE de Waspote.

Para la recepción de los datos provenientes del módulo sensor waspmote, que en su interior tendrá instalada una placa de sensores PRO Board, , un micro controlador que n enviara los datos al módulo RF XBee/4G vía telemetría 4g a su lugar de destino , el radio XBee trabaja en una frecuencia de 2.4 MHz, dichos datos transmitidos , provenientes por el módulo sensor waspmote plug pro son receptados por un módulo XBee-Waspote-Gateway que estará ubicada en el centro de control y mando universidad Luis Vargas Torres para luego ser almacenada en una memoria de mayor capacidad en la PC de la universidad o Equipo Móvil. Dichos datos de gases tóxicos podrán ser visualizados en forma de

gráficos mediante un interface gráfico Labview o visualizador grafico creado en la PC.

El especialista realizara los análisis y los cálculos correspondientes para su dictamen final y elevarla a la página web de la universidad para su divulgación para conocimiento del pueblo en general, a los órganos de control y regulación, como el municipio del cantón y los directivos de refinería de Esmeraldas, además esos dato en forma de gráficos se podría ver en forma digital mediante un software especializado.

Así mismo la información interna del drone se la puede conocer y controlar a través de un módulo minim *Osdon Screen display*” que es una placa electrónica pequeña de circuito basada en una mini Atmega – 328P y un chip MAX 7465 , esta pequeña tarjeta extrae los datos de la tarjeta controladora de vuelo APM Arduino mega y transmite los datos a través de un radio de telemetría, 4g, dichos datos los sobrepone en el monitor de vista en primera persona; que mediante un software interface Mission Planer se podrá conocer el estado y funcionamiento de sus módulos , y cuando exista un problema en el modo automático se lo pueda cambiar al modo manual RC y manejarlo través de un jostik.

Así tanto los datos que provienen del módulo waspmote podrán ser enviados a través de la tarjeta mini Osd hacia el receptor Waspote-Gateway-Xbee donde a través de una interface de Labview se podrán visualizar los datos en forma de gráficos en una PC, los datos de módulo waspmote aprovechando la tarjeta mini OSD podrá enviar sus datos a través de la red de telemetría 4g, para lo cual se debe acoplar el módulo waspmote a la salida de la tarjeta Minim Osd logrando tener salida al radio de telemetría 4g, es decir los datos del dron y del módulo waspmote irán por la misma red de telemetría.

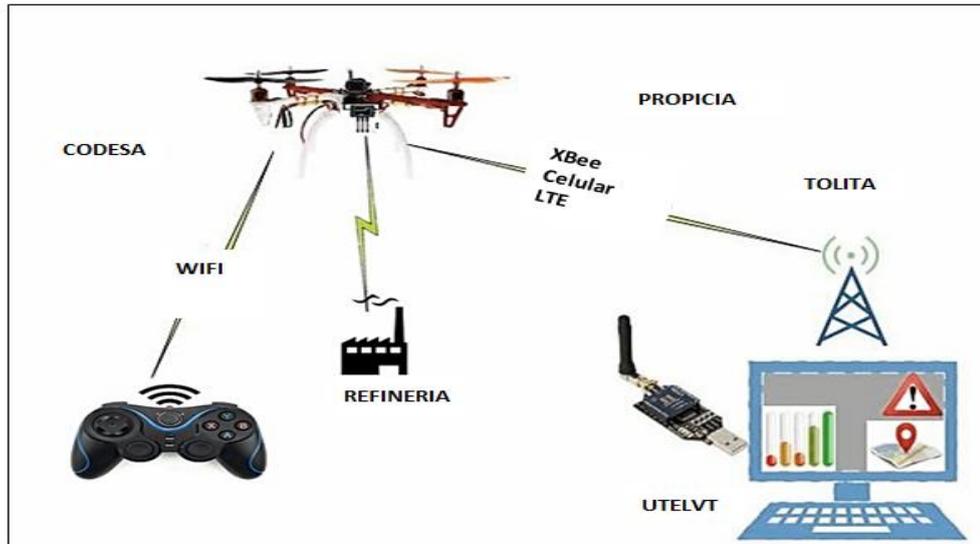


Figura 3.17 Sistema del dron

Fuente: (Trujillo, 2017)

Adaptación: Autor

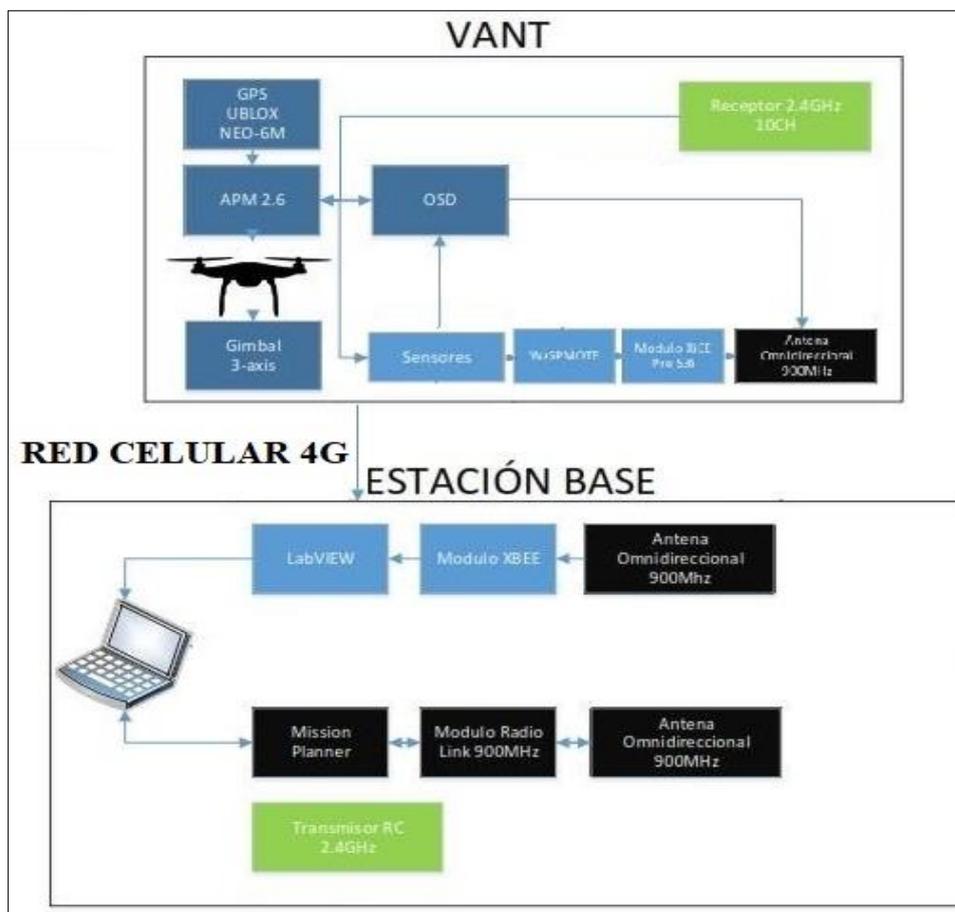


Figura 76 Esquema del funcionamiento de la Red XBee Celular LTE Cat-1 en el Dron

Fuente: (Trujillo, 2017)

3.5.1 Tarjetas y equipos del sistema propuesto

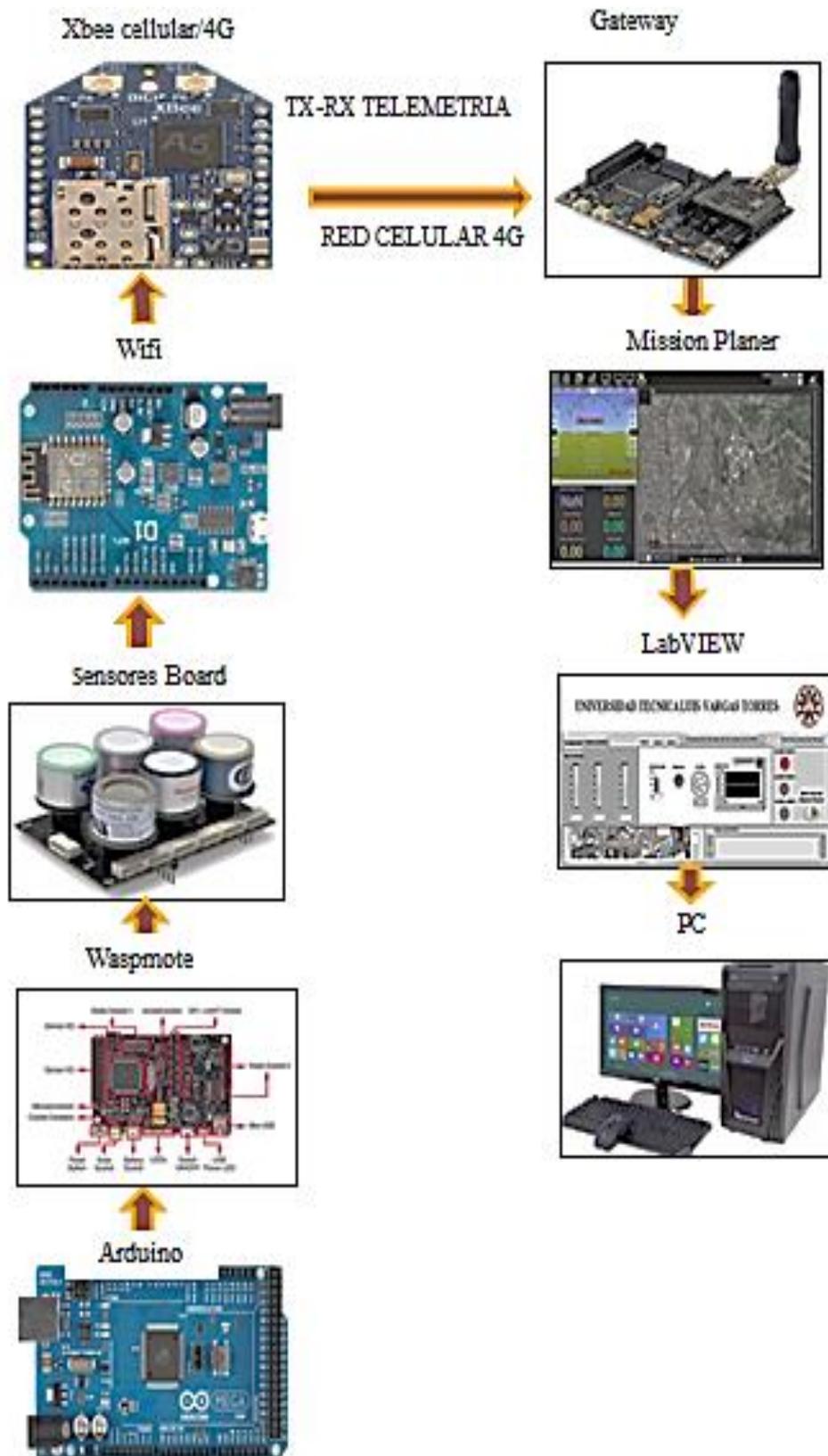


Figura 77 Tarjetas y figuras del sistema propuesto

Diseño: Autor

3.6 Presupuesto

Tabla 3.3 Presupuesto del sistema

Estación completa	Unidad	Costo unitario	V. Total
Wasmote, base de detección Environment			
Plug & Sense! EN ZB-PRO 5dBi (Environment)	2	600,00	1.200,00
6600mAh rechargeable battery + internal solar panel 6.5V - 205Ma	2	100,00	200,00
Sensores para base Environment			
Gases Prosensor Board	2	1.000,00	2.000,00
Volatile Organic Componed	2	40,00	80,00
Wasmote, base de detección Smart Cities			
Plug & Sense! SC ZB-PRO 5dBi (Smart Cities)	2	500,00	1.000,00
6600mAh rechargeable battery internal solar panel 6.5V - 205mA	2	50,00	100,00
Sensores para base Smart Cities			

Dust -PM10	2	100.00	200,00
Solar kit (12V – 20W): solar panel 20W + 220V inverter + battery charger	1	500.00	500,00
Cuadro eléctrico estanco para alojamiento batería (IP65)	1	700.00	700,00
Cable eléctrico, tornillería y varios		100.00	100,00
Batería Rpower Gel 12V 65Ah	1	180.00	180,00
ANTENA WIFI 5 Ghz 23,5 Db MINI PANEL ELBOXRF	1	100,00	100,00
Plan Claro	20	200	4000,00
Drones	1	4500	4.500,00
Técnico Programador	1	1000	1.000,00
Piloto Dron	1	1000	1.000,00
Capacitación		2000	2.00,00
Ingeniería de red	3	1500	4.500,00

Mano de obra para configuración y pruebas	4	500	2.000,00
Imprevisto		5000	5.000
Total			32.340,00

Fuente: El autor

3.7 Viabilidad económica y de talento humano técnico del proyecto:

La universidad técnica Luis Vargas torres de esmeraldas cuenta con el presupuesto y el personal técnico apropiado para el desarrollo e implementación del proyecto, en lo que respecta al área técnica la universidad cuenta con las carreras de ingeniería eléctrica, mecánica y sistemas informáticos que bien pueden hacerse cargo de todo el proyecto y en conjunto con los estudiantes y en lo referente al presupuesto, este proyecto ya tiene la aprobación presupuestaria

Conclusiones

- Se ha realizado un estudio de tecnologías actuales de sensores, sistemas de comunicación, procesamiento y trabajos relacionados, con lo que se definió los componentes de hardware y software adecuados para cumplir con los objetivos de este trabajo de titulación. También, mediante estudios ya realizados, acerca de la aerodinámica de VANTs, se determinó la ubicación de los sensores.
- Para la implementación del nodo móvil se usa la plataforma Waspote Plug & Sense debido a que es una tecnología abierta, permitiendo integrar sensores que no pertenecen a la misma, con ello se podrán modificar las librerías necesarias para el acople y funcionamiento del sensor de partículas de polvo.
- Se puede instalar la caja IP67 que contiene los sensores Waspote plug como son los Smart Environment y city para que se acople a la tarjeta Waspote y no interfiera con el funcionamiento de los demás sensores del sistema.
- Se consigue desarrollar la estructura adecuada, utilizando software de diseño en 3D, logrando un soporte que se integra al VANT en un punto, donde no afecte el centro de gravedad, brindando una estructura de protección a los módulos de sensores, comunicación, procesamiento y de abastecimiento de energía; esta estructura no interfiere con las mediciones de los sensores.
- La tecnología ZIGBEE es eficiente cuando se trabaja Tierra-Tierra, pero cuando se trabaja Tierra-Aire aumenta su latencia, así como errores en la propagación, esto se mejoraría con la implementación de un modem XBEE-CELULAR-4G que aumentará su ancho de banda, su tiempo real, disponibilidad de potencia, rango y grandes distancias y sobre todo eliminara la latencia.
- Es factible desarrollar una interfaz gráfica de usuario, empleando el

software LabVIEW; permitiendo al usuario observar las variables de calidad de aire en tiempo real al establecer la comunicación entre el nodo móvil (sensores) y la estación base. Adicionalmente, se visualiza la ubicación del nodo móvil con la utilización de los recursos de Google Maps y de un GPS; y la función de extraer la información en un archivo de Excel para su posterior análisis.

- Se obtiene una aplicación para los dispositivos móviles Android, con el fin de que usuarios remotos puedan visualizar los datos obtenidos de los sensores, la ubicación del nodo móvil e información de batería mediante el acceso al servidor de Ubidots, que es donde la estación base envía los datos.
- Se logra un sistema de medición de variables medioambientales que permite determinar la calidad de aire de una zona utilizando un vehículo aéreo no tripulado y mediante el establecimiento de un enlace de telemetría 4G inalámbrico entre el nodo móvil y la estación base que emplea el protocolo de comunicación ZigBee, se consigue enviar información en tiempo real que se visualiza en una aplicación de escritorio y para dispositivos móviles.
- Los valores de las variables de medidas de esta propuesta que incluye tecnología de punta, obtendrá mejores resultados en comparación a proyectos de tercera generación.
- Con esta propuesta se podrá realizar proyectos sobre redes inalámbricas de quinta generación referenciándose a internet de las cosas con la tecnología Waspote.

Recomendaciones

- Se recomienda a las autoridades de la universidad Luis Vargas torres inviertan en este proyecto el mismo que será un aporte para la ciudadanía esmeraldeña
- Debido a los retardos de la señal que se presentan en la transmisión de comunicaciones satelitales, se recomienda el uso de la tecnología celular, logrando monitorear sectores de difícil acceso y obtener beneficios de compartir la información hacia diferentes puntos de manera más eficiente y en su mejor tiempo real.
- Es necesario que el manejo de los equipos Wasmote sea de sumo cuidado, posee pines y conectores frágiles que al momento de desarrollar el código se manipula de manera repetida; así como también, el tener que mantener siempre la batería conectada y en movimiento daña el conector.
- Para trabajar con sensores o módulos que no pertenezcan a la plataforma Wasmote se debe modificar las librerías internas del IDE, tomando en cuenta los pines que se utilizan de tal forma que no se modifique ninguna otra variable.
- La persona a cargo del manejo del VANT debe estar calificada debido a la dificultad y peligro que presentan estos al momento de sobrevolar zonas urbanas.
- Para abarcar zonas de mayor distancia se recomienda utilizar un VANT que posea una autonomía de vuelo mayor y que permita llevar una mayor carga útil. También la posibilidad de disminuir el peso del sistema de sensores de gases, ayudaría para aumentar la autonomía de vuelo y por ende poder abarcar zonas más extensas.

Bibliografía

- Aguirre, C., & Paladines, L. (Septiembre de 2016). *file:///C:/Users/SERVIDOR/Downloads/AguirreEsparza_PaladinesBernal_TESIS.pdf*. Recuperado el 20 de Enero de 2019, de dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/.../AguirreEsparza_PaladinesBernal_TESIS.p...: dspace.utpl.edu.e
- Aguirre, C., & Paladines, S. (Septiembre de 2016). *file:///C:/Users/SERVIDOR/Downloads/AguirreEsparza_PaladinesBernal_TESIS.pdf*. Recuperado el 20 de Enero de 2019, de dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/.../AguirreEsparza_PaladinesBernal_TESIS.p...: dspace.utpl.edu.e
- Cando, M. (2015). <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/20257/1/CANDO%20HUAYAMAVE%20MARVIN%20MANUEL.pdf>. *Estudio de la factibilidad del uso y BENEFICIOS DE LAS REDES AD-HOC*, 13. Guayaquil, Ecuador. Recuperado el 15 de Agosto de 2018
- Dordoigne, J. (2015). *Redes informáticas, nociones fundamentales* (5ta ed.). Brcelona, España: ENI.
- Gordon, M. (2012). <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6074/1/T-ESPE-034947.pdf>. (Escuela Politécnica del Ejército) Recuperado el 17 de Abril de 2019
- Guerra, G. (s.f.). *file:///C:/Users/SERVIDOR/Downloads/12335.pdf*. Recuperado el 14 de Enero de 2019, de dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/6016/1/12335.pdf.
- <http://wiki-finanzas.com/index.php?seccion=Contenido&id=2013C0988>. (s.f.).
- <https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/waspmote>. (s.f.).
- <https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/waspmote#420ma>. (s.f.). (Libelium Comunicaciones Distribuidas SL) Recuperado el marzo de 2019, de www.cooking-hacks.com
- Libelium. (27 de Diciembre de 2018). <http://www.libelium.com/resources/case-studies/>.
- Libellium. (28 de Diciembre 29 de 2018). <http://www.libelium.com/lorawan-waspmote-868-europe-900-915-us-433-mhz-asia-lora/>. Obtenido de <http://www.libelium.com>
- Libellium. (s.f.). <http://www.libelium.com/products/plug-sense/models/>. Recuperado el 20 de diciembre de 2019

- Maestre, J. (2015).
<https://books.google.com.ec/books?id=BAHsBgAAQBAJ&pg=PA94&lpg=PA94&dq=Adem%C3%A1s+de+ofrecer+un+nivel+de+aplicaci%C3%B3n+para+la+ejecuci%C3%B3n+de+c%C3%B3digo+de>. En J. Maestre, & L. Carmen (Ed.). Madrid, España: Paraninfo.
- Montenegro, I. (8 de Febrero de 2006).
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/826/1/T-ESPE-014414.pdf>. Recuperado el 15 de Noviembre de 2019, de <https://repositorio.espe.edu.ec>
- Montes, J., & Geraldo, A. (15 de Julio de 2012).
<https://redesdesensoreswsn.blogspot.com/2012/07/redes-de-sensores-inalambricas-wsn-upt.html>. Recuperado el 18 de Abril de 2019
- Mundo Teleco. (10 de Octubre de 2014).
<http://mundotelecomunicaciones1.blogspot.com/2014/10/zona-de-fresnel.html>. Recuperado el 17 de Abril de 2019
- Santos, E. (2014). <http://cip-trujillo.org/ovcipc.dll/uploads/biblioteca/abstract/T011056.pdf>.
 Recuperado el 20 de Diciembre de 2019
- Solo eléctricos. (s.f.). <http://soloelectronicos.com/2015/01/08/redes-de-sensores-m2m/>. Recuperado el 2019
- Torres O, M. d. (2014).
<http://tesiuami.izt.uam.mx/uam/asp/am/presentatatesis.php?recno=16695&docs=UAMI16695.pd>. Recuperado el 25 de Enero de 2019
- Trujillo, M. (2017).
https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBD_esEC834EC834&ei=EWKEXLubi7Cd5wKNvLegBQ&q=Mediante+los+alcances+de+la+ciencia+y+tecnología+se+permite+tener+drones+de+usos+militares+y+comerciales.+Las+bondades+que+estos+artefactos+electrónica. Recuperado el 10 de Enero de 2019, de space.espe.edu.ec/bitstream/123456789/6526/1/108T0193.pdf.
- Vidal, C. (7 de enero de 2008).
<https://carmenvidal.wordpress.com/2008/01/07/lluvias-acidas-posibles-soluciones/>. Obtenido de <https://carmenvidal.wordpress.com>
- Villagómez, J. (2014). *Diseño e implementación de un sistema de video vigilancia*. Loja: Universidad Particular de Loja.
- Waspnote. (s.f.). Obtenido de <https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/waspnote>.

Wikipedia. (15 de Enero de 2019). https://es.wikipedia.org/wiki/Red_de_sensores. (Wikipedia) Recuperado el 15 de Abril de 2019

Wikipedia. (4 de Abril de 2019). <https://es.wikipedia.org/wiki/Zigbee>. Recuperado el 17 de Abril de 2019

Yepez, J. (2016). <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/11917/1/B-CINT-PTG-N.68%20Y%C3%89PEZ%20QUISPE%20%20JUAN%20MIGUEL.pdf>. Recuperado el 5 de Diciembre de 2018, de <http://repositorio.ug.edu.ec>

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Solórzano Plaza, Hugo Arcenio**, con C.C: # 0800391211 autor del trabajo de titulación: **“Desarrollo de un Sistema de Sensores Inalámbricos para monitorear los gases tóxicos emitidos por Refinería de Esmeraldas, incorporados en un Robot Aéreo Móvil”** previo a la obtención del título de **Magíster en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **30 de junio de 2019**

f. _____
Nombre: **Solórzano Plaza Hugo Arcenio**
C.C: **080039121-1**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Desarrollo de un Sistema de Sensores Inalámbricos para monitorear los gases tóxicos emitidos por Refinería de Esmeraldas, incorporados en un Robot Aéreo Móvil		
AUTOR(ES)	Solórzano Plaza Hugo Arcenio		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Msc. Néstor Zamora Cedeño		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
CARRERA:	Maestría en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Magíster en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	30 de junio de 2019	No. PÁGINAS:	140
ÁREAS TEMÁTICAS:	Sistemas de Sensores de Comunicación inalámbricas		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Red de sensores, dron, monitoreo, gases		
<p>Este proyecto está desarrollado según las necesidades que presenta la ciudad de Esmeraldas, cuya población percibe malos olores producidos por la refinería de petróleo, generando conflicto ambiental y daños a la salud de la población. Esta industria utiliza una fuente de energía fósil; inicialmente se utilizó para monitoreo una técnica manual, luego mejoraron con una técnica semiautomática y actualmente se instalaron sensores en cinco partes, dos al interior y tres al exterior y se desconocen los resultados, a pesar de mejorar los procedimientos mediante una repotenciación todavía se perciben malos olores. Esto ha motivado una investigación para monitorizar datos de los gases tóxicos mediante una red ZIGBEE/4g en un dron programado en forma autónoma, operando en: Tolita, Codesa y la Propicia, esto se lo realiza porque uno de los puntos más importantes del plan del buen vivir que impulsa el gobierno nacional a través del ministerio del ramo es la innovación tecnológica y una excelente calidad de vida para los trabajadores, población y prevenir el daño al ecosistema, por ello el objetivo principal de desarrollar una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de gases tóxicos emitidos por refinería de Esmeraldas incorporados en un robot aéreo móvil, desde donde se tomarán las muestras de los gases tóxicos que luego son procesados, almacenados en un módulo XBEE y serán transmitidos vía RF XBEE/4GLTE GPS quien enviara los datos a través de una red celular que tundra servicio de internet TCP/IP.</p>			
	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	
CONTACTO AUTOR/ES:	Teléfono:0982730113	E-mail: ing.hugo.solorzano@hotmail.com	
CONTACTO CON PROCESO UTE):::	Nombre: Romero Paz Manuel		
	Teléfono: +593-994606932		
	E-mail:manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
º. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			