



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DISEÑO DE UN SISTEMA PROTOTIPO PARA EL CONTROL DE ROBOS  
VEHICULARES EN LA CIUDAD DE QUITO MEDIANTE TECNOLOGÍA CON  
REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS Y UN SISTEMA DE CONTROL  
CENTRAL.

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

Profesor guía:  
MSc. Iván Ricardo Sánchez Salazar

Autor:  
José Luis Lascano Swoboda

Año:  
2017

### **DECLARACIÓN PROFESOR GUÍA**

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

---

Iván Ricardo Sánchez Salazar  
Magister en Calidad, seguridad y ambiente  
C.C. 1803456142

## **DECLARACIÓN PROFESOR CORRECTOR**

“Declaro haber revisado este trabajo, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

---

David Fernando Pozo Espín  
Magister en Automática y Robótica  
C.C. 1717340143

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE**

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

---

José Luis Lascano Swoboda

C.C. 1720351458

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, por permitirme culminar un gran objetivo en mi vida, agradezco a mi gran familia, en especial a mi esposa Cristina y mi hijo José Martín por su incondicional amor, apoyo y motivación. A mis amigos del departamento de Innovación y Tecnología Santiago y Dennis por su amistad y sabiduría. Y a mi tutor guía Iván por sus consejos y apoyo en la realización del presente proyecto

José Lascano

## **DEDICATORIA**

A mi hijo José Martín mi motivación la razón de mi esfuerzo y dedicación, a mi esposa Cristina mi compañera de vida, de mis sueños y de mis logros. A mis queridos padres por todo su esfuerzo y a mi gran familia y amigos por su constante apoyo para la realización del proyecto.

José Lascano

## RESUMEN

La presente investigación trata sobre el diseño de un sistema prototipo para el control de robos vehiculares en la ciudad de Quito mediante tecnología con redes de sensores inalámbricos y un sistema de control central. La inseguridad en la ciudad de Quito es un factor que va en un crecimiento los últimos años llegando a un promedio de robos vehiculares de 4,8 al día, siendo el 80% de estos robos a vehículos estacionados. A pesar de constar con distintos tipos de tecnologías como satelitales, bloqueos por SMS, al momento no existe en la ciudad una solución a esta problemática. En base a ello se diseñó e implementó un sistema prototipo mediante redes de sensores inalámbricos que permitan detectar mediante una geo localización los vehículos robados a tiempo real, permitiendo dar un mayor control y seguimiento a los vehículos sustraídos con el fin de poder encontrarlos e interceptarlos mediante los distintos departamentos de control. Se realizó un estudio sobre la tecnología WSN y sus componentes para entender su funcionamiento, manejo de hardware y de software, etc. de tal manera que el diseño del prototipo sea lo más óptimo.

## **ABSTRACT**

The present research deals with the design of a prototype system for the control of vehicle thefts in the city of Quito through technology with wireless sensor networks and a central control system. Insecurity in the city of Quito is a factor that has been growing in recent years, reaching an average of 4.8 vehicles a day, with 80% of these thefts being parked vehicles. Despite the fact that there are different types of technologies such as satellite, SMS blocking, at the moment there is no solution in the city to solve this problem. Based on this, a prototype system was designed using wireless sensor networks that allow the detection of real-time stolen vehicles by geo-location, allowing greater control and tracking of stolen vehicles in order to be able to find and intercept them The different departments of control. A study was carried out on WSN technology and its components to understand its operation, hardware and software management, etc. In such a way that the design of the prototype is the most optimum



# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
Alcance .....	4
Objetivos.....	5
Objetivo general .....	5
Objetivos específicos .....	5
Metodología .....	6
1. Capítulo 1: Redes WSN .....	9
1.1. Introducción a Redes WSN (Wireless Sensor Network).....	9
1.2. Características de las redes WSN .....	10
1.3. Topología de las redes WSN .....	11
1.4. Tipos de redes WSN.....	12
1.5. Componentes de una red WSN .....	13
1.6. Nodos Sensores .....	14
1.7. Tipos de nodos sensores .....	16
1.7.1. Dispositivo cerrado .....	16
1.7.2. Dispositivo abierto .....	16
1.8. Marcas de nodos sensores .....	18
1.8.1. Sigfox.....	18
1.8.2. Digi ( Xbee RF Solutions) .....	19
1.8.3. Libelium .....	20
1.8.4. Nivis.....	22
1.8.5. EpiSensor.....	23
1.8.6. Tarts Sensor .....	24
1.9. Análisis tipo de sensor a utilizar .....	25
1.9.1. Libelium Waspote sensor LoRa .....	26
1.9.2. Xbee RF Solutions.....	27
1.10. Análisis GPS a utilizar .....	31
1.10.1. Módulo GPS Ublox NEO-6M .....	32
1.10.2. Módulo SIM808 .....	33
1.11. Análisis tarjeta a utilizar .....	35
1.11.1. Arduino uno .....	36
1.11.2. Raspberry PI Modelo A .....	37
1.12. Aplicaciones de WSN .....	39

2. Capítulo 2 Análisis de lenguaje de programación .....	41
2.1. Análisis programación nodos Xbee.....	41
2.2. Arduino Software (IDE).....	41
2.3. Software X CTU.....	44
2.4. Análisis Software Final.....	47
2.4.1. Java.....	47
2.4.2. Visual Studio.....	48
3. Capítulo 3 Parámetros dentro del prototipo .....	50
3.1. Módulos Xbee.....	50
3.2. Estructura del prototipo.....	51
3.2.1. Nodo Coordinador .....	52
3.2.2. Nodo Router .....	55
3.2.3. Nodo final .....	58
3.3. Esquema Final del prototipo .....	63
4. Capítulo 4 Diseño e Implementación del Prototipo .....	64
4.1. Implementación del nodo final .....	65
4.2. Implementación del nodo Router .....	68
4.3. Implementación del nodo Coordinador .....	71
5. Capítulo 5 Pruebas y Análisis del Prototipo .....	74
5.1. Pruebas basadas en conectividad de red .....	74
5.2. Pruebas basadas en conectividad del módulo GPS.....	77
5.3. Verificación del Prototipo .....	78
6. Conclusiones.....	80
7. Recomendaciones.....	83
8. Referencias .....	85
9. ANEXOS .....	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Escenario prototipo control vehicular .....	4
Figura 2. Esquema de una red WSN.....	10
Figura 3. Características de una red WSN.....	10
Figura 4. Topologías de Redes WSN.....	12
Figura 5. Componentes de una red WSN .....	14
Figura 6. Características de un nodo sensor.....	15
Figura 7. Componentes de un nodo sensor .....	16
Figura 8. Multisensor Sigfox.....	19
Figura 9. Xbee module .....	20
Figura 10. Waspote with LoRa Radio + 4dBi antenna.....	21
Figura 11. Versa NODE400.....	22
Figura 12. Episensor ES-T desequilibrio acelerómetro .....	23
Figura 13. Wireless Control Sensor.....	24
Figura 14. Software Arduino IDE.....	43
Figura 15. Software XCTU .....	44
Figura 16. Programación módulos Xbee .....	46
Figura 17. Nodo Coordinador.....	52
Figura 18. Distribución de Pines.....	53
Figura 19. Usb explorer xbee .....	54
Figura 20. Nodo Router.....	55
Figura 21. Funduino Xbee Bluetooth Bee for Arduino .....	56
Figura 22. Arduino UNO R3 .....	57
Figura 23. Conexión 2 Nodo Router.....	58
Figura 24. Nodo Final.....	59
Figura 25. Conexión Xbee S2 PRO con Xbee shield .....	60
Figura 26. Conexión 2 Nodo Final.....	61
Figura 27. GPS NEO6M.....	61
Figura 28. GPS NEO6M.....	62
Figura 29. Modelo final del prototipo .....	63
Figura 30. Configuración Nodo Final.....	65
Figura 31. Configuración Nodo Final.....	66
Figura 32. Trama generada por GPS .....	67
Figura 33. Manejo de datos nodo final .....	67
Figura 34. Caja de Nodo Final.....	68
Figura 35. Configuración Xbee Router AT .....	69
Figura 36. Configuración Nodo Router.....	69
Figura 37. Caja Nodo Router.....	70
Figura 38. Configuración Xbee Coordinador .....	71
Figura 39. Sistema Central.....	72
Figura 40. Sistema Central Bloques.....	73
Figura 41. Pruebas de conectividad de la red .....	74
Figura 42. Pruebas de conectividad de la red fotos reales.....	75

Figura 43. Pruebas de conectividad de la red – Espacios cerrados.....	76
Figura 44. Pruebas de conectividad de la red – Clima .....	77
Figura 45. Pruebas de conectividad de GPS.....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de Ponderación .....	25
Tabla 2. Análisis Matriz comparativa de nodos .....	30
Tabla 3. Análisis Matriz comparativa de GPS .....	34
Tabla 4. Análisis Matriz comparativa de Módulos .....	38
Tabla 5. Pantalla principal XCTU .....	45
Tabla 6. Matriz comparativa Software final .....	49
Tabla 7. Análisis nodos Xbee .....	51
Tabla 8. Pines conexión módulo Xbee S2 PRO .....	57
Tabla 9. Pines conexión GPS NEO6M con Arduino .....	62
Tabla 10. Estructura del Prototipo .....	64

## INTRODUCCIÓN

“De acuerdo a lo establecido en la Constitución de la República y en la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Transito y Seguridad Vial, el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, asume por medio de la Agencia Metropolitana de Transito (AMT); las competencias en la seguridad vial en la ciudad.” Resolución N° A0006 (2013, Art.30.2)

Misma seguridad que se ha visto amenazada con un factor clave que ha venido en incremento los últimos años que es el robo de vehículos.

“Según estadísticas del Observatorio Metropolitano de Seguridad en Quito (OMSC), el robo de carros registró un incremento en el 2012. En los primeros 11 meses se reportaron 1 933 denuncias, mientras que en el 2011 hubo 1819 casos en todo el año.” (El Comercio, 2012)

En el 16° informe de Seguridad Ciudadana, el OMSC señala que el 92% de robos de autos ocurre en la vía pública. El 8% restante se registra en estacionamientos, locales comerciales y “otros lugares”. (El Comercio, 2012).

Considerablemente este es un factor que va en crecimiento y las medidas que han tomado los usuarios han sido incrementadas, como por ejemplo:

- Seguros satelitales para vehículos a un alto costo.
- Controles satelitales para grupos de carros específicos y bajo ciertas características.

- Planes alternos de seguros de robo de vehículos con geo localizaciones pero de igual forma a un alto costo
- Manejo central por parte del Gobierno a través de las cámaras del ECU 911 para un mayor seguimiento y control

Frente a esta situación que todavía no se ha logrado controlar y con el aumento de los robos vehiculares y medios de transporte ha generado un flujo de problemas e inseguridad difícil de manejar, en las distintas ciudades, sin considerar el momento de financiero que atraviesa nuestra sociedad.

Las medidas para el control vehicular utilizan distintos tipos de tecnología para la localización y control de vehículos tales como equipos Satelitales, GPS, plataformas GPRS, sin embargo al momento no se encuentran desarrollado ninguna aplicación con tecnología incorporando sensores inalámbricos que es el fin de este proyecto.

De acuerdo con cifras que maneja la Comandancia del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) el año que terminó se registró, entre enero y diciembre, 1.753 robos de carros, 94 más que los que se produjeron en el mismo periodo del 2013 en la capital. Un promedio de 4,8 diarios. (Rueda, 2015)

Ramiro Ortega, jefe de la Policía Judicial (PJ) de Pichincha, señaló que la mayoría de automotores son sustraídos en la vía pública. Un estudio del Observatorio de Seguridad Ciudadana del DMQ dice que cerca del 80 % son robados cuando se los parquea en la calle. (Rueda, 2015)

Para frenar este factor de ascenso en Quito, se profundizará la investigación con el fin de detectar a organizaciones delictivas y desarticularlas, indicó Ortega. (Rueda, 2015)

En la actualidad el Municipio busca la manera de controlar el robo vehicular en la ciudad, a pesar de los proyectos no han satisfecho las necesidades de los ciudadanos, especialmente en el aumento considerable de cifras de robos en los últimos años, se continúan buscando más proyectos con el afán de dar solución a este problema.

El presente proyecto busca incorporar un sistema de monitoreo y control vehicular mediante el uso de sensores inalámbricos, transmisión de la localización de un vehículo a un sistema central mismo que en un desarrollo mucho mayor puede ser adaptado a las necesidades de entes especializados en el Control vehicular, como puede ser el ECU911, la AMT entre otras.

Al utilizar una de red WSN, se está promocionando una nueva tecnología en el monitoreo vehicular que brinda cierto tipo de ventajas sobre el resto de tecnologías tales como el costo de la propia tecnología pues a diferencia de las existentes es más accesible a los ciudadanos.

Una importante ventaja que tiene este tipo de redes es la adaptabilidad al movimiento y ahorro de batería que tienen los nodos sensores compartiendo una red esquematizada de nodos permitiendo tener un histórico de localizaciones correspondiente a las coordenadas en un lapso de tiempo.



## Alcance

Diseño e implementación de un prototipo para monitorear vehículos ante robos que se encuentra basado en el uso de redes de sensores inalámbricos Xbee.

Para el diseño del prototipo la red de sensores Xbee se conectará a un nodo central que canalizará la información al software central con la información de las coordenadas e identificación de datos del vehículo hacia un software central.

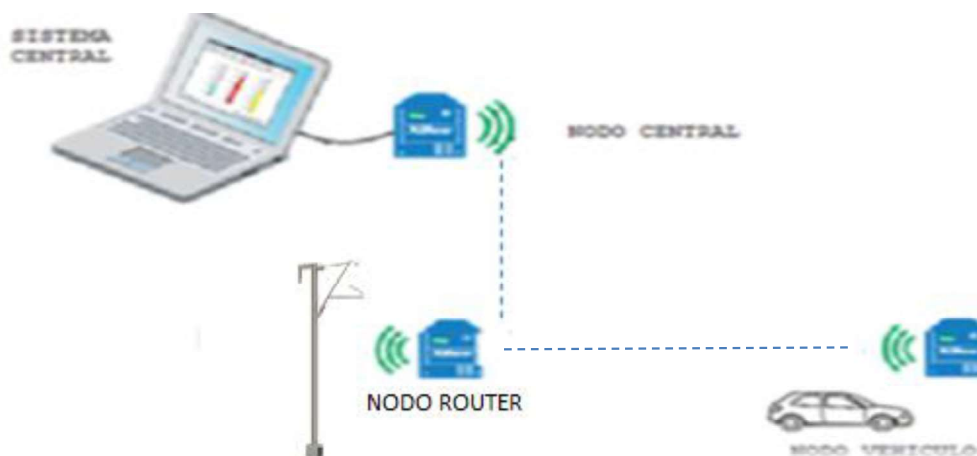


Figura 1 Escenario prototipo control vehicular

Al ser sustraído el vehículo el dueño se comunicará con el sistema central para dar una notificación de lo acontecido. Para ello el sistema estará en la capacidad de realizar una búsqueda del nodo que se encuentra perdido (siempre y cuando se encuentre dentro del área de cobertura del nodo central), mismo que generará una coordenada GPS detallando la información en donde

se encuentra el vehículo para una posterior envío de ayuda a las entidades pertinentes

Dentro del sistema central se manejarán los siguientes segmentos:

- Conectividad con los nodos involucrados en la simulación.
- Interfaz gráfica: Dentro de esta pantalla podrá revisar las coordenadas emitidas por los sensores para la correspondiente geo localización
- También dentro de la interfaz gráfica se encontrará un mapa de para la geo localización.

El fin de este pequeño prototipo es utilizar mediante la localización el nodo perdido y poder revisarlo en la herramienta de la estación central. Adicional a esto se podría conocer las ubicaciones por donde el nodo fue identificado, se puede elaborar un registro de seguimiento con la actualización periódica de las coordenadas como una mejora.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Diseño e implementación de un prototipo para monitorear vehículos ante robos mediante el uso de una red de sensores inalámbricos y un sistema central.

### **Objetivos específicos**

- Analizar la información correspondiente a Tecnología Xbee, GPS y micro controladores para el desarrollo del prototipo.

- Analizar el lenguaje de programación que se ajuste a las necesidades de la interpretación y captación de datos de los nodos Xbee.
- Identificar parámetros tanto tecnológicos como de programación para el sistema a implementarse.
- Diseño del prototipo con los parámetros identificados tecnológicos y de programación.
- Implementación del prototipo mediante los equipos tecnológicos y el lenguaje programación.
- Pruebas del funcionamiento del sistema acorde a los alcances establecidos.

### **Metodología**

Durante la realización de la presente propuesta del prototipo se utilizaron principalmente 2 métodos para el diseño de la red WSN y el sistema central.

Se emplea el método exploratorio a fin de obtener toda la información necesaria sobre los proveedores tecnológicos que se dedican a desarrollar productos específicamente para redes WSN, muchas de ellas ofreciendo gran cantidad de dispositivos así como su respectivo software para la correspondiente consolidación de red donde se basó en justificar la tecnología que más se adapte a las necesidades del prototipo

Además será necesario estudiar las funciones y el diseño de red con nodos Xbee a partir de lo cual se obtendrán datos necesarios para el desarrollo de software que permita localizar el nodo mediante GPS y la forma de canalizarlo.

Posteriormente se aplicará el método experimental siguiendo los procedimientos para que el diseño de la red mediante sus respectivos nodos, módulos GPS permitan generar un control de identificación por coordenadas. Además del desarrollo de software de localización de nodos y sistema para encontrar coordenadas.

Finalmente permitirá una evaluación técnica entre los métodos de captura y procesamiento de los datos enviados por los respectivos nodos

Una de las ventajas que ofrece el sistema de redes de sensores inalámbricos WSN es su manejo y la interoperabilidad que tiene con varios elementos electrónicos desarrollados por otros proveedores, por lo tanto el sistema puede ir creciendo con el avance de la tecnología, sin dejar enormes brechas entre versiones antiguas y nuevas.

El sistema de la base central es el software que permitirá recibir la información de la red de nodos sensores; este se desarrollará en función de poder interpretar los datos enviados por los nodos finales a un sistema que permita ver directamente las coordenadas de posicionamiento del vehículo robado.

El prototipo será realizado mediante nodos Xbee y el desarrollo de captura de información estará centralizado en la base central. En caso de una futura implementación del proyecto dentro de la ciudad de Quito, se deberán elaborar ajustes tanto en dispositivos Xbee, sensores GPS, servidores, aplicación, base de datos que justamente permitan brindar el servicio a todos los ciudadanos que posean vehículos y quieran registrarse. De igual forma se conectaría y tramitaría con un organismo específico para mejoras

en la aplicación y control vehicular, por el momento todo estará desarrollado a pequeña escala.

El fin de este proyecto es determinar la posición de un dispositivo que se encuentra en un vehículo a partir de una WSN formada por nodos sensores. Para ello se tomarán los datos de las coordenadas capturadas con el fin de poder interpretarlas en un sistema central. Finalmente se analizarán los resultados del posicionamiento obtenido con el sistema.

## 1. Capítulo 1 Redes WSN

### 1.1. Introducción a Redes WSN (Wireless Sensor Network)

Las redes de sensores inalámbricos han ido en una constante evolución adaptándose a las necesidades de los usuarios inclusive promocionando nuevas ventajas en el ámbito tecnológico, industrial, medicinal, comercial entre otros.

Las redes WSN (Wireless Sensor Networks) son asociaciones de nodos sensores desplegados en un espacio específico con el objetivo de realizar una medición o monitoreo de algún factor establecido como temperatura, humedad, ruido, movimiento, contaminación entre otros. Normalmente se encuentran equipados con uno o más equipos transductores que permiten realizar efectivamente dichas mediciones.

*“Este tipo de redes poseen dispositivos de bajo costo y consumo como son sus nodos, los cuales son capaces de obtener la información de su entorno y procesarla, para transmitirla mediante enlaces inalámbricos a un nodo central de coordinación. Además también se puede encontrar el tipo de nodos repetidores encargados de encaminar los datos hacia la estación base que se encuentra conectada a un ordenador. Este es su principio básico de funcionamiento”.* (Barcell, 2014).

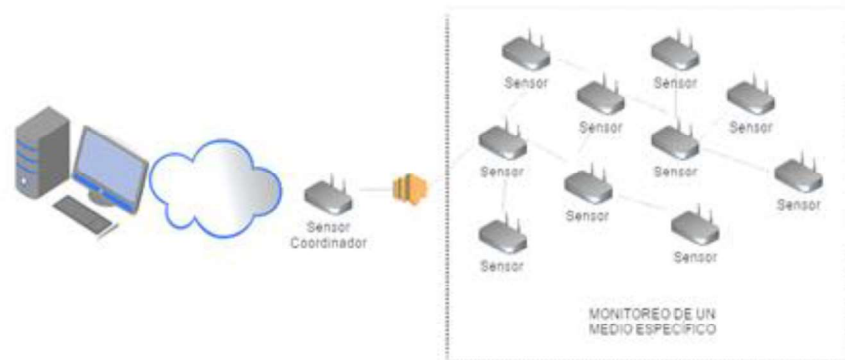


Figura 2 Esquema de una red WSN

### 1.2. Características de las redes WSN

Al momento de realizar el diseño una red WSN hay que tener en cuenta las siguientes características propias de la red que son los detallados en la Figura 3 “Características de una red WSN”



Figura 3 Características de una red WSN

El orden de las características previamente descritas, tienen una prioridad determinada por el tipo de sensor a seleccionar y destinado por su correspondiente funcionalidad ya que dependiendo de esta se podría categorizar y ponderar sus características.

Los nodos utilizan potencias de transmisión muy pequeñas y tienen un consumo energético mínimo. Esto permite que se alimenten con una simple pila o con una pequeña célula solar. Al ser un sistema inalámbrico, la instalación es rápida. La capacidad de enrutamiento propia de las redes malladas se realiza de forma automática y transparente al usuario. Cada nodo localiza a los que tiene a su alcance, y selecciona el mejor para utilizarle como repetidor de la señal. En caso de que se interrumpa la ruta de comunicación, los nodos buscan de nuevo a otros nodos cercanos y rehacen las rutas de datos en cuestión de segundos, todo ello sin que el usuario se dé cuenta. Esto garantiza que todos los datos medidos llegan en tiempo real a su destino y no se pierde información. (Delgado, Hurtado, Pinto, Rodríguez, & Tristán, 2010)

Cada una de estas características obedece a especificaciones técnicas dentro de cada uno de los productos ofertados por distintos fabricantes. Mismos que se procederán a detallar en un análisis comparativo.

### **1.3. Topología de las redes WSN**

Debido a la movilidad o desplazamiento de los sensores se puede encontrar relacionada con una topología de red dinámica, ya que los nodos aparecen movilizándose constantemente dentro de la red, sin embargo por definición son consideradas tres tipos de topologías de red.

- Topología de estrella, posee una conexión directa del nodo al gateway.
- Topología de árbol, los nodos se conectan a un nodo de mayor jerarquía (Router) y posteriormente al nodo gateway, los datos son enviados desde el nodo final a través del Router hacia el gateway.
- Topología Malla (Mesh), en este tipo de topología los nodos se pueden conectar entre sí en la red y enviar los datos por el camino disponible de



mayor confiabilidad. En enlace malla es referido como un ruteador (National Instruments, 2009). Se puede observar un ejemplo en la Figura 4 “Topologías de Redes WSN”

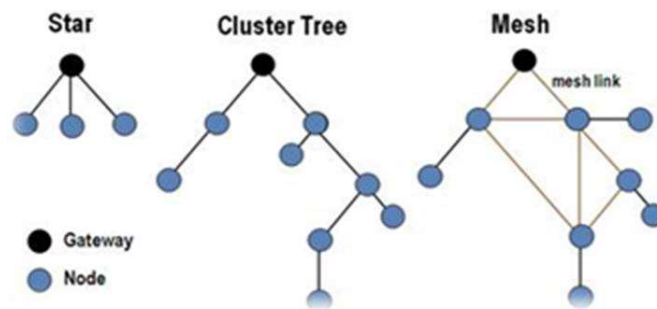


Figura 4 Topologías de Redes WSN

Tomado de (National Instrumets, 2009)

#### 1.4. Tipos de redes WSN

Existen dos tipos de redes WSN, si es basado por el posicionamiento de sus nodos:

- Estructuradas
- No estructuradas

*Una WSN no estructurada consiste en una red de sensores que contiene una colección densa de nodos, pudiendo ser desplegados de una manera aleatoria en el entorno. Una vez desplegada, la red queda desatendida realizando las funciones para las que se diseñó. En este tipo de WSN, tanto el mantenimiento*

*de funciones de red como la conectividad y fallos en la detección, es difícil debido a la gran cantidad de nodos presentes.*

*Por otro lado, en las WSN estructuradas, todos o algunos de los nodos son colocados en posiciones predefinidas. La ventaja de este tipo de redes es que los nodos pueden ser desplegados con un menor coste de gestión y mantenimiento de red. Además, se necesitan menos nodos en el despliegue ya que éstos se colocan en posiciones específicas para proporcionar la cobertura deseada, mientras que en despliegues aleatorios pueden quedar regiones sin cobertura. (GUERRERO, 2009)*

Las redes de sensores inalámbricos se caracterizan por manejar una frecuencia de 2.4 GHz (sin embargo existen dispositivos para 868 MHz y 900 MHz), poseen una velocidad de transmisión de datos de 250 kbps. Este tipo de tecnología es diseñada para aplicaciones o funciones con cortos periodos de actividad, de manera que los equipos (nodos) realizan una medida o capturan información, posteriormente la transmiten y nuevamente regresan a su modo reposo, permitiendo así disminuir el consumo energético medio. (Delgado, Hurtado, Pinto, Rodríguez, & Tristán, 2010)

### **1.5. Componentes de una red WSN**

Los componentes de una red WSN, son básicamente los siguientes Figura 5 “Componentes de red WSN”:

SENSORES	NODOS DE SENSOR:	GATEWAY:	ESTACIÓN BASE:	RED INALÁMBRICA:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elementos que permiten capturar la información específica y la convierten en señales eléctricas. Tenemos variedad de tipos de sensores con características propias y tecnologías.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elementos que toman los datos del sensor a través de sus puertas de datos, y envían la información a la estación base o Gateway.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elementos para la interconexión entre la red de sensores y una red establecida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recolector y procesador de datos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basada en el estándar 802.15.4</li> </ul>

Figura 5 Componentes de una red WSN

*“Los nodos actúan como elementos de la infraestructura de comunicaciones al reenviar los mensajes transmitidos por nodos más lejanos hacia al centro de coordinación. La red de sensores inalámbricos está formada por numerosos dispositivos distribuidos espacialmente, que utilizan sensores para controlar diversas condiciones en distintos puntos, entre ellas la temperatura, el sonido, la vibración, la presión y movimiento o los contaminantes. Los sensores pueden ser fijos o móviles”.* (Barcell, 2014)

### 1.6. Nodos Sensores

De igual forma las principales características que destacan los nodos sensores son los siguientes, Figura 6. “Características de un nodo sensor”:



Figura 6 Características de un nodo sensor

*Un nodo WSN contiene varios componentes técnicos. Estos incluyen el radio, batería, microcontrolador, circuito analógico y una interfaz del sensor. Cuando se utiliza la tecnología WSN, se debe tener consideraciones importantes. En sistemas alimentados con batería, altas tasas de datos y uso frecuente de radio consumen mayor energía. Para extender la vida de la batería, periódicamente un nodo WSN se enciende y transmite datos alimentándose de la respectiva fuente y posteriormente apagándose para conservar energía. La tecnología WSN puede generar la transmisión de una señal y permitir al sistema regresar al modo sleep con un uso mínimo de energía. Esto significa que el procesador involucrado debe ser capaz de despertar, encenderse y volver a sleep de manera eficiente. (National Instruments, 2009) Figura 7 “Componentes de un nodo sensor”*

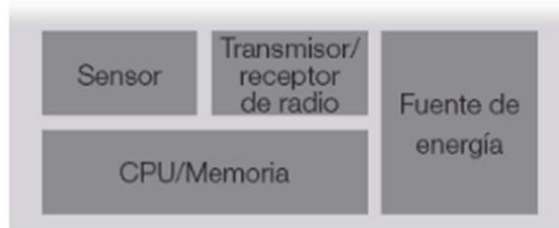


Figura 7 Componentes de un nodo sensor

Tomado de (Fernández M., s.f.)

### 1.7. Tipos de nodos sensores

A grandes rasgos en el mercado se pueden encontrar 2 tipos de nodos de comunicación:

#### 1.7.1. Dispositivo cerrado

- ✓ Son dispositivos con una cubierta pre-establecida por el fabricante, que contiene conexiones externas pre-determinadas para un número definido de sensores, y para una tipología específica. Dentro de sus características se puede señalar que son dispositivos fácilmente configurables y de factible mantenimiento. Y en el supuesto caso de un reemplazo de los sensores que muestre fallas, no se requeriría la apertura del mismo, más bien cambiar las conexiones externas. (Sensor, 2014)

#### 1.7.2. Dispositivo abierto

- ✓ Son dispositivos contruidos primordialmente por una placa del micro controlador y un correspondiente sensor. Dentro de sus características presenta un manejo más configurable y versátiles que los dispositivos

cerrados, al dar mayor libertad de configuración pero con el problema, que el mantenimiento y sustitución de los sensores, placa solar o baterías no sería directo y por tanto, tan fácil como ocurre con el dispositivo cerrado. (Sensor, 2014)

En cuanto al costo del dispositivo , a pesar que el “dispositivo cerrado” se puede evidenciar que es más costoso que el “dispositivo abierto”, el costo adicional de las cubiertas, las conexiones de los diferentes elementos y el tiempo necesario para su ensamblaje, al final incrementa el costo del mismo superando ligeramente la primera opción. (Sensor, 2014). Sin embargo es considerable concluir la función que va a tener el dispositivo dentro de la red con el fin de conocer si se va a necesitar una configuración estándar o una más elaborada.

Respecto a los sensores de tipo abierto, su elección dependerá de la aplicación final y de la precisión requerida tomando en cuenta las características que pueden brindar estos dispositivos como (frecuencia, cobertura de distancia, función dentro de la red, batería, capacidad de comunicación, costo, entre otros) (Sensor, 2014).

Para la implementación del prototipo a utilizar en el proyecto es necesaria una correspondiente programación del sensor y analizar los datos que se desea extraer, por tanto en la elección del tipo de nodo debe cumplir la característica de ser dispositivo abierto con el fin de poder otorgar una configuración específica para la captura de datos de geo referencia.

A la hora de diseñar aplicaciones para los nodos de WSN hay que tener en cuenta que cada nodo tiene capacidades limitadas de procesamiento,

almacenamiento, comunicación, frecuencia, potencia, distancia, energía y la principal característica que se pueda acoplar al fin del presente proyecto.

A continuación se procede a detallar ciertos conceptos de sensores inalámbricos que se podrían considerarse para la realización del actual proyecto. Entre estos conceptos se encuentran la elección de la tecnología que se acople mucho mejor a las características que son necesarias en el prototipo acorde a las funcionalidades que se necesitan para el desarrollo del mismo.

### **1.8. Marcas de nodos sensores**

El gran impacto que han tenido las redes WSN a nivel mundial e industrial ha sido bastante importante por tal motivo muchas empresas importantes han invertido en la elaboración de este tipo de productos, debido a la tendencia y la adaptabilidad a las nuevas tecnologías por ejemplo el IoT (Internet de las Cosas) cada vez toma mayor impulso y penetración en el mercado. Hoy en día, las empresas están creando una increíble variedad de sensores inalámbricos con distintas características por ejemplo, mayor cobertura de la señal o acceso a la misma, baterías con más vida para los sensores. Como una conclusión importante el Internet de las cosas se encuentra entre nosotros, y mediante el uso de este tipo de tecnología entre otras permite la explotación e investigación en proyectos que permitan incorporar tecnología con procesos cotidianos. Dentro de las principales empresas se encuentran las siguientes:

#### **1.8.1. Sigfox**

Es una empresa cuya función es brindar soluciones de conectividad celular mundial para el Internet de las cosas. Esta tecnología fue pensada para comunicaciones de baja velocidad, de bajo costo y bajo consumo de energía para los dispositivos conectados. Trabaja con fabricantes como Texas Instruments, Atmel, Silicon Labs y otros. Con el fin de poder ofrecer distintos

tipos de SOC, transceptores y componentes de conexión a su red. En el caso de los nodos sensores inalámbricos presenta una excelente variedad de nodos configurables en muchos casos y otros ya definidos desde fábricas, para el correspondiente uso, se debe contar con una habilitación de licencias para la configuración de los nodos finales. Figura 8 “Multisensor Sigfox”



Figura 8 Multisensor Sigfox

Tomado de (Sigfox, 2011)

### 1.8.2. Digi ( Xbee RF Solutions)

Digi International es líder mundial en conectividad inalámbrica y sensorial, gracias a una amplia variedad de productos tales como servidores de dispositivos integrados, externos, terminales, dispositivos para administración de consola, adaptadores asíncronos, y de forma más actual, circuitos integrados, con conexiones de forma local o remota, con características de un número prácticamente ilimitado de dispositivos o usuarios a redes de área local (LAN), sistemas multiusuarios e Internet. (DIGI, 2007)



Los productos de conectividad inalámbrica de Digi utilizan redes móviles, Wi-Fi, ZigBee, RF propietaria y satélite con el objetivo de simplificar el cableado, incrementar la movilidad del dispositivo final y permitir la administración de dispositivos remotos, sensores inalámbricos en distintos tipos de redes.

Los dispositivos utilizados dentro de este tipo de soluciones tecnológicas son los módulos Xbee los cuales son programables para desempeñar funcionamiento detallados por el programador, utilizan frecuencias de 2,4 GHz y alcanzan áreas de cobertura hasta 1,5km dependiendo de su correspondiente serie.



Figura 9 Xbee module

Tomado de (DIGI INTERNATIONAL, 2012)

### 1.8.3. Libelium

Una empresa que ofrece una potente, modular, adaptable y fácil plataforma de sensores de código abierto (dispositivos abiertos) para distintas funciones y desarrollos como ejemplo el Internet de las cosas que permiten integrar distintas tecnologías y sistemas para implementar Smart Cities fiables y soluciones M2M con el mínimo tiempo al mercado para programar.

Su plataforma y dispositivos versátiles permiten la ejecución de cualquier red de sensores inalámbrica, desde manejos de riego inteligente hasta localización de pacientes en un hospital. La empresa está presente en 75 países.

Uno de sus dispositivos configurables es el “Wasp mote with LoRa Radio + 4dBi antenna”. El cual es un dispositivo abierto que permite la adaptabilidad de distintos sensores, GPS, y micro controladores con el fin de unirlos en una red para un objetivo específico. El inconveniente en el mercado ecuatoriano es la disponibilidad y acceso a esta marca del sensor debido a su costo e importación



Figura 10 Wasp mote with LoRa Radio + 4dBi antenna

Tomado de (Libelium I, 2014)

#### 1.8.4. Nivis

Es una empresa considerada como la líder mundial en redes seguras y abiertas específicamente en estándar inalámbrico de detección y control. Posee una flexibilidad completa para configurar su red con los estándares más innovadores. Tiene una gama de productos, basados en la protección de propiedad intelectual y un complemento eficiente, flexible, en la producción y la consolidación de entrega. Mantiene una relación sólida con más de 20 fabricantes principales de redes inteligentes y sistemas de producción tecnológica a nivel mundial.

Los distintos productos se caracterizan en estándares de comunicaciones inalámbricas, como los nodos de radio, routers, gateways y software de gestión como de aplicación, y una importante librería de software para las comunicaciones nativas. Centrados en la tecnología de redes inteligentes, como el crecimiento del "Internet de las cosas".

Uno de los dispositivos importantes para la configuración de nodos sensores es el nodo "Versa NODE400".



Figura 11 Versa NODE400

Tomado de (Nivis, s.f.)

### 1.8.5. EpiSensor

Es uno de los principales proveedores de sensores inalámbricos de tipo dispositivo cerrado considerado fácil de implementar, seguro y fiables.

Su plataforma tiene como características la eficiencia, reducir costos y mejorar la sostenibilidad de los nodos sensores. Los datos producidos por sus sistemas pueden dar distintas funcionalidades tales como la vigilancia, control y automatización. Los productos de EpiSensor son de confianza de algunas de las organizaciones más seguras del mundo. Para el medio ecuatoriano al acceso e importación a esta marca de sensores está restringida al costo e importación del mismo. Uno de los sensores más utilizados para la movilización de vehículos es el “EpiSensor ES-T desequilibrio acelerómetro”.



Figura 12 EpiSensor ES-T desequilibrio acelerómetro

Tomado de (Kinematics, s.f.)

### 1.8.6. Tarts Sensor

Es una empresa que ha ido en constante evolución en su producción de dispositivos abiertos, sensores programables y una plataforma de software para sensores inalámbricos compatibles con un interesante programa de desarrolladores donde se dan soluciones utilizando plataformas abiertas como Arduino, Raspberry Pi y Beaglebone Black.

Tarts sensor permite que los desarrolladores y en general al público, la capacidad de desarrollar software para redes de sensores inalámbricos con características y comportamientos totalmente personalizables. Basta con elegir una puerta de entrada de sensores inalámbricos para su plataforma de desarrollo preferida (Arduino, Raspberry Pi) y cualquiera de más de 20 diferentes tipos de sensores inalámbricos. El inconveniente de este tipo de sensores es el acceso, importación y costo en el mercado ecuatoriano. Uno de los dispositivos que muestra mayor versatilidad para su configuración y desarrollo es el “Wireless Control Sensor”.



Figura 13 Wireless Control Sensor

Tomado de (Tarts Sensor, s.f.)

Existen muchas más empresas actualmente con la funcionalidad de crear, vender y desarrollar sensores inalámbricos como se puede observar las aplicaciones son numerosas e innovadoras se han colocado algunas de ellas.

### **1.9. Análisis tipo de sensor a utilizar**

Para la elección del tipo de tecnología a utilizar en el proyecto es necesario filtrar las empresas o proveedores que oferten productos que cumplan las características que necesita el prototipo como la programación del nodo, captación de datos, implementación de red, acceso dentro del medio ecuatoriano, costo entre otros.

Para ello se procede a evaluar que tecnología será la seleccionada en el prototipo mediante un análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas) acorde a las necesidades presentadas en el proyecto. Se procedió a seleccionar dos tipos de nodos sensores mismos que son de característica abierta, es decir programables y que son muchos más accesible dentro del mercado ecuatoriano.

Una vez revisadas las características de cada uno de los productos se procede a evaluar el mejor producto con la siguiente tabla de ponderación. Tabla 1 “Tabla de Ponderación”

Tabla 1. Tabla de Ponderación

<b>Detalle</b>	<b>Calificación</b>
<b>Excelente</b>	4
<b>Muy Bueno</b>	3
<b>Bueno</b>	2
<b>Malo</b>	1

### 1.9.1. Libelium Wasmote sensor LoRa

Los Wasmote sensor LoRa son nodos sensores están diseñados para desplegar una gran red de sensores inalámbrica y conectar cualquier sensor utilizando cualquier protocolo de comunicación inclusive a cualquier sistema de la nube. El protocolo de comunicación más común y que utiliza este nodo es LoRa y extiende la conectividad inalámbrica para que los sensores de Wasmote pueden transmitir datos a distancias de varias millas (15 millas), a través de los edificios, y más de 20 millas en espacios abiertos .

Muestran una alta sensibilidad de -138dBm de Lora, adicional a esto el módulo puede recibir paquetes de datos transmitidos a través de condiciones difíciles y enlaces largos, lo que reduce los costos de cobertura para usos urbanos. (Libelium, 2014). Dentro de las principales características de este tipo de nodo son las siguientes:

- Alto alcance desde 15 millas en espacios con obstáculos y 20 millas en espacio libre.
- Sensibilidad de -138 dBm
- Manejo de Protocolo LoRA
- Alto costo del kit Developer incluyendo la importación del mismo ya que no se encuentran en el mercado ecuatoriano.
- Dificil accesibilidad al medio (compra del artículo), y programación del nodo (licencias).
- Alto costo de licencias para la programación.
- Posee una captación correcta de los datos, esta a su vez está relacionada con la distancia entre nodos de la red.

- Mediante una correcta configuración y ubicación de los nodos, permite tener una red con tiempos de respuesta más rápidos, y con un alto rendimiento especialmente para comunicaciones punto a punto.
- La administración de software del módulo tiene las siguientes características:
  - API de código abierto proporcionado
  - Dos modos de trabajo - 868 o 900/915 MHz
  - Biblioteca de cifrado AES de 256 bits disponible
  - Licencia necesaria para la conectividad entre el Waspnode y el sensor Libelium.

#### 1.9.2. Xbee RF Solutions

Xbee sensor perteneciente a DIGI International, ofrecen conectividad de dispositivos abiertos y programables con adaptabilidad para distintos sensores como GPS, temperatura, hidratación, contaminación entre otros. El manejo de frecuencia de estos nodos es de 2.4 GHz. Estos módulos pueden utilizar el protocolo de transmisión de datos Zigbee para nodos de menor costo y de mayor adaptabilidad a los proveedores o vendedores es ideal si se busca una implementación de red simple funcionamiento. Adicional de su fácil acceso en el medio ecuatoriano y de programación del mismo.

Los módulos Xbee son ideales para aplicaciones de baja potencia, y de bajo costo. Dentro de la gama de módulos Xbee se puede encontrar distintas versiones como lo son los módulos XBee-PRO que poseen algunas mejoras como mayor potencia para aplicaciones de rango extendido y mayor cobertura. Parte de la familia de productos de RF XBee, se caracterizan por ser fáciles de usar y de ubicarse en un espacio común, además cabe recalcar que son totalmente compatibles con otros productos XBee de la misma versión y





utilizan la misma tecnología. Por lo tanto dentro de la consolidación de una red tiene una capacidad de sustituir un Xbee con otro, generando un menor tiempo de desarrollo y de riesgo. Algunas de las características del Nodo Xbee se detallan a continuación:

- Poseen un software programable sin necesidad de licencias o de algún costo extra.
- Permiten la conectividad fácil con microprocesadores para el desarrollo de aplicaciones ZigBee o de redes inalámbricas.
- El diseño del dispositivo permite un correcto montaje con otros circuitos o dispositivos por lo que es considerado con un diseño flexible.
- Potencia de enlace de -110 dB para XBee y -119 dB para XBee-PRO
- Líder en la industria actual en el manejo y venta de sensores inalámbricos
- Manejo para todas las topologías de red
- Antenas con frecuencia de 2.4GHz y potencia de 2dBi / 5dBi
- Encriptación AES 128b y un control de señal RSSI
- Manejo de Protocolos: XBee-802.15.4 - 802.15.4 g Compliant
- Mediano costo del kit Developer incluyendo el shield de conexión
- Accesibilidad al medio ( compra del artículo en el mercado ecuatoriano)
- Manejo o mantenimiento de la batería dependerá de la utilización en la aplicación con el circuito correspondiente
- Fácil uso y entrega fiable de datos entre dispositivos.
- Pequeño tamaño.
- No está configurado para ningún nivel de aplicación específico.
- Manejo accesible de software XCTU. Posee un software de programación gratuito y se puede descargar de la propia web del fabricante

Una vez revisados las características de ambos dispositivos, es necesario determinar cuál dispositivo se acopla de mejor forma a la implementación del prototipo, se debe tener en cuenta que características son necesarias dentro de la red inalámbrica como alcance, programación del nodo sensor, costo, manejo del dispositivo dentro de la red, entre otros.

Para poder determinar que nodo sensor se utilizará en el prototipo, se procedió a realizar la siguiente tabla de comparaciones basadas en las características detalladas en el análisis FODA de cada uno de los componentes.

Tabla 2. Análisis Matriz comparativa de nodos

Matriz FODA	Características del prototipo	Nodo Libellium	Nodo Xbee
		 Waspote con antena de radio LoRa + 4dBi	 Xbee S2PRO
<b>Fortalezas</b>	Sensibilidad	4	3
	Frecuencia a la que opera el nodo	4	4
	Alcance	4	3
	Programación del Nodo Sensor	2	4
	Adaptabilidad con otros circuitos	3	4
<b>Oportunidades</b>	Manejo de Software	3	4
	Implementación del producto con otros circuitos	3	4
	Manejo de programación de nodos API y AT	4	4
	Manejo de consumo de batería	4	4
	Manejo de la topología de red	4	4
<b>Amenazas</b>	Manejo de Protocolo de comunicación	2	4
	Costo del nodo	2	3
	Manejo en espacios cerrados	4	3
	Licencia de Manejo de programas	2	4
	Adaptabilidad del software en el medio ecuatoriano	2	4
<b>Debilidades</b>	Movilidad de los nodos finales en la red	4	4
	Seguridad del dispositivo	4	3
	Acceso al medio (Ecuatoriano)	1	3
	Calibración de los nodos sensores	2	3
	Mantenimiento del sensor	3	4
		<b>61</b>	<b>73</b>

Analizando las características del sistema prototipo se procederá a realizar el proyecto mediante una red de nodos Xbee ya que al cumplir un mayor número de fortalezas y oportunidades, por ejemplo el uso de frecuencias, manejo de software y programación de nodos, con un menor costo del dispositivo y accesible en el medio ecuatoriano es el módulo que presenta las mejores características para la implementación del prototipo. Las amenazas y debilidades son viables de solventar dentro de la implementación. El medio de acceso a la configuración de los dispositivos Xbee permite transmitir datos dentro de una red inalámbrica. Sin embargo para la transmisión de datos es necesario un complemento dentro del kit como lo son los GPS los cuales brindarán los datos (latitud y longitud) que serán transmitidos por la red del prototipo, a continuación se procede a detallar el análisis de GPS a utilizar en el proyecto

#### **1.10. Análisis tipo de GPS a utilizar**

A pesar que Xbee ya oferta un producto integrado como lo es el GPS bee que es la unión de ambas funcionalidades (Xbee y GPS), el principal inconveniente es la adquisición en el mercado ecuatoriano, por tal motivo para la consolidación del nodo sensor se procederá a incluir un GPS externo que permita la unión de ambos dispositivos y la implementación de la red WSN.

El modulo GPS es un dispositivo que permite capturar un conjunto de datos respecto a la posición de un objeto en la superficie de la Tierra. Su funcionamiento es mediante una red de satélites y dispositivos terminales que permiten obtener datos como hora, latitud, longitud, entre otros Estos datos pueden ser decodificados y posteriormente analizados o procesados mediante distintos tipos de sistemas terminales. En la implementación del proyecto es fundamental la captura de los datos recibidos en el GPS y la transmisión de los mismos con la ayuda de los dispositivos Xbee para posteriormente enviarlos a

un PC terminal donde se procesen y sean desplegados en una interfaz de usuario.

Para la elección del dispositivo GPS se deben considerar las características necesarias conociendo que este se debe integrar con el dispositivo Xbee, con el fin de tener una correcta implementación de la red.

#### 1.10.1. Módulo GPS Ublox NEO-6M

El GPS NEO-6M es compatible con el protocolo NMEA. Este dispositivo permite la captura de coordenadas (latitud y longitud) y una vez conectado a una interfaz serial mandará cada cierto tiempo una serie de comandos y datos. Mediante la captura de estos datos se debe diseñar un aplicativo que sea capaz de reconocer estos comandos y mostrarlos en una interfaz para el usuario final. Las características de este tipo de GPS son las siguientes:

- Comunicación serial
- Voltaje de alimentación desde (3.5 – 5 )VDC
- Antena cerámica activa incluida misma que puede ser soldada
- LED indicador de señal y de enlace
- Memoria EEPROM para guardar datos
- Sistema de coordenadas basados WGS-84
- Sensibilidad de captura -148dBm y de rastreo -161 dBm
- Máxima altura medible 18000 metros
- Máxima velocidad 515 m/s
- Tiempo de inicio primera vez: 38s en promedio y tiempo de inicio : 35s en promedio
- Bajo Costo del dispositivo y accesible en el medio ecuatoriano
- Velocidad de Baudios desde 4.800, 9.600, 38400 y por defecto de 57600


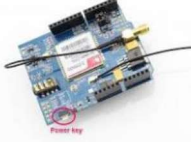
### 1.10.2. Módulo SIM808

El presente módulo tiene algunas funcionalidades tales como GPS, GPRS, entre otros, para ello el manejo de software es una base fundamental para la consolidación de todos los elementos que permite generar un mayor provecho del elemento. Se procede a indicar algunas características de este dispositivo:

- Voltaje de alimentación desde 3.5 hasta 4.2V.
- Incluye antena GPS dentro del circuito
- Incluye cuatro bandas 850/900/1800 / 1900MHz.
- Clases múltiples 12 GPRS conectividad: máx. 85.6kbps.
- GPRS estación móvil de clase B y con distintos enlaces.
- Soporta reloj de tiempo real
- GPS integrado/CNSS compatible con A-GPS
- Bajo consumo de energía desde 1mA en modo de suspensión
- Maneja el protocolo GPS NMEA
- Pueden incluir acceso a tarjeta SIM estándar
- Alto costo del dispositivo en el medio ecuatoriano
- Poco acceso del medio al mercado ecuatoriano

Una vez revisado los parámetros de los dos componentes se procede a realizar una matriz de comparaciones basándose en las calificaciones de la Tabla 1 previamente descrita. A continuación se detallan las ponderaciones respectivas

Tabla 3. Análisis Matriz comparativa de GPS

Matriz Foda	Características del prototipo		
		GPS NEO6M	MÓDULO SIM808
<b>Fortalezas</b>	Tiempo de conectividad del dispositivo	4	4
	Frecuencia a la que opera el GPS	4	4
	Voltaje de inicio	4	4
	Programación del GPS	4	3
	Adaptabilidad con otros circuitos	4	4
<b>Oportunidades</b>	Manejo de Software	4	3
	Implementación del producto con otros circuitos	4	4
	Manejo de instalación del GPS dentro del circuito	4	4
	Manejo de consumo de batería para el nodo	4	4
	Manejo de compatibilidad con módulo Xbee	4	3
<b>Amenazas</b>	Manejo de Protocolo de comunicación	3	3
	Costo del GPS	3	1
	Manejo en espacios cerrados	4	4
	Licencia de Manejo de programas	4	4
	Accesibilidad del equipo en el medio ecuatoriano	3	2
<b>Debilidades</b>	Movilidad del GPS	3	3
	Seguridad del dispositivo	4	4
	Manejo con otras tecnologías GPS, GPRS, GSM	1	3
	Calibración de GPS	3	3
	Mantenimiento del GPS	4	4
		<b>72</b>	<b>68</b>

El módulo NEO 6M correspondiente a la empresa suiza UBlox es una excelente alternativa de precisión y costo beneficio para el medio ecuatoriano. Por su tamaño reducido, es fácilmente adaptable en el nodo del prototipo. Se comunica a través de puerto serial UART y gracias al almacenamiento de datos en la memoria EEPROM permite guardar las coordenadas de localización y migrarlas a cualquier plataforma como Arduino, RaspberryPi, pcDuino o a una estación central como una Laptop. Principalmente mide parámetros Latitud, Longitud, Velocidad, Altitud. Debido a las características de este GPS su ponderación fue más alta que la del módulo SIM808, en base a ello se procede a considerar este dispositivo para la implementación del prototipo.

#### **1.11. Análisis tipo de Tarjeta a utilizar**

Una vez seleccionados los componentes que se encontrarán dentro del nodo sensor, se debe proceder con la consolidación del mismo dentro de un microcontrolador o tarjeta, mismo que permita unir los dos dispositivos e interpretar los datos enviados por el GPS y por Xbee para posteriormente traducirlo en la información de localización que es el fin del prototipo.

Para la consolidación se puede sugerir que una buena herramienta que permita unir estos componentes definidos es un módulo Arduino ya que al revisarlo se adapta a las 2 tecnologías previamente descritas. Sin embargo, se puede analizar distintos tipos de tarjetas con el fin de utilizar la más apropiada.



### 1.11.1. Arduino uno

Arduino posee tres características fundamentales. La primera está relacionada con el hardware del dispositivo el cual es de fácil manejo y configuración, económico y con acceso en el medio ecuatoriano. La segunda es que al disponer de una extensa variedad de shields, accesorios y complementos compatibles permiten la consolidación de circuitos y de tecnologías. Y por último, al poseer una inmensa penetración en el mercado ha generado una comunidad Open Source que brinda ayuda, intercambia códigos y en general facilita el uso y configuración de este dispositivo.

Actualmente el modelo más usado es Arduino UNO, el cual presenta distintas características, opciones de procesamiento e interconexión. Algunas de las características son:

- Es autómatas y programable mediante el software Arduino IDE
- La programación es en tiempo real al igual que la compilación
- Tiene un microcontrolador (MCU), mismo que es optimizado no para realizar cálculos sino para interactuar con el exterior, con sensores y actuadores
- Funciones tales como la recolección de datos, supervisión del entorno, envío de datos entre otros, e importación de librerías para el acceso a los mismos.
- Bajo costo del dispositivo y acceso viable en el medio ecuatoriano
- Tamaño corto 2.95"x2.10"
- Procesador ATmega 328 y una velocidad de reloj de 16MHz, Ram 2KB
- Tiene catorce pines de entrada salida digital, de los cuales seis pueden ser utilizados como salidas PWM
- Adaptabilidad a cualquier tipo de shields incluyendo Xbee


### 1.11.2. Raspberry PI Modelo A

Raspberry Pi es considerado como un ordenador, que para fines del prototipo y utilidad en el proyecto, se debe analizar si se requiere el uso de un sistema de tipo ordenador. Este módulo se usa para programación intensiva con gran cantidad de datos. Dentro de las características de este módulo se encuentran las siguientes:

- Función para el tratamiento de los datos recogidos, el interfaz gráfico de usuario, envío de correos, etc., mediante un proceso más elaborado
- Raspberry Pi tiene un microprocesador
- Usa un sistema operativo multitarea Linux, no dispone de un control de tiempo real sobre los pines
- Alto costo del dispositivo sin embargo si tiene acceso en el medio ecuatoriano.
- Todos los pines de Raspberry Pi tienen un nivel lógico de 3.3V incluido puerto serie, bus I2C y SPI, no soportan entradas de 5V.
- Tamaño de 3.37"x2.125"
- Procesador ARM11 y tiempo de reloj de 700MHz, Ram de 256Mb
- Manejo de voltaje de 5v, y corriente mínima de 700mA

Una vez revisado los parámetros de los dos componentes Arduino uno y Raspberry PI se procede a realizar una matriz de comparaciones basándose en las calificaciones de la Tabla 1 previamente descrita. A continuación se detalla las ponderaciones respectivas

Tabla 4. Análisis Matriz comparativa de Módulos

Matriz Foda	Características del prototipo		
		ARDUINO UNO	RASPBERRY PI
<b>Fortalezas</b>	Adaptabilidad con shields de otros circuitos	4	3
	Manejo de los pines del dispositivo	4	3
	Voltaje de inicio	4	4
	Programación del módulo	4	3
	Adaptabilidad con otros circuitos	4	3
<b>Oportunidades</b>	Manejo de Software	4	3
	Implementación del producto con otros circuitos	4	4
	Manejo de instalación del módulo dentro del circuito	4	4
	Manejo de instrucciones de software para captación de datos	4	3
<b>Amenazas</b>	Manejo de pines analógicos	3	3
	Costo del módulo	3	1
	Manejo de software del módulo	4	2
	Licencia de Manejo de programas	3	3
	Accesibilidad del equipo en el medio ecuatoriano	4	3
<b>Debilidades</b>	Movilidad del módulo	3	3
	Seguridad del dispositivo	4	4
	Manejo con otras tecnologías	3	3
	Mantenimiento del dispositivo	4	4
		<b>67</b>	<b>56</b>

Acorde a lo revisado en la matriz de comparaciones previa y al nivel de acceso en Ecuador, teniendo en cuenta el nivel de costo del producto, el Módulo

Arduino Uno R3 cumple con las características para la consolidación del nodo sensor ya que los shields son adaptables y se tiene un manejo de programación del mismo para obtener los respectivos datos.

### **1.12. Aplicaciones de redes WSN**

Las aplicaciones de las redes WSN, han tenido un gran impacto y penetración en la actualidad, consolidando tecnología con procesos cotidianos en distintos campos y en distintas aplicaciones a continuación se señalan algunas de ellas:

#### Medicina

- Control y monitorización de signos vitales de un paciente, dicha aplicación permite localizar al paciente dentro del hospital y monitorear constantemente información importante respecto a su correspondiente caso.
- Algunas de las aplicaciones de salud mediante las redes de sensores inalámbricos son generar interfaces que permitan la monitorización para los minusválidos, pacientes integrados, manejo de diagnóstico, control de medicamentos en los hospitales, monitorizado procesos o flujo internos como seguimiento y monitorización de doctores y enfermeras dentro de los hospitales.

#### Monitorización del entorno

- La adaptación de los nodos sensores para controlar y monitorear condiciones climáticas, características determinadas, factores o acciones específicas de un grupo de entes naturales o físicos, como lo pueden ser objetos, aire, plantas, incendios, condiciones climáticas, animales, agua, humedad, temperatura o contaminación, seguimiento de vehículos por

ejemplo entre otros, la monitorización del medio es una de las primordiales aplicaciones de las redes WSN

- En este tipo de aplicaciones es fundamental la revisión de la vida útil de los sensores y la sincronización de los mismos dentro de una red, ya que es necesario monitorear las especificaciones de la función de la red y de los nodos sensores para el fin que se va implementar

#### Control o automatización de procesos industriales

- Automatizar, controlar y monitorear procesos o flujos de manufacturas o lineamientos de equipo industrial, lo que genera un mayor seguimiento y control de un buen flujo de procesos a niveles industriales. Un ejemplo que se puede obtener es el uso de una red WSN para la reducción del costo del servicio de mantenimiento permitiendo tener un control exacto del tiempo de trabajo de las máquinas, analizar la productividad de las mismas e incluso prevenir accidentes

#### Control y monitorización de edificios y casas

- Una de las aplicaciones más usadas e incluso hasta por la cual fue construido este tipo de tecnología, algunos ejemplos son el control de condiciones tales como niveles o medición de wifi, temperatura, luz, regularización de luces, control de utilización de aparatos eléctricos, seguridad y control de accesos dentro de los conocidos como Smart buildings o houses. Es importante recalcar la constante evolución que han tenido los sensores inalámbricos en el área de la domótica ya que ha captado millones de usuarios.

## **2. Capítulo 2 Análisis de lenguaje de programación**

### **2.1. Análisis programación nodos Xbee**

Análisis del lenguaje de programación acorde a las necesidades de la interpretación y captación de datos de los nodos Xbee.

Los módulos XBee como fueron revisados son dispositivos que integran un transmisor - receptor de ZigBee y un procesador en un mismo módulo, lo que permite a los usuarios o clientes desarrollar aplicaciones objetivas de manera rápida y sencilla.

Dentro de la elección de los materiales que se va a utilizar en el prototipo, se necesita validar que tipos de sistemas se procederá a utilizar para la correspondiente programación de los mismos.

En el capítulo anterior se procedió a realizar un breve análisis de la tecnología a escoger, que para desarrollo del proyecto es un módulo Xbee y para la programación correspondiente es necesario el software que controle y permita programar los dispositivos, en este caso es el X CTU

Para la programación de los nodos sensores se basaría en 2 programas:

### **2.2. Arduino Software (IDE)**

Es un software de código abierto que permitirá programar el módulo Arduino con los datos enviados por el GPS y de igual forma transmitidos por el módulo Xbee. El software es ejecutable en Windows, Mac OS X y Linux. El entorno está escrito en Java y otro software de código abierto. Arduino IDE se puede utilizar en cualquier módulo Arduino y dependerá básicamente de la función que se desea realizar para el módulo.

Su funcionamiento está basado en un conjunto de instrucciones al micro controlador dentro del tablero. Para ello se utiliza el lenguaje de programación de Arduino, y el software de Arduino (IDE) , sobre la base de procesamiento.

Mediante su fácil y accesible manejo de usuario, Arduino se puede utilizar en diferentes proyectos y aplicaciones. El software de Arduino es fácil de usar para los personas con pocas nociones de programación, pero lo suficientemente flexible para personas con conocimiento más avanzados. La utilidad del programa permite construir instrumentos científicos o innovadores de bajo coste, para demostrar distintos principios, o para empezar con la programación en las ramas de robótica.

El software de Arduino se publica como herramientas de código abierto,. El idioma se lo puede ampliar mediante el uso de bibliotecas de C ++, y dependiendo la funcionalidad hasta detalles técnicos pueden migrar de Arduino hacia el lenguaje de programación C AVR en la que se basa. Del mismo modo, puede agregar código AVR-C directamente a la funcionalidad del programas de Arduino.

Hay que tener en cuenta que para el desarrollo del prototipo es necesario descargar una librería para la adaptabilidad de GPS. Figura 14 “Software Arduino IDE” y la librería del manejo de puertos Seriales

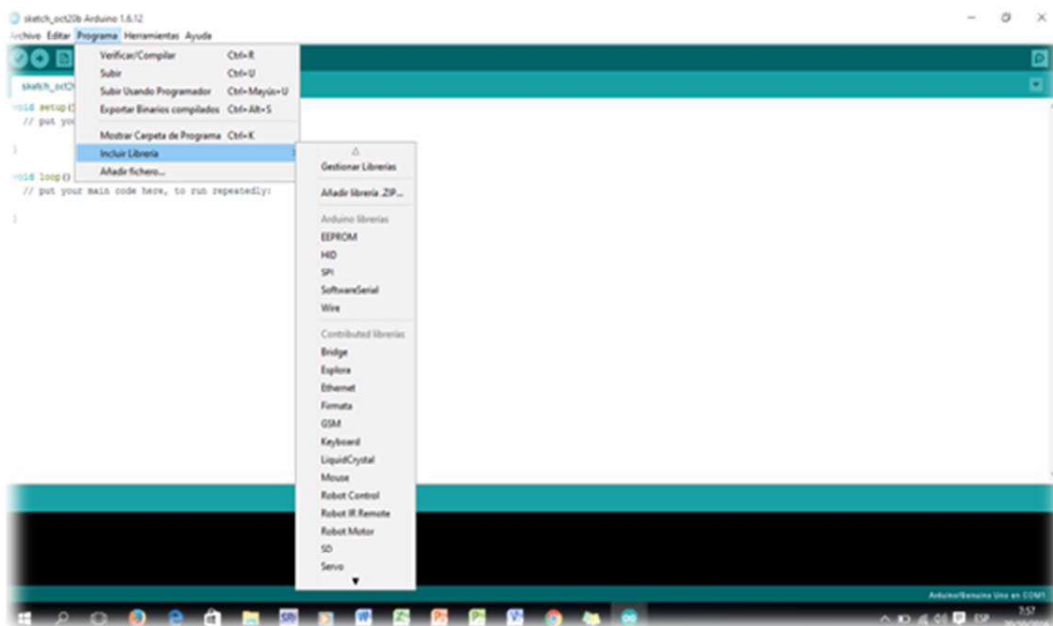


Figura 14 Software Arduino IDE

Los programas que son escritos utilizando Arduino Software (IDE) se llaman sketches y se guardan con la extensión de archivo .ino. El editor tiene algunas características para cortar, pegar, buscar y reemplazar texto. El área de mensajes proporciona retroalimentación de los errores encontrados al momento de compilar. La consola muestra la salida de texto por el software de Arduino (IDE) se lo puede verificar mediante una simulación. La esquina superior derecha de la ventana muestra el tablero configurado y puerto serie. Los botones de la barra de herramientas le permiten comprobar y cargar programas, crear, abrir y guardar bocetos, y abrir el monitor serie.

En el caso del prototipo es necesaria la captura de datos a través del GPS utilizado, para ello el esquema de programación del módulo Arduino debe cubrir estas necesidades es necesario la implementación de una librería serial.



### 2.3. Software X CTU

Es el programa con el que se configuran los módulos Xbee, individualmente para la conformación de una red. A su vez determina la función del dispositivo dentro de la red. Contiene un terminal con el cual se puede mandar y recibir datos mediante el puerto que está conectado al dispositivo Xbee.

X-CTU es una aplicación basada en Windows que provee una interfaz gráfica para la configuración e interacción con los módulos de radiofrecuencia del fabricante DIGI.

A partir de su descarga e instalación del software en el computador. Para iniciar la aplicación se ejecuta el icono del programa, mismo que normalmente se ubica en el escritorio. Se muestra entonces la siguiente pantalla de inicio.



Figura 15 Software XCTU

En la pantalla principal se presentan las siguientes opciones:

Tabla 5. Pantalla principal XCTU

Opciones	Uso
<b>PC Settings</b>	<b>Permite seleccionar el puerto y la configuración del mismo</b>
<b>Range Test</b>	Permite desarrollar un test de rango mediante dos dispositivos
<b>Terminal</b>	Permite acceso al puerto COM del computador con un programa terminal. También desde esta pantalla se accede al firmware de los módulos mediante comandos AT. Mismo que se encuentra en su correspondiente biblioteca
<b>Modem Configuration</b>	Permite programar los parámetros de los radios mediante una interfaz gráfica de usuario. Además permite cambiar la versión del firmware del radio

El procedimiento, para la configuración del dispositivo es el siguiente:

1. Descargar e instalar el software X-CTU.
2. Conectar el módulo Xbee al computador conforme se observa en la siguiente figura:

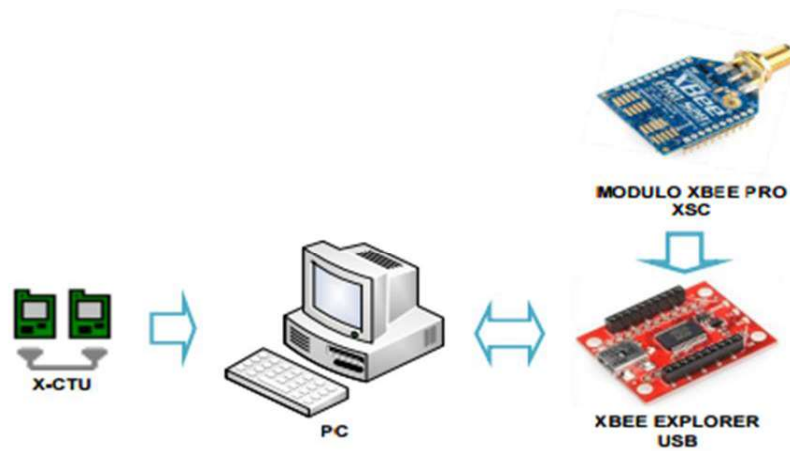


Figura 16 Programación módulos Xbee

Tomado de (Configuration & Test Uility Software, 2012)

3. Ejecutar el software X-CTU.
4. Observar el puerto COM reconocido.
5. Análisis y programación del nodo sensor acorde a la funcionalidad del aplicativo y de la red ya sea como Coordinador, o dispositivo terminal. Es importante la configuración en Xbee ya sea en modo AT, o en modo API. Este proceso deberá ser realizado en cada uno de los módulos Xbee que componen la red.

Para la consolidación de toda la información esta es manejada dentro de una interfaz gráfica que permite realizar la revisión de los nodos dentro de nuestra estación de trabajo. Para el manejo del software e interpretación de datos se procede a realizarlo en la aplicación Visual Studio o Java para la elaboración del programa final

## 2.4. Análisis Software Final

Una vez analizada la programación de la red de nodos es necesario llevar a un sistema central la consolidación de los datos, para ello se procede a realizar una matriz de comparación Foda respecto a los programas de Java y C# que se revisará a continuación

### 2.4.1. Java

Una opción para el análisis final e interpretación de datos es este tipo de programación que brinda las siguientes características:

- Posee una gran cantidad de información en la web, la cual debido a los años que se encuentra en el mercado, es bastante amplia en soluciones e informativa en la web.
- Java cuenta con una API muy extensa, y un soporte de código abierto. Existen herramientas de fácil importación para la creación de aplicaciones que se pueden desarrollar. También existe un proceso de impulso por la comunidad que garantiza el crecimiento en la dirección correcta para cualquier desarrollador o programador de este lenguaje.
- Es un lenguaje orientado a objetos. Abarca internamente buenas prácticas de diseño y sugiere el aprendizaje mediante el conocimiento adquirido. También promueve el uso correcto y muchos patrones de diseño documentados a utilizar con Java.
- Java se ejecuta en bastantes variedades de sistemas. Por lo general esta característica buscan la mayoría de clientes debido a su escalabilidad, estabilidad y facilidad de mantenimiento. También hay

actualmente un impulso en la comunidad Java para ser el líder de la IoT (Internet of Things).

- Las apps Android están desarrolladas en Java en su mayoría. También es viable usar Framework para el desarrollo ágil de aplicaciones de dispositivos móviles con sistema operativo Android. Al tener conocimiento de este lenguaje, se puede programar en forma nativa. Esto tiene una gran ventaja, ya que permite tener un mayor control sobre el hardware del dispositivo.

#### 2.4.2. Visual Studio

Para la realización del monitoreo de vehículos se puede utilizar el programa Visual Studio que permita ubicar al nodo reportado y geo localizarlo en un mapa digital para poder reportarlo a las autoridades correspondientes.

Dentro de las ventajas que permite trabajar Visual Studio son las siguientes:

- Permite la lectura de puertos seriales y el manejo de interfaces en Windows form.
- Adaptable con dispositivos previamente seleccionados dentro del prototipo
- Fácil manejo en implementación de librerías
- Accesibilidad del software en el medio ecuatoriano
- Métodos virtuales y redefiniciones, ya que método redefinido en la subclase debe ser declarado con la palabra override
- Control de versiones, C# permite mantener múltiples versiones de clases en forma binaria, colocándolas en diferentes espacios de nombres. Esto permite que versiones nuevas y anteriores de software puedan ejecutarse en forma simultánea.

Tabla 6. Matriz comparativa Software final

<b>Matriz Foda</b>	<b>Características del prototipo</b>	<b>JAVA</b>	<b>C#</b>
<b>Fortalezas</b>	Lectura de puertos seriales	4	4
	Manejo interfaces con windows form	3	4
	Programación con el módulo con Arduino	3	4
	Programación del módulo	4	4
	Adaptabilidad con otros circuitos	4	4
<b>Oportunidades</b>	Manejo de punteros	1	3
	Manejo de estructura y de uniones	1	3
	Adaptabilidad a otras aplicaciones	4	3
	Manejo de instrucciones de software para captación de datos	3	3
<b>Amenazas</b>	No realiza ninguna conversión de tipos automática que signifique pérdida de precisión	1	3
	Seguridad de programación	3	3
	Manejo de software del módulo	3	3
	Licencia de Manejo de programas	3	3
	Accesibilidad del software en el medio ecuatoriano	4	4
<b>Debilidades</b>	Importación de librerías GPS	3	3
	Administración posible en una base de datos	3	3
	Mantenimiento de la programación	3	3
	Herencia múltiple para módulos	2	2
		<b>52</b>	<b>59</b>

Al revisar el análisis de comparaciones y en virtud de elegir un programa que permita capturar los datos enviados por los módulos xbee, procesarlos y presentarlos de forma gráfica con un manejo adecuado de librerías se ha procedido a seleccionar la programación en Visual Studio (C#).

### 3. Capítulo 3 Parámetros tecnológicos dentro del prototipo

#### 3.1. Módulos Xbee

Los módulos Xbee son económicos, adaptables y fáciles de utilizar. Algunas de sus principales características son:

- Buen Alcance: hasta 300ft (100 mts) en línea vista para los módulos Xbee y hasta 1 milla (1.6 Km) para los módulos Xbee Pro.
- 9 entradas/salidas con entradas analógicas y digitales.
- Bajo consumo <50mA cuando están en funcionamiento y <10uA cuando están en modo sleep.
- Interfaz serial y configuración mediante XCTU.
- 65,000 direcciones para cada uno de los 16 canales disponibles. Se pueden tener muchos de estos dispositivos en una misma red.
- Fáciles de integrar a un sistema de red.

Existen 2 series de estos módulos. La serie 1 y la serie 2 o también conocida como 2.5. Los módulos de la Serie 1 y la Serie 2 tienen el mismo pin-out, sin embargo, No son compatibles entre sí ya que utilizan distintos chipset y manejan protocolos diferentes, por lo tanto no es viable una consolidación de red con los 2 tipos de módulos.

Tabla 7 Análisis nodos Xbee

• <b>Serie 1</b>	• <b>Serie 2</b>
Está basada en el chipset Freescale y está pensado para ser utilizado en redes punto a punto y punto a multipunto	Están basados en el chipset de Ember y están diseñados para ser utilizados en aplicaciones que requieren repetidores o una red mesh
Pueden ser utilizados en los modos AT y API	Pueden ser utilizados en los modos AT y API

Tanto la Serie 1 y Serie 2 están disponibles en dos potencias de transmisión diferentes, la normal (simplemente Xbee) y la PRO (Xbee-PRO). La versión PRO consume más energía, adicional son más costosos pero poseen un mayor rango de distancia hasta 1,5 km.

Dentro de la implementación de la red es necesario la programación de los dispositivos Xbee dependiendo de la función que va a desempeñar en la red, estos pueden ser Coordinador, Router y Dispositivo Final. El módulo XBee posee configuración por defecto que es compatible con una amplia gama de aplicaciones.

### 3.2. Estructura del prototipo

Dentro del alcance del diagrama del sistema se procederá a separar en tres partes correspondientes a los diagramas de:

- Coordinador
- Router
- Dispositivo final



La consolidación de los diagramas es el esquema de la red WSN a implementar dentro del prototipo sin embargo se requiere un análisis de conexiones en cada una de las partes y de igual forma la conexión de las mismas para un correcto funcionamiento

### 3.2.1. Nodo Coordinador

Dentro del nodo coordinador cuya función es la administración de la red pues a este nodo llegará la información correspondiente del nodo final.

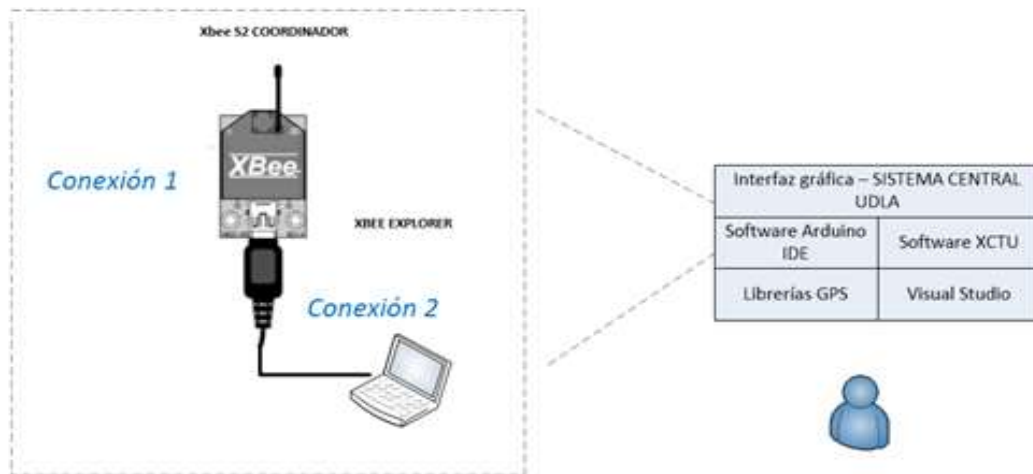


Figura 17 Nodo Coordinador

El nodo está compuesto por un Módulo Xbee S2 PRO el cual se encuentra configurado como un nodo coordinador dentro de la red. Para poder conectar este nodo al sistema central se necesitan de dos conexiones:

- **Conexión 1:** Conexión física del módulo Xbee a la tarjeta Usb Explorer de xbee misma que permite realizar la configuración del xbee y realizar una conexión con el equipo.

La conexión del módulo Xbee se encuentra detallada de la siguiente forma mediante su esquema de pines:

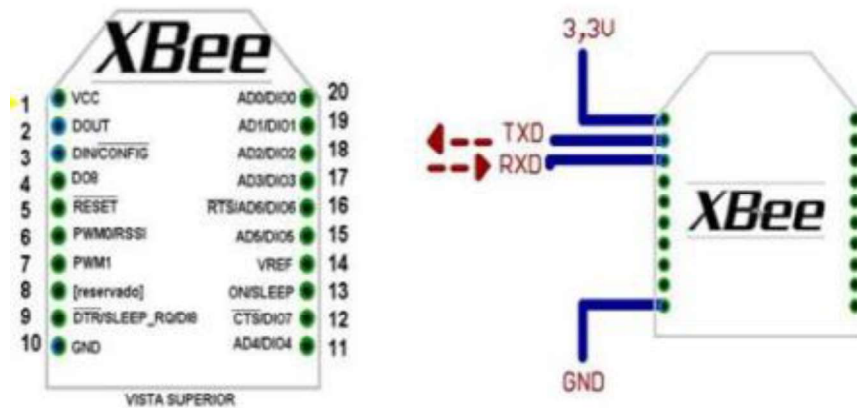


Figura 18 Distribución de Pines

Tomado de (Plataforma Zigbee, 2013)

Los pines que se utilizarán para el manejo de la red son los pines 1 conectado a VCC que brinda un voltaje de (3,3 V), el pin 2 y 3 que transmitirán los datos correspondientes a Transmisión y Recepción de la información respectivamente. Y por último el pin 10 conectado a GND.

El nodo Xbee es conectado a la Usb Explorer xbee de forma directa a cada uno de los pines con el fin de poder configurarla como un nodo coordinador. El explorer se encarga de distribuir la conectividad de los pines para poder ser configurados en el programa X CTU

El Usb explorer xbee se encuentra bajo un elaborado esquema, el cual permite la interacción entre el módulo y el equipo central.

El dispositivo maneja una corriente (500mA) para XBee y XBee PRO. Dos controladores led tanto para la conexión del dispositivo y la verificación del

funcionamiento del mismo. Un interruptor incorporado RESET durante la carga del firmware y un mini usb para la conexión serial, el cual se encuentra detallado el funcionamiento de sus pines:

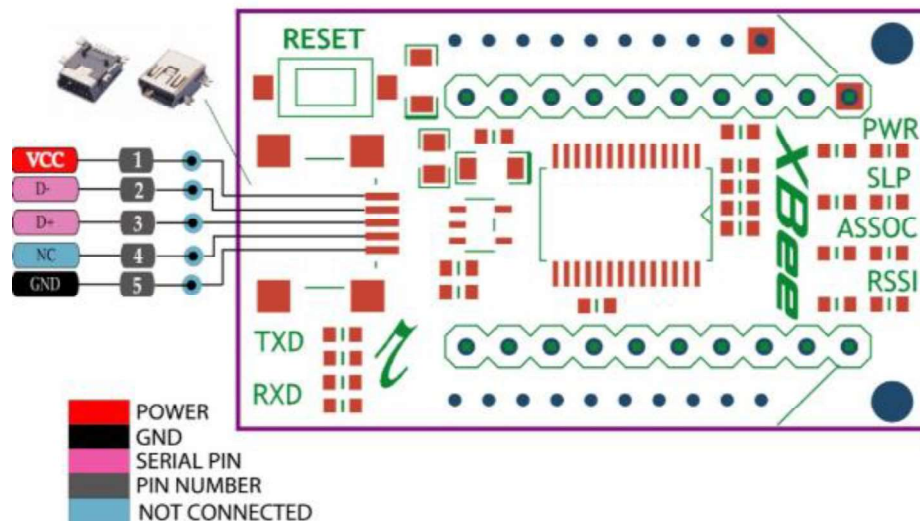


Figura 19 Usb explorer xbee

Tomado de (Rhydolabz, 2013)

- **Conexión 2:** Conexión serial permite conectar el Usb Explorer xbee con el puerto usb de una computadora en este caso para el prototipo es la estación base

Después de conectar el Usb explorer este va a crear un puerto COM virtual en el PC, que permitirá comunicar y programar el módulo mediante el puerto serial.

Dentro del equipo central se procederá a tomar los datos recibidos y se transformarán en una interfaz gráfica de seguimiento. Debido a ello en el

diagrama se encuentra consolidado los programas utilizados para la elaboración del aplicativo.

### 3.2.2. Nodo Router

El nodo router cumple la función de enlazar la información enviada por el nodo final hasta el nodo coordinador, su función es sumamente importante ya que incorpora a los nodos finales hacia la estación base.

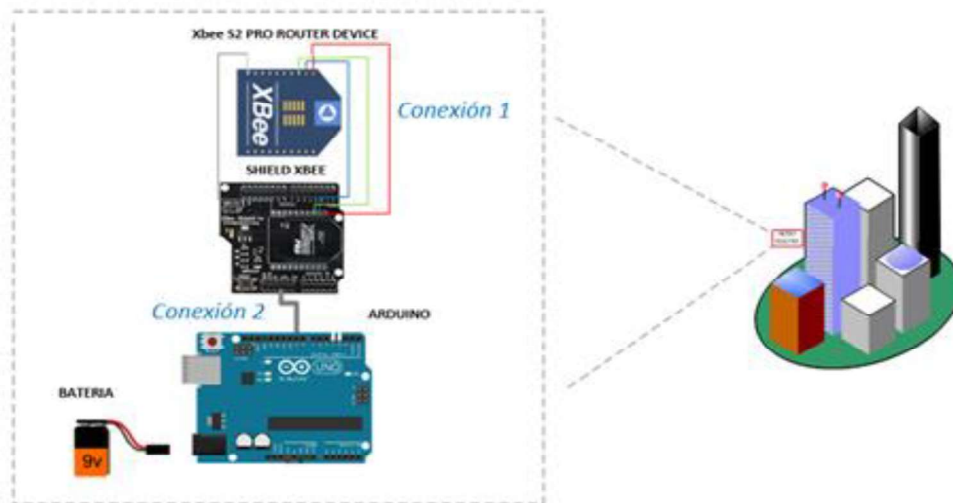


Figura 20 Nodo Router

El nodo Router se encuentra compuesto por una batería de 9v DC misma que alimenta a todo el nodo, esta se encuentra conectada a la placa Arduino Uno mismo que contiene un Shield Xbee que permite incorporar al módulo xbee el cual se encuentra programado como un Router

- **Conexión 1:** Obedece a una conexión física del módulo Xbee S2 PRO con su respectivo shield, dicha conexión permite la alimentación del nodo y el envío de datos

Para esta conexión es necesario revisar el manejo del módulo Xbee S2 PRO con su shield respectivo.

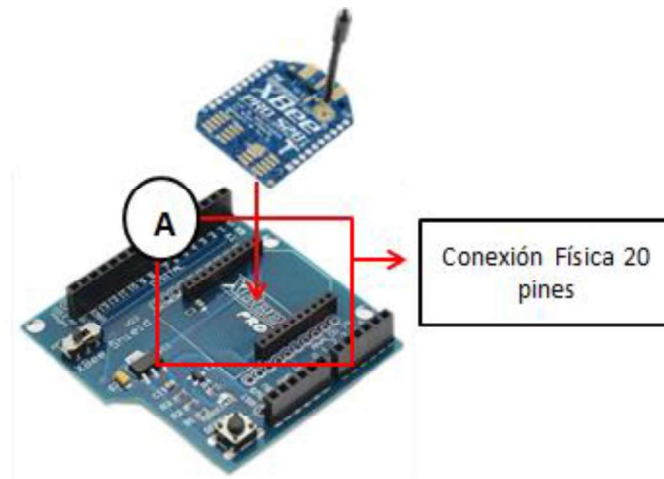


Figura 21 Funduino V03 Bluetooth Expansion Board Compatible w/ Xbee Bluetooth Bee for Arduino

El Xbee Shield utilizado tiene un diseño apilable y fácil de conectar a la placa de desarrollo ARDUINO; Mediante el módulo XBee, se puede lograr la comunicación entre Arduino con otro dispositivo, en este caso con otro nodo de red y a su vez con una comunicación con la PC

No es necesaria la configuración de este dispositivo ya que se adhiere a la programación del módulo de Arduino y transmite en los mismos pines de Arduino.

La conexión que se realiza es el módulo Xbee S2 PRO en la base "A" detallada en la Figura precedente, donde encajan cada uno de los pines teniendo en cuenta que los pines que se usarán son los detallados en la siguiente tabla:

Tabla 8 Pines conexión módulo Xbee S2 PRO

Pin	Descripción
1	Alimentación VCC 3,3V
2	Transmisión del dispositivo
3	Recepción del dispositivo
10	Alimentación GND

- **Conexión 2:** Obedece a una conexión física del shield Xbee con el módulo Arduino, dicha conexión permite la configuración del nodo con carácter de Router y permite la conexión con los dispositivos finales

Para una consolidación del nodo se utiliza el módulo Arduino Uno el cual permite la configuración del shield de Xbee y de su correspondiente módulo Xbee S2 PRO. La conexión de igual forma es física donde abarca la unión de todos los pines del shield con Arduino Uno en la misma secuencia en cada uno de sus pines detallados a continuación:

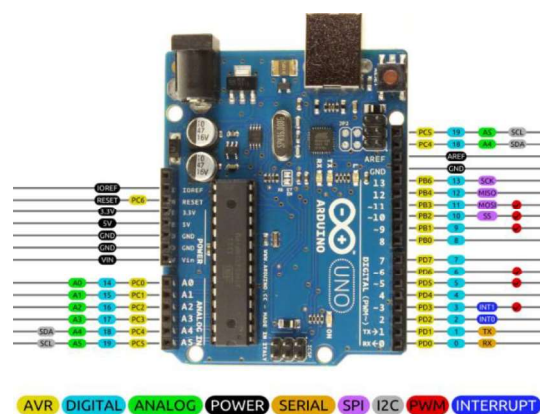


Figura 22 Arduino UNO R3

Tomado de (Arduino Beta, 2014)

La conexión física une todos los pines de del Shield xbee con el módulo de Arduino UNO R3 tanto de las secciones DIGITAL, ANÁLOGA, POWER de la siguiente forma:

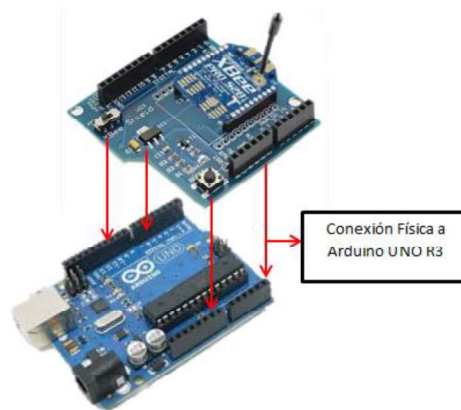


Figura 23 Conexión 2 Nodo Router

### 3.2.3. Nodo final

El nodo final se encuentra ubicado en el vehículo y es el nodo responsable del envío de información mediante el módulo GPS incorporado, la información de latitud y longitud es enviada hacia el nodo router mismo que transmite la información hasta el nodo coordinador y se lo puede visualizar mediante la interfaz gráfica.

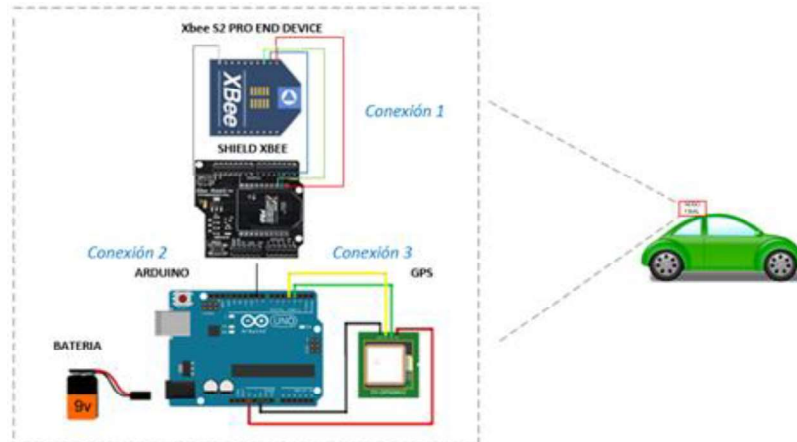


Figura 24 Nodo Final

El nodo final se encuentra compuesto por una batería 9v DC, misma que permite la alimentación del módulo, se encuentra conectada al módulo Arduino uno el cual es programado para extraer los datos de conexión tanto del GPS como del módulo Xbee. De igual forma consta con un GPS NEO6M el cual se encuentra conectado al módulo Arduino. Y finalmente el shield Xbee con el correspondiente módulo Xbee S2 PRO.

- **Conexión 1:** Obedece a una conexión física del módulo Xbee S2 PRO con su respectivo shield, dicha conexión permite la alimentación del nodo y el envío de datos

La conexión es la misma descrita previamente en el nodo Router a diferencia única de la programación del mismo pues esta obedece a otras características de transmisión de datos ya que en el caso del módulo Xbee será programado como un dispositivo final.



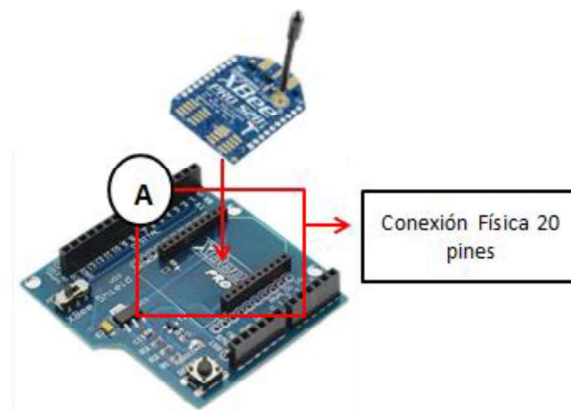


Figura 25 Conexión Xbee S2 PRO con Xbee shield

La conexión está basada en los 20 pines del módulo xbee, donde los pines usados en esta ocasión de igual forma son los de la Tabla 13. El módulo se ubica en la sección A del shield.

- **Conexión 2:** Obedece a una conexión física del shield Xbee con el módulo arduino, dicha conexión permite la configuración del nodo con carácter de dispositivo final

Al igual que el nodo Router la consolidación del nodo para permitir la unión de los circuitos es necesario el uso de Arduino UNO R3 el cual en conexión con el respectivo Xbee Shield permitirá lograr la transmisión de datos del dispositivo. La conexión está basada en la conexión de todos los pines del Shield con todas las entradas del Arduino tal como representa la siguiente figura:

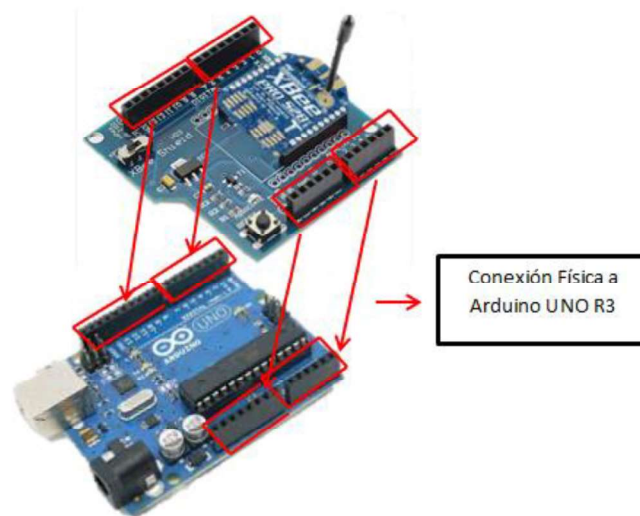


Figura 26 Conexión 2 Nodo Final

- **Conexión 3:** Obedece a una conexión física del módulo Arduino con el GPS NEO6M mismo que es el encargado de transmitir los datos de localización de los nodos finales.

El GPS utilizado para el diseño del prototipo NEO6M perteneciente a la marca Ublox contiene el siguiente diagrama de funcionamiento:

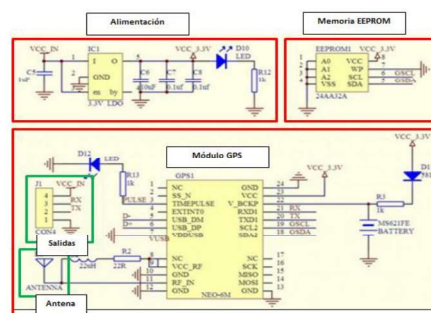


Figura 27 GPS NEO6M

Tomado de (GPS Ublox, 2014)

Para poder realizar la conexión del GPS con el nodo final se tomará el segmento de salidas correspondiente a:

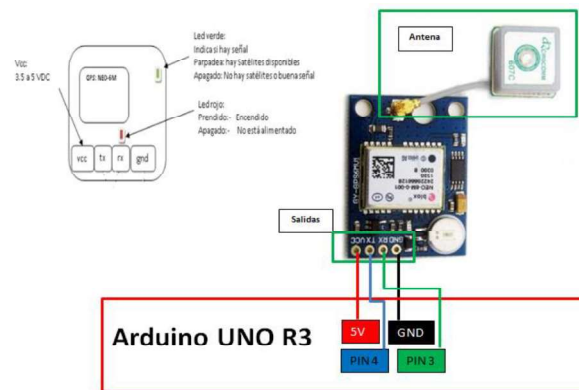


Figura 28 GPS NEO6M

La conexión de las salidas se conectará con el módulo Arduino UNO R3 a los pines detallados en la siguiente Tabla

Tabla 9 Pines conexión GPS NEO6M con Arduino

Pin GPS Neo 6M	Descripción	Pin destino Arduino
VCC	Alimentación VCC 3,3V	Power 5V
TX	Transmisión del GPS	Pin 4 Arduino
RX	Recepción del GPS	Pin 3 Arduino
GND	Alimentación GND	Power GND

Una vez conectado el GPS se puede consolidar el nodo final con los componentes previamente vistos y cada una de sus conexiones

### 3.3. Esquema Final del prototipo

El esquema final del prototipo es la consolidación de los tres diagramas previamente descritos y comunicados mediante los módulos Xbee. El esquema con el circuito final se encuentra dentro del anexo 1

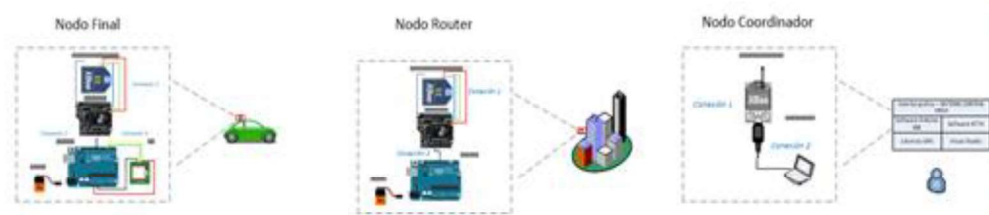


Figura 29 Modelo final del prototipo

La comunicación de los nodos está basada en el protocolo IEEE 802.15.4 cuya información es transmitida desde un dispositivo final ubicado en un automóvil hacia un nodo Router ubicado en un punto específico de la ciudad como puede ser un poste y finalmente la conexión llega a una estación base donde está el nodo coordinador.

#### 4. Capítulo 4 Diseño e Implementación del Prototipo

Una vez revisadas las especificaciones de los elementos que se va a utilizar dentro del prototipo se procederá con el diseño e implementación de los mismos. La red prototipo consta de 3 Nodos correspondientes a nodo Coordinador, nodo Router y nodo Final cada uno compuesto de algunos elementos los cuales se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 10 Estructura del Prototipo

Matriz Foda	Funcionamiento	Componentes	Configuración	Ubicación
<b>Nodo Coordinador</b>	Nodo conectado a la Estación Central cuya función es recibir los datos enviados por el nodo final que en el prototipo son las coordenadas de los vehículos sustraídos	Xbee S2 PRO Coordinador	Si mediante X CTU	El nodo una vez configurado se encontrará en una Estación base
		Usb Explorer Xbee		
		Cable Usb		
		Equipo (Laptop Central)		
		Estación Central ( Software de Interpretación de datos)	Si mediante Visual Studio	
<b>Nodo Router</b>	Nodo con conexiones al Dispositivo final donde recibe los datos transmitidos y los envía al nodo coordiandor para el procesamiento de información	Xbee S2 PRO Router	Si mediante X CTU	Una vez configurado se encontrará estático distanciado del nodo coordinador
		Xbee Shield Arduino		
		Arduino UNO R3	Si mediante Arduino IDE	
		Batería 9V		
		Caja para Router	4	
<b>Nodo Final</b>	Nodo encargado de recibir la información de Coordenadas captadas por el GPS y transmitir las hacia el nodo Router	Xbee S2 PRO Nodo Final	Si mediante X CTU	Una vez configurado el nodo se encontrará en movimiento ya que simulará un vehículo
		Xbee Shield Arduino		
		Arduino UNO R3	Si mediante Arduino IDE	
		Batería 9V		
		GPS NEO6M	Si mediante U blox	
		Caja para Dispositivo Final	4	

#### 4.1. Implementación del nodo final

Una vez identificados que dispositivos se va a utilizar dentro de la implementación del nodo. Se procede con la configuración de cada uno de ellos. Para el Módulo Xbee S2 PRO es necesaria una configuración del dispositivo para ponerlo en la red inalámbrica por tanto se procede a conectar el módulo dentro del Usb explorer xbee y este a su vez a un puerto usb de la estación central. Se procede a interactuar con el software X CTU para poder realizar la configuración del nodo

El cual se lo procederá a configurar como un End Device AT



Figura 30 Configuración Nodo Final

Una vez configurado el nodo Xbee se procede a colocarlo en el Shield Xbee y este a su vez con el módulo Arduino con el fin de poder programarlo mediante Arduino IDE.

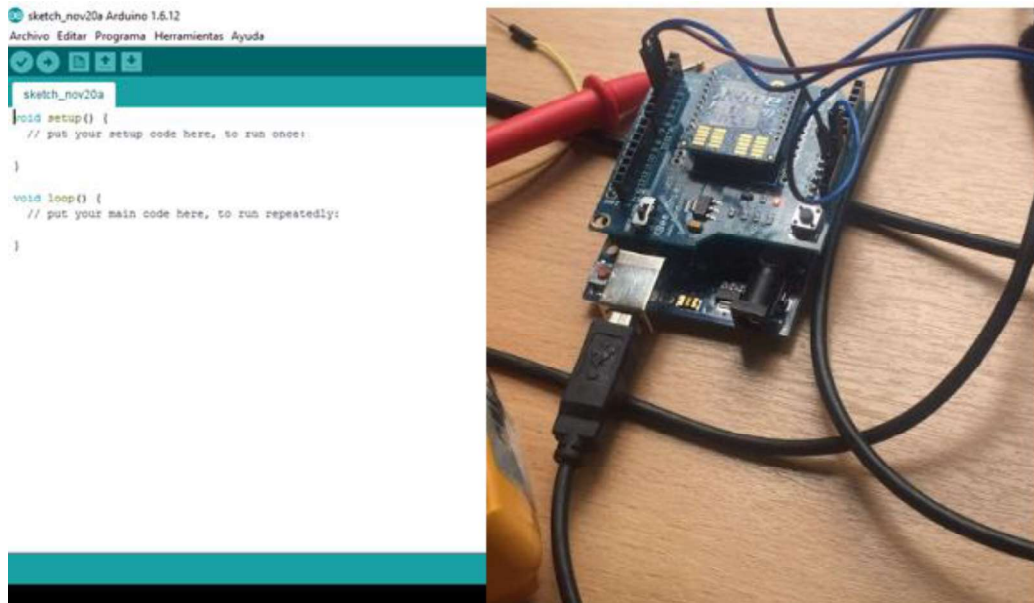


Figura 31 Configuración Nodo Final

Dentro de la programación del módulo Arduino se procederá a configurar el manejo de recepción de información del GPS NEO6M

Para el GPS NEO6M se necesita saber el manejo de la trama del mismo para identificar que parámetros se desea obtener principalmente datos de latitud y longitud para una posterior geo localización

Una vez revisada la trama que envía el GPS se podrá generar con mayor precisión un manejo correcto de la misma mediante la librería que ofrece Arduino que es el caso de TinyGPS

```

1 $GPRMC,204950.00,V,,,,,070713,,N*75
2 $GPVTG,,,,,,N*30
3 $GPGGA,204950.00,,,,,0,00,99.99,,,,,*6C
4 $GPGSA,A,1,,,,,,99.99,99.99,99.99*30
5 $GPGSV,4,1,13,01,31,062,,04,16,191,28,07,46,129,,08,73,07
6 $GPGSV,4,2,13,09,77,000,,10,00,197,,11,17,046,,13,01,164,
7 $GPGSV,4,3,13,15,03,313,,17,66,273,,20,01,115,,26,34,281,
8 $GPGSV,4,4,13,28,45,002,*42
9 $GPGLL,,,,,204950.00,V,N*40

```

Figura 32 Trama generada por GPS

Una vez estructurada la programación dentro del módulo de Arduino se procede a validar el código mediante la compilación del mismo para una posterior carga y comprobación de la recepción de datos mediante el puerto serial. Los cuales llegan de la siguiente forma

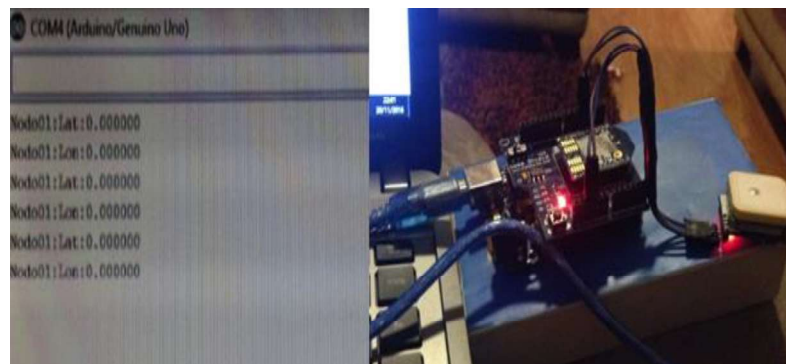


Figura 33 Manejo de datos nodo final

Para el manejo de la información capturada por el GPS es necesario el análisis de las tramas del Protocolo NMEA mismo que se adjunta en el anexo 2, comprobados los datos se conecta la batería 9VDC que alimenta al nodo para dejarlo en funcionamiento. Se procede con el diseño de la caja del dispositivo final con aberturas para la conexión de Arduino y para la Antena de GPS.



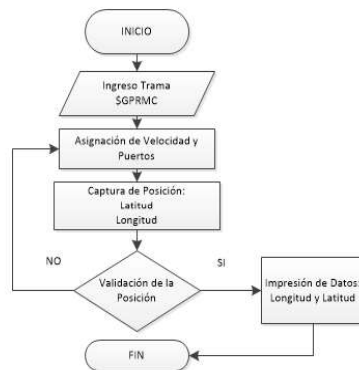


Figura 34 Diagrama de Flujo Nodo Final

Configurado el dispositivo final se procede a realizar la siguiente configuración correspondiente al nodo Router

#### 4.2. Implementación del nodo Router

Para la configuración del nodo Router es necesario el enlace del mismo con el dispositivo final y con el nodo Coordinador.

El primer paso a realizar es la configuración del módulo Xbee S2 PRO mediante el programa X CTU mismo que debe estar a dentro de la misma red consolidada respetando la MAC adres de los dispositivos involucrados.



Figura 35 Configuración Xbee Router AT

Una vez programado el Xbee Router es necesario la consolidación del nodo mediante la unión de las placas Shield más Arduino UNO R3, para poder ser programadas con el fin de poder tener conectividad tanto con el Coordinador como con el dispositivo final. Para ello se configura el nodo Router mediante el Software Arduino IDE

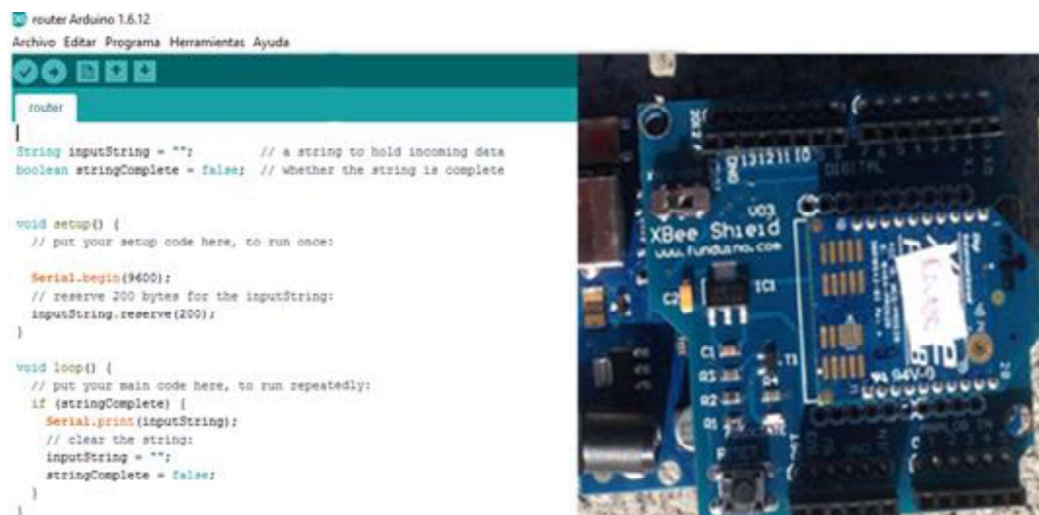


Figura 36 Configuración Nodo Router

Una vez compilado el programa se procede a cargar el código en el nodo Router con el fin de poder comprobar su funcionamiento, se lo verifica en el puerto serial ya que debe estar transmitiendo los datos capturados por el nodo final. Una vez comprobados los datos se conecta la batería 9VDC que alimenta al nodo para dejarlo en funcionamiento.

A continuación se detalla el flujo del proceso que realiza el nodo Router:

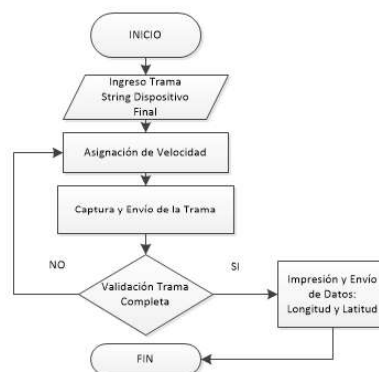


Figura 37 Diagrama de Flujo Nodo Router

Ya configurados los nodos Router y final es necesaria la configuración del nodo Coordinador, el cual capturará los datos enviados desde el dispositivo final hacia el Router y finalmente interpretará los datos dentro de la Estación central.

### 4.3. Implementación del nodo Coordinador

Para la implementación del nodo coordinador es necesario la configuración final de la red WSN y finalmente desarrollar la interpretación de datos a través de un aplicativo en la estación base

El primer paso a realizar es la configuración del módulo Xbee S2 PRO mediante el programa X CTU mismo que debe estar a dentro de la misma red consolidada respetando la MAC adres de los dispositivos involucrados

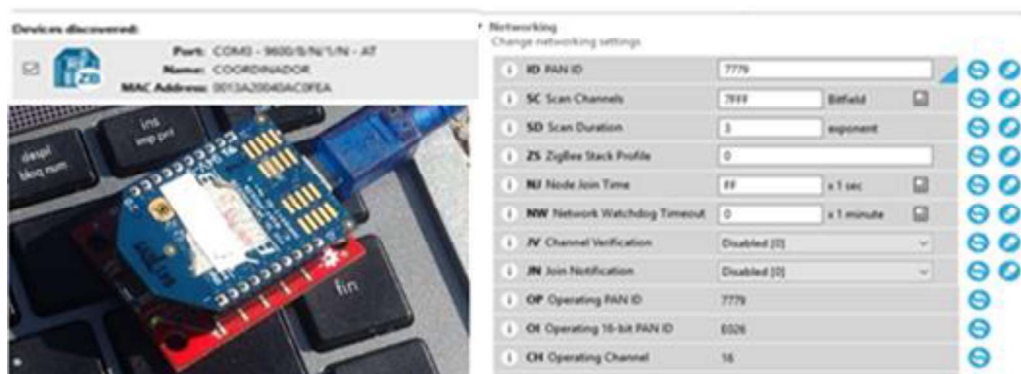


Figura 38 Configuración Xbee Coordinador

Una vez configurado el nodo coordinador se procede a verificar la obtención de los datos transmitidos desde el dispositivo final mediante la verificación del puerto serial.

Para culminar con la implementación del prototipo se procede a desarrollar una aplicación que permita interpretar los datos recibidos desde el dispositivo final y localizarlos en un mapa para una visualización más clara del vehículo sustraído

El desarrollo del aplicativo está basado en visual studio con una interfaz gráfica que permite seleccionar el puerto en el cual se encuentra conectado el nodo

Coordinador y visualizar la información de coordenadas en la cual se encuentra el dispositivo final y ubicarlas en el mapa.



Figura 39 Sistema Central

La recepción de datos varía de acuerdo a la ubicación del dispositivo final, el cual es mostrado en el mapa acorde a las áreas de cobertura de la red WSN.

Dentro de la estructura del sistema central, el mismo se encuentra basado por los bloques de: Selección de Puerto, ubicación dentro del mapa, datos correspondientes a la localización del prototipo, datos correspondientes al último punto o coordenada y finalmente la visualización dentro del mapa, como se detalla en la siguiente figura:



Figura 40 Sistema Central Bloques

La recepción de datos varía de acuerdo a la ubicación del dispositivo final, el cual es mostrado en el mapa acorde a las áreas de cobertura de la res WSN.

## 5. Capítulo 5 Pruebas y Análisis del Prototipo

Una vez implementado el prototipo se realizó diversos tipos de prueba acorde a distintos parámetros probando las características de los dispositivos y del software programado en cada uno de ellos.

### 5.1. Pruebas basadas en conectividad de red

Acorde a las funcionalidades de los nodos Xbee S2 PRO las máximas distancias que obtienen estos dispositivos es de 1,5km en línea de vista directa. Dentro de las pruebas realizadas se logró llegar a una distancia máxima de 380m en línea de vista directa entre el dispositivo final y el nodo Router y a su vez una distancia proporcional de igualmente 380m entre el nodo Router y el nodo Coordinador, llegando a cubrir una distancia total de 760m . La conectividad de la red se la puede validar en el Usb explorer xbee del nodo coordinador al perder la luz verde de conectividad de red (led) se determina que la red se ha caído.

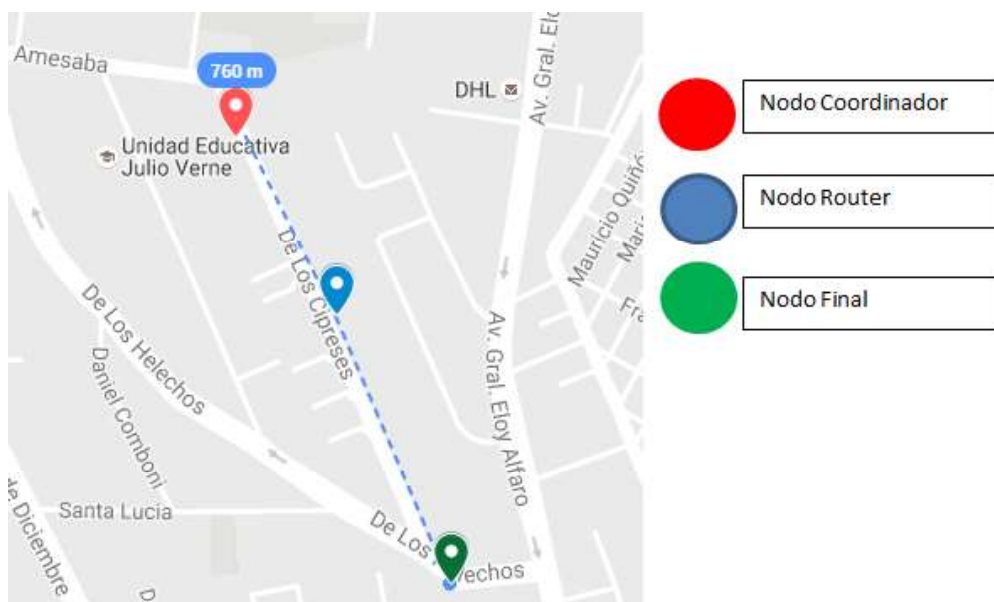


Figura 41 Pruebas de conectividad de la red

La ubicación de la prueba realizada fue en el sector de Santalucía en las calles de los Cipreses y de los Helechos, la siguiente imagen muestra la distancia de alcance de la red considerando que son 760m de subida desde el nodo final color verde hacia el nodo rojo que es el nodo Coordinador, mientras que el nodo Router señalado de color azul se encuentra a una distancia media entre ambos es decir aproximadamente 380 m.



Figura 42 Pruebas de conectividad de la red fotos reales

Hay que tener en cuenta que el alcance disminuye en caso de existir obstáculos como paredes o lugares cerrados tales como estacionamientos subterráneos o túneles. Las pruebas realizadas dieron como resultado que la red perdía conectividad si el dispositivo final se encontraba alejado y escondido en algún túnel o estacionamiento, como se detalla en la siguiente figura:



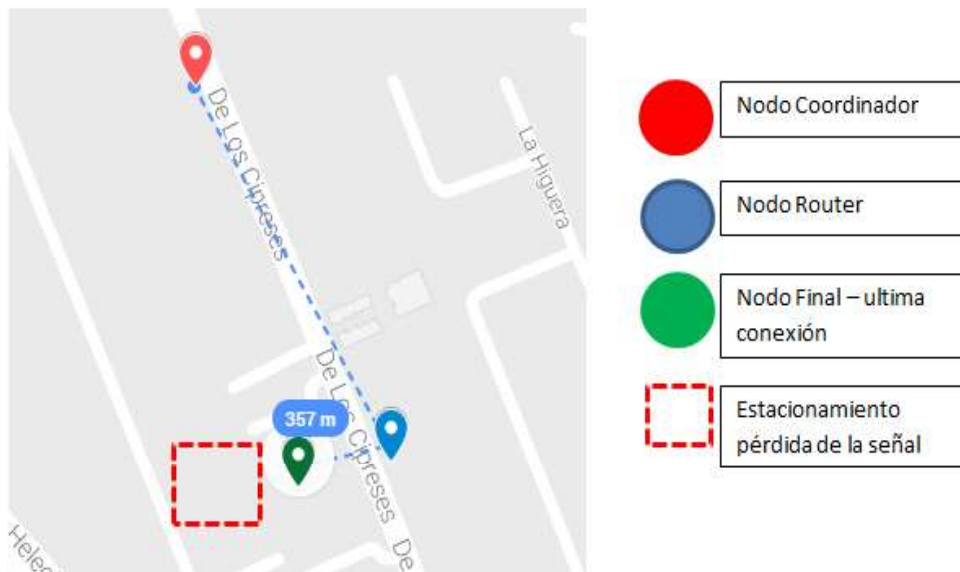


Figura 43 Pruebas de conectividad de la red – Espacios cerrados

Una vez realizadas las pruebas de distancia fue necesario realizar las pruebas con factores de clima, ambas se realizaron en clima despejado y otro en un clima nublado respectivamente en ambos casos no influyó el clima con la conectividad de la red de los dispositivos. Para medir la pérdida de señal no se lo realizó con ningún dispositivo medidor de potencia sin embargo para una referencia manual y propia del nodo al perder señal el nodo final dejaba de transmitir esto se lo puede observar en su led de conectividad de red, mientras este quedaba fijo la información ya no llegaba a la estación central. Debido a ello se deducía y comprobaba que la red no llegaba a dichos alcances de distancia ni de obstáculos.

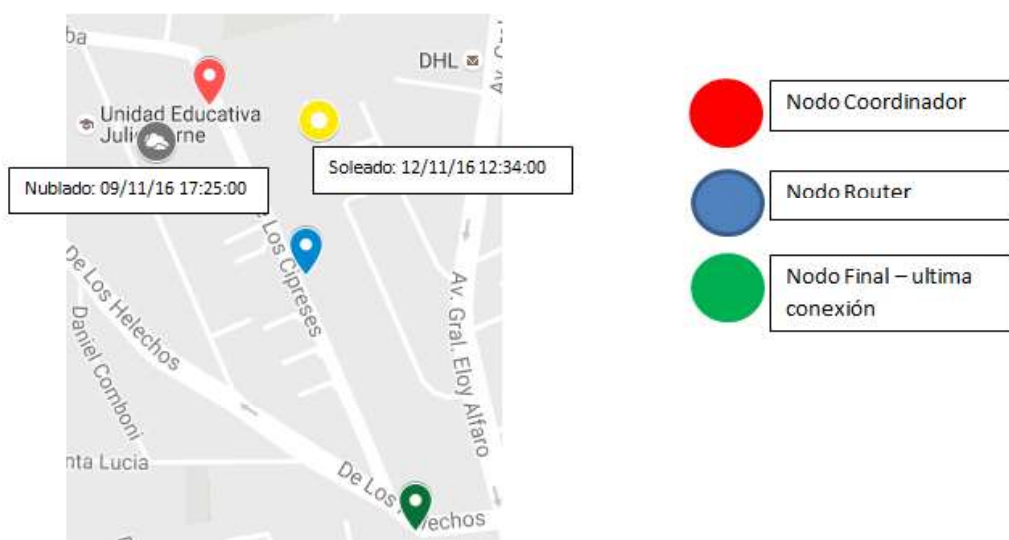


Figura 44 Pruebas de conectividad de la red – Clima

## 5.2. Pruebas basadas en conectividad del módulo GPS

Uno de los principales obstáculos que fue determinado en las pruebas realizadas fue la conectividad del GPS.

- La conectividad del GPS en espacios cerrados es casi nula pues el dispositivo no genera coordenadas en ningún intervalo de tiempo. La prueba fue realizada durante 1h40min en un espacio cerrado.
- La conectividad del GPS en espacios semi abiertos es promedio pues depende del intervalo de tiempo en encontrar el conjunto de satélites y engancharse al mismo. La prueba duró aproximadamente 15 min
- La conectividad del GPS en espacios abiertos depende del tiempo en encontrar un conjunto de satélites y engancharse al mismo. El tiempo promedio de conexión es de 10 min



Figura 45 Pruebas de conectividad de GPS

Por lo tanto para la conectividad del GPS en el sistema prototipo hay que tener en cuenta que la mejor forma de conexión es en espacios abiertos. Esto es basado en las pruebas experimentadas realizadas en la Universidad de las Américas en la sede Queri.

### 5.3. Verificación del Prototipo

Para la verificación del funcionamiento del prototipo se realizó varias pruebas las cuales se agruparon en el sistema central (aplicativo) y la recepción de coordenadas.

La primera prueba al recorrer aproximadamente 600m generaban alrededor de 4 a 6 coordenadas en un intervalo de tiempo programado de 3 segundos.



Figura 39 Pruebas de verificación

Revisando las calibraciones del GPS conjuntamente con la programación de datos desde el módulo Arduino UNO R3 se lograron obtener mayor cantidad de coordenadas determinando los lugares en los que estuvo el dispositivo final.

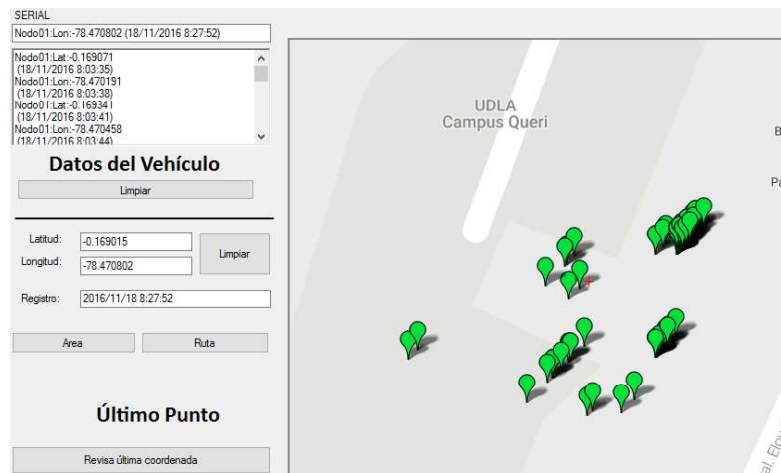


Figura 40 Pruebas de verificación y funcionamiento

En consideración una vez realizadas las pruebas del funcionamiento del prototipo generó varias conclusiones al manejar este tipo de redes con sus ventajas y desventajas. Formas de optimización para en un futuro poder mejorar el prototipo.

## **6. Conclusiones y Recomendaciones**

### **6.1 Conclusiones**

Se procedió a realizar un análisis correspondiente a las distintas marcas de sensores inalámbricos con cada una de sus características y principios de funcionamiento con el fin de determinar que marca era la mejor para la adaptación del prototipo, dentro de ellas fue seleccionada la tecnología mediante módulos Xbee por sus características de cobertura, manejo de software, configuración, costo y acceso al medio ecuatoriano que se adaptaban al desarrollo del prototipo. Sin embargo se puede concluir que para la implementación del prototipo a gran escala (ciudad), no necesariamente Xbee presenta las mejores características en cuanto a distancia, pues existen mejores tipos de tecnologías que se adaptan a características de gran escala. Se las ha procedido a señalar en el Anexo 3.

De igual forma se procedió a realizar un análisis correspondiente a la captura de datos mediante el dispositivo GPS, el cual mediante el Protocolo NMEA y la extracción de datos de la trama \$GPRMC permitió capturar los datos para el desarrollo del prototipo. Es necesario mencionar la utilización de la librería TinyGPS dentro del módulo Arduino Uno, misma que considerando la adaptabilidad con el módulo Xbee permitió extraer los datos necesarios de localización y enviarlos a través de la red inalámbrica.

A nivel de costo del prototipo, se determinó que la utilización de los dispositivos Xbee eran los más económicos para el desarrollo del mismo, sin embargo para una implementación a gran escala, se procedió a realizar un análisis de costos adjunto en el Anexo 4. Donde se concluye que para la implementación del

prototipo el costo de la red es más económico que el resto de tecnologías, sin embargo en cuestión de funcionalidad dentro de una ciudad el costo incrementaba notablemente por el número de sensores a utilizar, específicamente por el rango de cobertura y considerando los obstáculos dentro de los trayectos. Por lo tanto a gran escala es más viable la implementación de la red con otro tipo de tecnologías debido a que tienen mayor cobertura y se necesitarían menor cantidad de nodos.

En caso de la inclusión de más nodos finales, es necesario una configuración del nodo Router en modo API, el cual mediante la descomposición de la trama permita el acceso de uno o algunos nodos finales dentro de su rango de cobertura y transmitir la información de cada uno de ellos hacia el nodo coordinador.

Se demostró el funcionamiento de la red WSN en base a varias pruebas realizadas donde se analizó la conformación de los nodos en base a su estructura y la de sus componentes. Obteniendo como resultado el enlace hasta una distancia de 380m entre Coordinador-Router y Router-Dispositivo Final con una transmisión de datos (latitud y longitud) por todos los nodos de la red.

El manejo del dispositivo NEO6M V1 es determinante ya que si este no captura los datos (coordenadas), la información transmitida hacia la estación central es nula. Como conclusión se puede determinar que el funcionamiento del GPS depende del tiempo que tome el dispositivo en enlazarse con los satélites, adicional a factores como el clima o obstáculos ya que los mismos generan un retraso en la captura de datos.

Para el manejo adecuado de la Shield de Xbee, es necesario el momento de la configuración del nodo que el interruptor se encuentre en modo USB para que pueda cargar la información , una vez realizada recordar colocar el interruptor en modo Xbee para que se pueda enganchar en la red, caso contrario no transmitirá información.

Durante las pruebas realizadas es necesario mencionar que la distancia de la red está directamente involucrada con los obstáculos que posee en su vista directa, así como también la planitud del terreno, ya que en sectores con huecos o a alturas determinadas (8m) la conectividad de la red empieza a decaer. Por ello se concluye que el uso de los dispositivos Xbee son para un ambiente más interno, de menos distancia, como puede ser dentro de un edificio, casa o hospital con el fin de aprovechar mejor sus características.

Dentro de las distintas pruebas realizadas una vez implementado el prototipo se hallaron y analizaron varios problemas que fueron encontrándose en cada esquema durante el flujo de la programación, propiamente en los nodos Router y Final mediante estas observaciones se procedió a comprobar el funcionamiento de cada esquema optimizando recursos de programación Librerías (TinyGPS, TinyGPS Plus). Encontrando al final funcionalidades propias de los componentes que desarrollándolas minuciosamente permitieron al final un correcto funcionamiento del prototipo

## 6.2 Recomendaciones

Para un mejor manejo del GPS NEO6M se recomienda saber el funcionamiento del mismo a través del software u-blox el cual permite revisar las tramas de envío. Al ser un GPS de bajo costo en el mercado ecuatoriano (\$25), el nivel de cobertura o enlace no es el idóneo para una adaptabilidad del prototipo a gran escala. Se recomienda utilizar un GPS con mayor rango de cobertura y actualización de coordenadas.

De igual forma para un manejo correcto de la transmisión de datos a partir del nodo final es necesario una correcta captura de datos y transmisión de los mismos para ello el nodo final debe utilizar la librería TinyGPS para poder capturar dichas funciones, así como una correspondiente librería para la habilitación de puertos seriales.

El manejo de la tecnología Xbee es fácil de configurar para los envíos de tramas AT sin embargo para envío de tramas de forma API se recomienda realizar una verificación de tramas donde se identifiquen la información enviada con los respectivos ajustes de identificación de Transmisor y de Receptor

Para la configuración del nodo Router y el Final es necesario la configuración del módulo Arduino UNO R3 para el cual se debe tener en cuenta el puerto serial en el cual está conectado antes de cargar el programa desarrollado. Como una indicación adicional es necesario que durante la carga del programa el interruptor del shield de Xbee se encuentre en modo USB para que pueda cargar toda la información. Una vez cargada la información es necesario colocar el interruptor nuevamente en el modo Xbee.



Para un mayor alcance de la red WSN se recomienda potencializar los módulos Xbee mediante la colocación de antenas las cuales permiten una mayor cobertura de red tanto para los dispositivos Router como para los dispositivos finales.

En caso de un posible desarrollo del protipo o implementación dentro de un escenario real de vehículos. La red de sensores inalámbricos cambiaría a una topología mesh la cual se recomienda que por el número de Routers a utilizar y el número de dispositivos finales a engancharse se deben manejar bajo configuración API

En caso de la implementación en un escenario macro y real es necesario la incorporación de un GPS con mejores características el cual permita una conexión mucho más rápida con el conjunto de satélites, o a su vez se recomienda utilizar un módulo multifunción el cual ya incorpore tecnología GPRS o GSM

Para la alimentación de los nodos Router se recomienda incorporar una fuente de energía ya sea por alimentación directa de electricidad dentro de las postes o edificios con un circuito estabilizador de voltaje con el fin de encontrarse alimentados durante todo el proceso de monitoreo.

Para la transmisión de datos desde los nodos Router hacia el nodo coordinador con cualquier tipo de tecnología a implementarse , se puede recomendar utilizar un medio de transmisión si es posible ya instalado , por ejemplo si se tiene una red de fibra óptica desplegada por la Ciudad dentro de cada estación de un transporte público, caso puntual Trolebus, lo más viable sería aprovechar el acceso al medio de transmisión de fibra para colocar los dispositivos con el fin de tener una mayor transmisión de datos .

## 7. Referencias

- El Comercio. (2012). El robo de vehículos registró un incremento en el año que termina. Recuperado el 12 de Octubre de 2016, de <http://www.elcomercio.com/actualidad/seguridad/robo-de-vehiculos-registro-incremento.html>
- Barcell, M. F. (Noviembre de 2014). M. F. BARCELL (Manuel Fernandez Barcell). Recuperado el 14 de Octubre de 2016, de <http://www.mfbarcell.es/>
- Delgado, D., Hurtado, F., Pinto, A., Rodríguez, O., & Tristán, C. (2010). Wireless Sensor Network. Recuperado el 14 de Octubre de 2016, de <http://wsnproyecto.blogspot.com/2010/07/wireless-sensor-network.html>
- Guerrero, J. C. (2009). Localización en interiores usando redes inalámbricas de sensores. Recuperado el 14 de Octubre de 2016 de, <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11750/fichero/Carpeta+3%252FCapitulo3.pdf>
- Libelium. (2014). Libelium Adds Extreme Range Wireless Connectivity to Waspote IoT Sensors. Recuperado el 14 de Octubre de 2016 de, <http://www.libelium.com/extreme-range-wireless-sensors-connectivity-through-buildings-in-city-lora-868mhz-915mhz/>
- National Instrumets. (2009). Topologías de red WSN. Recuperado el 14 de Octubre de 2016 de, <http://www.ni.com/white-paper/7142/es/#toc3>
- Rueda, R. (2015). El Universo. 4,8 autos por día robaron en Quito en 2014. Recuperado el 23 de Octubre de 2016 de, <http://www.eluniverso.com/noticias/2015/01/19/nota/4456696/48-autos-dia-robaron-quito>.
- Sensor, B. (2014). Nodos y sensores en WSN y particularidades generales. Recuperado el 14 de Octubre de 2016 de, <http://smarcities.i-ambiente.es/?q=blogs/nodos-y-sensores-en-wsn-particularidades-generales>

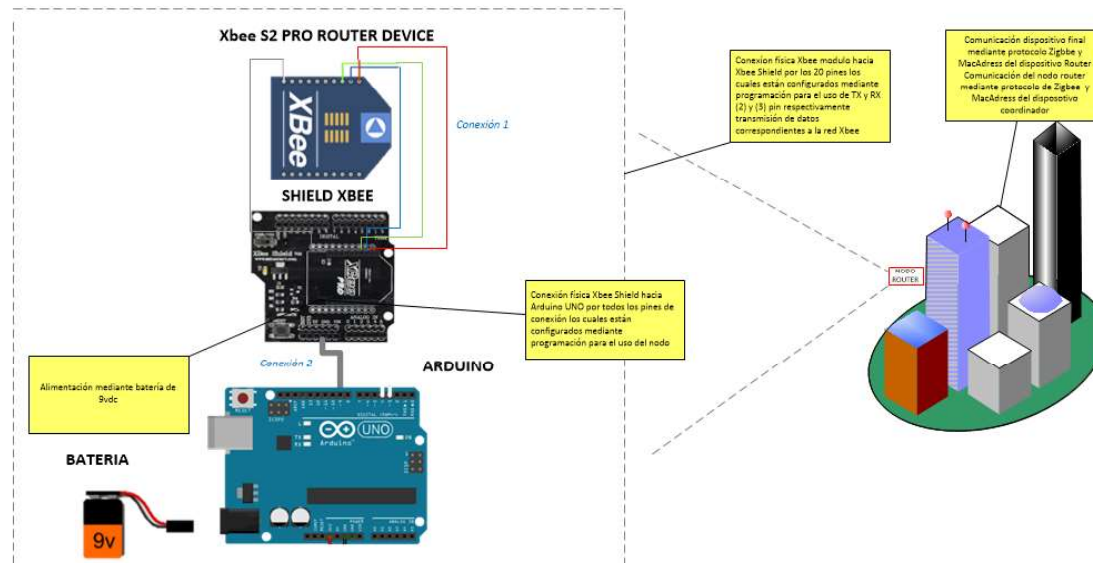
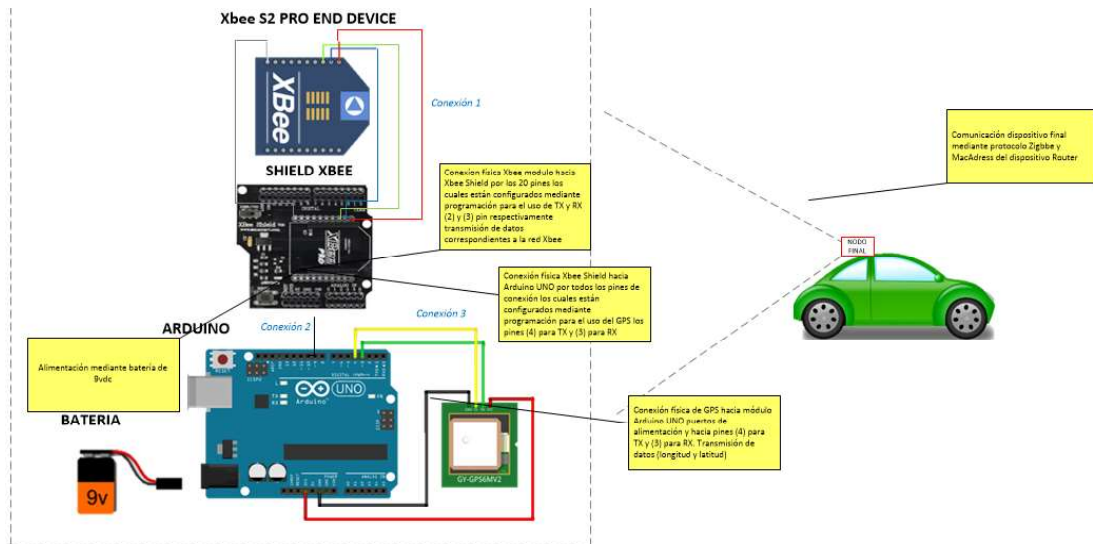
Arduino IDE (s.f.) Arduino Software (IDE). Recuperado el 14 de Octubre de 2016 de, <https://www.arduino.cc/en/Guide/Environment>

National Instruments (2009), Redes WSN ¿Qué es una Red de Sensores Inalámbricos?. Recuperado el 18 de Octubre de 2016 de, <http://www.ni.com/white-paper/7142/es/>

Libelium. (2015). Libelium Adds Extreme Range Wireless Connectivity to Waspote IoT Sensors. Recuperado el 12 de Diciembre de 2016 de, <http://www.libelium.com/extreme-range-wireless-sensors-connectivity-through-buildings-in-city-lora-868mhz-915mhz/>

## **ANEXOS**

# ANEXO1: Diagrama Final Prototipo



**Xbee S2 COORDINADOR**

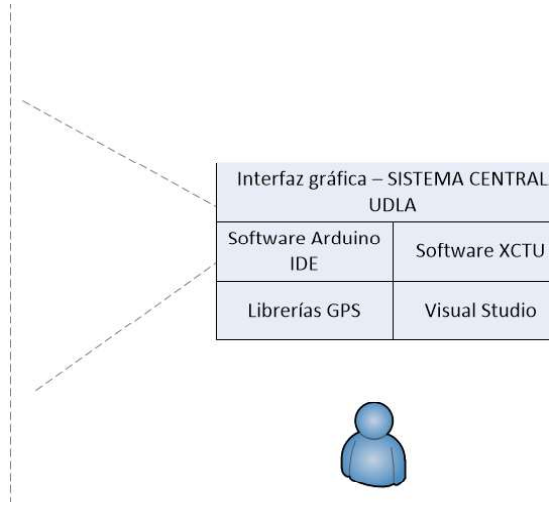
Conexión física Xbee módulo hacia Xbee USB Explorer manejo de datos recibidos de latitud y longitud hacia un puerto serial - USB para la consolidación de información

Conexión 1



**XBEE EXPLORER**

Conexión 2



Interfaz gráfica – SISTEMA CENTRAL UDLA	
Software Arduino IDE	Software XCTU
Librerías GPS	Visual Studio



## ANEXO 2: Protocolo NMEA

NMEA (National Marine Electronic Association) es un protocolo que permite la transmisión y captura de datos.

La función del protocolo NMEA es el envío de una línea de datos denominada una sentencia "sentence" la cual es totalmente autónoma e independiente y contiene los datos capturados mediante el receptor GPS.

La mayoría de los programas que proporcionan información acerca de la localización en tiempo real interpretan y esperan que los datos estén en formato NMEA. Estos datos incluyen la PVT completa (posición, velocidad, tiempo) solución calculada por el receptor GPS

Hay sentencias estándar para cada categoría de dispositivo y también hay la posibilidad de definir sentencias patentadas para su uso por alguna empresa privada. Todas las sentencias estándar tienen un prefijo de dos letras que define el dispositivo que utiliza ese tipo de oración. (Para los receptores GPS el prefijo es GP.) Seguido por una secuencia de tres letras que define el contenido de la sentencia.

Cada frase comienza con un '\$' y termina con una secuencia de retorno (A\*) y no puede superar los 80 caracteres de texto visible.

Los datos se encuentran dentro de esta misma línea separados por comas. Su formato de texto es ASCII y se puede extender a través de múltiples sentencias en ciertos casos especiales, pero normalmente está contenida totalmente en una frase de longitud variable

El protocolo posee 19 tipos de sentencias:

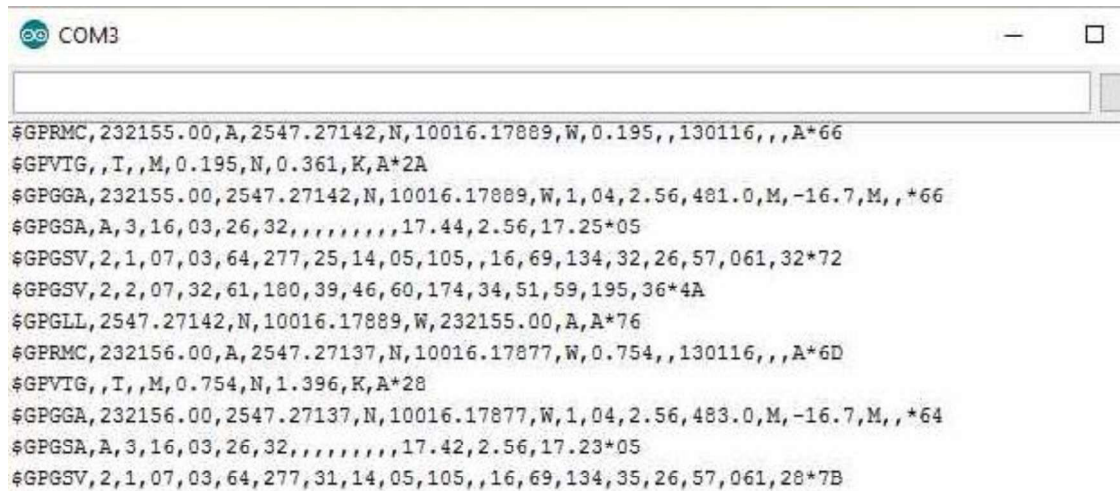
### ANEXO 3: Sentencias del Protocolo NMEA

N	Sentencias NMEA	Descripción
1	\$GPBOD	Bearing, origin to destination
2	\$GPBWC	Bearing and distance to waypoint, great circle
3	\$GPGGA	Global Positioning System Fix Data
4	\$GPGLL	Geographic position, latitude / longitude
5	\$GPGSA	GPS DOP and active satellites
6	\$GPGSV	GPS Satellites in view
7	\$GPHDT	Heading, True
8	\$GPR00	List of waypoints in currently active route
9	\$GPRMA	Recommended minimum specific Loran C data
10	\$GPRMB	Recommended minimum navigation info
11	\$GPRMC	Recommended minimum specific GPS/Transit data
12	\$GPRTE	Routes
13	\$GPTRF	Transit Fix Data
14	\$GPSTN	Multiple Data ID
15	\$GPVBW	Dual Ground / Water Speed
16	\$GPVTG	Track made good and ground speed
17	\$GPWPL	Waypoint location
18	\$GPXTE	Cross track error, Measured
19	\$GPZDA	Date & Time

Mediante el uso del puerto Serial se puede revisar la trama enviada, con los detalles previamente mencionados.



## ANEXO 4: Tramas protocolo NMEA



```
$GPRMC,232155.00,A,2547.27142,N,10016.17889,W,0.195,,130116,,,A*66
$GPVTG,,T,,M,0.195,N,0.361,K,A*2A
$GPGGA,232155.00,2547.27142,N,10016.17889,W,1,04,2.56,481.0,M,-16.7,M,,*66
$GPGSA,A,3,16,03,26,32,,,,,,,,,17.44,2.56,17.25*05
$GPGSV,2,1,07,03,64,277,25,14,05,105,,16,69,134,32,26,57,061,32*72
$GPGSV,2,2,07,32,61,180,39,46,60,174,34,51,59,195,36*4A
$GPGLL,2547.27142,N,10016.17889,W,232155.00,A,A*76
$GPRMC,232156.00,A,2547.27137,N,10016.17877,W,0.754,,130116,,,A*6D
$GPVTG,,T,,M,0.754,N,1.396,K,A*28
$GPGGA,232156.00,2547.27137,N,10016.17877,W,1,04,2.56,483.0,M,-16.7,M,,*64
$GPGSA,A,3,16,03,26,32,,,,,,,,,17.42,2.56,17.23*05
$GPGSV,2,1,07,03,64,277,31,14,05,105,,16,69,134,35,26,57,061,28*7B
```

Para el manejo del protocolo se optó por la ayuda de la librería TinyGPS(), la cual está directamente relacionada con la sentencia: **\$GPRMC** (Recommended minimum specific GPS/Transit data).

TinyGPS es una librería para la configuración dentro de Arduino y está diseñada para proporcionar la mayor parte de información y funcionamiento del protocolo GPS NMEA. Optimiza los datos enfocados en los métodos de encode(), get\_position(). Dentro de la trama enviada por la sentencia \$GPRMC se puede encontrar la siguiente información:

ANEXO 5: Estructura trama \$GPRMC

Trama	\$GPRMC,220516,A,5133.82,N,00042.24,W,173.8,231.8,131116,004.2,W*70											
\$GPRMC	220516	A	5133.82	N	42.24	W	173.8	231.8	131116	4.2	W	*70
Segmento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

A continuación se da un detalle de la trama por cada uno de los segmentos detallados:

ANEXO 6: Estructura trama \$GPRMC

Segmento	Detalle	Explicación
1	Time Stamp	Detalle de la hora GMT (04:42:35)
2	Validity - A-ok V-invalid	A indicación de que el dato de posición esta fijado y es correcto (ok). Mientras que el indicador V seria no válido
3	Current Latitude	Es el dato de latitud del dispositivo
4	North/South	Indicador Norte/Sur
5	Current Longitude	Es el dato de longitud del dispositivo
6	East/West	Indicador Este/Oeste
7	Speed in knots	Velocidad en nudos
8	True course	Orientación en grados
9	Date Stamp	Fecha
10	Variation	Variación
11	East/West	Indicador Este/Oeste Final
12	Checksum	Final

Mediante el método `get_position(&latitude, &longitude)`, se pueden extraer los datos previamente validados con el fin de incorporarlos dentro del nodo final de la red Xbee incorporada en el proyecto.

## ANEXO 7: Otras Tecnologías

Para un mayor alcance dentro del prototipo incorporando el uso de tecnologías realmente enfocadas a gran escala, se puede encontrar varios proveedores los cuales tienen una oferta de productos específicos para funcionamiento a gran escala. Se procede a detallar algunos de ellos:

### **Libelium Sensors y una conexión con Sigfox para la construcción de Smart Cities y apoyo al Internet de las cosas (IoT).**

Libelium ha añadido conectividad inalámbrica Sigfox a su manejo de nodos sensores como Wasmote OEM y Wasmote Plug and Sense con el fin de construir ciudades inteligentes y proyectos mediante (IoT), los cuales requieren bajo consumo de energía, y generan una transmisión de datos inalámbrica de largo alcance en la red mundial Sigfox.

Ambas líneas de dispositivos sensores Wasmote son "SIGFOX Ready™", la certificación garantiza el máximo rendimiento independientemente del lugar que se encuentre la red global Sigfox. En la actualidad, la red Sigfox se despliega en diez países europeos y está programado para cubrir las principales ciudades de Estados Unidos, incluyendo Boston, Los Angeles, Nueva York y San Francisco.

La línea de Wasmote OEM permite a los desarrolladores crear prototipos de una amplia gama de aplicaciones; Wasmote Plug & Senses, dispositivos que ofrecen fácil configuración de red para aplicaciones como Smart Cities, control ambiental, control vehicular o estacionamiento.

Uno de los dispositivos que esta promoviendo el desarrollo de Smart Cities es el nodo

## ANEXO 8: Waspote Plug & Sense! Smart Environment features Sigfox Connectivity

Tomado de (Libelium World, 2015)



Para el funcionamiento de este tipo de sensor es considerable analizar sus características como modularidad, escalabilidad e interoperabilidad las cuales son claves para la construcción de Smart Cities y la incorporación de IoT, con el fin de brindar una solución inmediata para muchos problemas o automatizaciones de procesos, donde los sensores inalámbricos pueden ser autónomos y transmitir a través de largas distancias.

## ANEXO 9: Funcionamiento Waspote Plug & Sense with SIGFOX

Tomado de (Libelium World, 2015)



Dentro de los dispositivos que manejan la tecnología Sigfox mediante libelium, se encuentran los siguientes dispositivos con las siguientes características técnicas.

#### ANEXO 10: Dispositivos Sigfox

<b>Sigfox 868</b>	<b>Sigfox 900</b>
	
<b>Características</b>	<b>Características</b>
Frequency: ISM 868 MHz	Frequency: ISM 900 MHz
- TX Power: 16 dBm	- TX Power: 24 dBm
- Chipset consumption:	- Chipset consumption:
-- TX: 51 mA @ +16 dBm	-- TX: 230 mA @ +23 dBm
-- RX: 16 mA	-- RX: 21 mA
- Receive sensitivity: -126 dBm	- Receive sensitivity: -127 dBm
- ETSI limitation: 140 packets of 12 bytes, per module per day	- FCC limitation: Pending
- Range: Typically, each base station covers some km. Promedio de 3 km	- Range: Typically, each base station covers some km. Promedio de 3 km
- Sigfox certificated: Class 0u (the highest level)	- Receiver: purchase your own base station or use networks from LoRaWAN operators
- Adaptable a tarjetas como RaspberryPI, Arduino, entre otras	- Adaptable a tarjetas como RaspberryPI, Arduino, entre otras

Las instalaciones pueden encontrarse al aire libre en farolas y fachadas de los edificios o se pueden ajustar fácilmente el nodo de postes de luz de la calle.

Una vez que se asegura el nodo sólo tiene que pulsar el botón de encendido y el nodo se iniciará automáticamente para enviar los datos recogidos de los sensores a la puerta de enlace.

#### ANEXO 11: Instalación Wasmote Plug & Sense

Tomado de (Libelium World, 2015)



La programación del nodo sensor fue desarrollada con código abierto con el fin de desarrollar distintos tipos de aplicaciones. Otras características aparecen en la plataforma de hardware y el API de software con un Generador de Interfaz gráfico que permite programar Wasmote de la forma más sencilla.

Wasmote multiplicó el número de sensores y a su vez el número de protocolos de comunicación inalámbrica que soporta, incluyendo wi-fi, zigbee, 802.15.4, bluetooth, nfc, 3g o conmutación entre dos de estas tecnologías. Adicional a la incorporación de una plataforma que además de recibir la

información capturada por los sensores, procede con un envío a MESHLIUM, el cual es un dispositivo gateway que descarga los datos hacia la nube, haciendo que sean accesibles desde cualquier lugar.

La adaptabilidad para el proyecto desarrollado es muy viable debido a su módulo 4G dispone de un receptor GPS que permite realizar fácilmente aplicaciones de seguimiento en tiempo real cubriendo grandes distancias.

El módulo es simple ya que permite leer las coordenadas GPS (longitud y latitud) y los envía mediante una petición HTTP a un servidor web, junto con la información adicional de los sensores incluidos en el nodo. Y mediante el uso de un aplicativo se puede mostrar la ubicación en tiempo real.

## ANEXO 12: Adaptabilidad al prototipo Geolocalización Tomado de (Libelium World,2015)



Dentro de las características generales de estos dispositivos se pueden encontrar las siguientes:

- IP65 a prueba de agua
- 11 modelos que integran más de 110 sensores.
- Cambios de sensor en cuestión de segundos.
- Energía solar con el panel interno y externo.
- Radios: 802.15.4, 868, 900, Wi-Fi, 4G, Sigfox y LoRaWAN.
- Programación por aire (OTA).
- Soportes especiales listos para su instalación.
- Totalmente certificado para los principales mercados: CE, FCC, IC, ANATEL, RCM, PTCRB, AT & T.

Para la aplicación de este tipo de nodos en Smart Cities se encuentran distintos modelos específicos para algún control o monitoreo por ejemplo, gases, tráfico, niveles de impurezas, radiación, conectividad de redes mediante dispositivos móviles entre otros



## ANEXO 13: Funcionalidades en Smart Cities

Tomado de (Libelium World,2015)





Adicional a lo mencionado la adaptabilidad del nodo libelium que permite tener mayor distancia es mediante la Alianza Lora, específicamente para soluciones LoRaWAN que son compatibles con Waspote. Además de la compatibilidad con Kerlink como una solución para sensores Waspote LoRaWan ofrecen conectividad fuera de la caja con Actility, y el despliegue de la red y la capacidad de gestión con Lorient y Orbiwise backends.

ANEXO 14: Waspote Plug & Sense! Smart Environment features LoRa  
Tomado de (Libelium World,2015)



Dentro de las características técnicas que brindan estos dispositivos con el uso de LoRa son los detallados en la siguiente tabla:

## ANEXO 15: Dispositivos LoRaWan

LoRaWAN 868	LoRaWAN 900
	
Características	Características
- Protocol: LoRaWAN 1.0, Class A	- Protocol: LoRaWAN 1.0, Class A
- LoRaWAN-ready	- LoRaWAN-ready
- Frecuencia: 868 MHz and 433 MHz ISM	- Frequency: 900-930 MHz ISM band
- TX power: up to +14 dBm	- TX power: up to +18.5 dBm
- Sensitivity: down to -136 dBm	- Sensitivity: down to -136 dBm
- Rango de Cobertura : Mayor a 15 km en zonas suburbanas (rurales) y mayor a 5 km en zonas Urbanas	- Rango de Cobertura : Mayor a 15 km en zonas suburbanas (rurales) y mayor a 5 km en zonas Urbanas
- Chipset consumption: 38.9 mA	- Chipset consumption: 124.4 mA
- Radio bit rate: from 250 to 5470 bps	- Radio bit rate: from 250 to 12500 bps
- Receiver: purchase your own base station or use networks from LoRaWAN operators	- Receiver: purchase your own base station or use networks from LoRaWAN operators
- Adaptable a tarjetas como RaspberryPI, Arduino, entre otras	- Adaptable a tarjetas como RaspberryPI, Arduino, entre otras

## ANEXO 16: Análisis de Costos

Dentro del costo del prototipo se procede a detallar el costo de cada uno de los dispositivos adquiridos para la elaboración del mismo

## ANEXO 17: Costo del Prototipo

Nodo Coordinador	Costo (\$)	Cantidad
Xbee S2 PRO	\$ 45.00	1
Gateway Xbee Shield	\$ 25.00	1
SubTot 1	\$ 70.00	2
Nodo Router		
Xbee S2 PRO	\$ 45.00	1
Xbee Shield	\$ 25.00	1
Arduino UNO	\$ 10.00	1
Bateria	\$ 3.00	1
Caja Router	\$ 10.00	1
SubTot 2	\$ 93.00	5
Nodo Final		
Xbee S2 PRO	\$ 45.00	1
Xbee Shield	\$ 25.00	1
Arduino UNO	\$ 10.00	1
Bateria	\$ 3.00	1
GPS NEO6M	\$ 25.00	1
Caja Router	\$ 10.00	1
SubTot 3	\$ 118.00	6
<b>TOTAL COSTO PROTOTIPO</b>	<b>\$ 281.00</b>	<b>13</b>

Para la viabilidad de poder implementar el prototipo a gran escala hay que tener en cuenta la cobertura de la red implementada al querer cubrir una distancia lineal de 10km se estaría utilizando 10 Nodos final, con este particular únicamente considerando el costo del dispositivo mas no de la programación del mismo ni desarrollo del mismo es costo se estaría en **\$1,343.00**.

Al realizar un análisis de costos en función de un supuesto que sería la adaptabilidad del prototipo ya en la ciudad, se determina lo siguiente en cuanto a costo, respecto a otras tecnologías.

#### ANEXO 18: Costo del Prototipo Sigfox 808

Nodo Coordinador	Costo (\$)	Cantidad
SigFox 808	\$ 112.40	1
Gateway Shield	\$ 0.00	0
SubTot 1	\$ 112.40	1
Nodo Router		
SigFox 808 +Arduino shield	\$ 112.40	1
Arduino UNO	\$ 10.00	1
Bateria	\$ 3.00	1
Caja Router	\$ 10.00	1
SubTot 2	\$ 135.40	4
Nodo Final		
SigFox 808 +Arduino shield	\$ 112.40	1
Arduino UNO	\$ 10.00	1
Bateria	\$ 3.00	1
GPS NEO6M	\$ 25.00	1
Caja Router	\$ 10.00	1
SubTot 3	\$ 160.40	5
<b>TOTAL COSTO PROTOTIPO SIGFOX</b>		<b>10</b>
	<b>\$ 408.20</b>	

Si bien el costo del prototipo hubiera aumentado a \$408.20 considerando el tiempo de importación del producto, para la escalabilidad del proyecto dentro de la ciudad hay que considerar que de igual forma al caso anterior, la red implementada al querer cubrir una distancia lineal de 10km se estaría utilizando al menos 3 Nodos final, con este particular únicamente considerando el costo del dispositivo mas no de la programación del mismo ni desarrollo del mismo es costo se estaría en **\$729.00.**

Mientras que en el caso de utilizar los sensores mediante LoRa 900

#### ANEXO 19: Costo del Prototipo LoRa 900

Nodo Coordinador	Costo (\$)	Cantidad
LoRa 900	\$ 200.00	1
Gateway Shield	\$ 0.00	0
SubTot 1	\$ 200.00	1
Nodo Router		
LoRa 900 +Arduino shield	\$ 200.00	1
Arduino UNO	\$ 10.00	1
Bateria	\$ 3.00	1
Caja Router	\$ 10.00	1
SubTot 2	\$ 223.00	4
Nodo Final		
LoRa 900 +Arduino shield	\$ 200.00	1
Arduino UNO	\$ 10.00	1
Bateria	\$ 3.00	1
GPS NEO6M	\$ 25.00	1
Caja Router	\$ 10.00	1
SubTot 3	\$ 248.00	5
<b>TOTAL COSTO PROTOTIPO LORA</b>	<b>\$ 671.00</b>	<b>10</b>

Si bien el costo del prototipo hubiera aumentado a \$671 considerando el tiempo de importación del producto, pero dentro de la escalabilidad del proyecto en la ciudad hay que considerar que la red implementada al querer cubrir una distancia lineal de 10km se estaría utilizando al menos 1 Nodo final, con este particular únicamente considerando el costo del dispositivo mas no de la programación del mismo ni desarrollo del mismo es costo se estaría en **\$671.00**.

Verificados el costo de los tres tipos de tecnología que se analizaron se tiene la siguiente matriz de comparaciones

ANEXO 20: Matriz comparaciones prototipo

Tecnología	Costo Prototipo	Adaptabilidad del Proyecto en la ciudad		
		Alcance Km (lineal)	N° nodos a utilizar	Costo estimado del proyecto
Xbee S2 PRO	\$ 281.00	10	10	\$ 1,343.00
SigFox 808	\$ 408.00	10	3	\$ 729.00
LoRa 900	\$ 671.00	10	1	\$ 671.00

El costo del prototipo Xbee S2 PRO es el más viable dentro de la construcción del prototipo ya que es bastante menor en comparación de las dos tecnologías. Sin embargo y como una recomendación para la viabilidad del proyecto en la implementación dentro de la ciudad de Quito, por tema de cobertura en función del alcance en km y la disminución notable en nodos es mediante la tecnología LoRa 900 la cual permite mayor cobertura con un menor costo.

