



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**“Sistema de Monitoreo para el Transporte Urbano
mediante Comunicaciones Inalámbricas”**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

Autor:

XAVIER EZEQUIEL CALLE HEREDIA

Director:

DANIEL ESTEBAN ITURRALDE PIEDRA Ph.D

CUENCA, ECUADOR

2018

DEDICATORIA

Lilia Heredia:

Para mi querida madre, mi apoyo y sustento en el día a día. Eres y has sido mi razón para seguir adelante, endulzando mis días y dándome ánimos en los momentos más duros de mi vida.

Ezequiel Calle:

Mi padre que me ha brindado la posibilidad de continuar mis estudios y cumplir con mis metas.

A mis hermanos Carlos y Valeria, mi cuñada Tatiana y mi primo Fabián:

Para ustedes por los gratos momentos compartidos y las enseñanzas transmitidas. Han sido parte importante en mi desarrollo mediante su ayuda sincera y desinteresada.

Sobrinos:

Mis queridos Agustín y Samuel, los pequeños que se encargan de dar color a mi vida, su inocencia, ocurrencias e imaginación han sido una gran motivación para poder seguir adelante.

Amigos:

Santiago, Paúl y Christian, han sido una de las partes más importantes de mi vida, animándome y aconsejándome buscando siempre lo mejor para mí.

Xavier Ezequiel Calle Heredia.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, que con su apoyo me han permitido continuar estudiando y cumplir mis metas. Especialmente quiero agradecer a mi madre, quien con sus palabras de aliento me ha brindado la fuerza necesaria para continuar a través de este arduo camino, así mismo, su esfuerzo y sacrificio han sido fuente de inspiración en mi vida.

A mi director de tesis Ph.D. Daniel Iturralde, por el interés mostrado como docente y amigo en mi formación tanto académica como personal. Ha sido un gran ejemplo de trabajo honesto y ardua dedicación, guiándome y orientándome constantemente para que pueda alcanzar mis objetivos.

A mis hermanos mi cuñada y mi primo, por el apoyo mostrado siempre, por todos los momentos que hemos compartido, por las risas, los viajes y enseñanzas que me han permitido crecer.

A mis amados sobrinos Samuel y Agustín, quienes me han mostrado el lado más tierno de la vida, inspirándome siempre mediante su inocencia.

A mis 3 grandes amigos Santiago; Paúl y Christian, por los innumerables consejos brindados, por todas las experiencias compartidas, por su comprensión hacia mí. Infinitamente gracias por su invaluable amistad. Especial a Christian quien contribuyó y formó parte de este proyecto de investigación

A mi profesor y amigo Gabriel Delgado, por su constante ayuda, apoyo y consejos desinteresados, gracias por haber contribuido en el desarrollo de este trabajo.

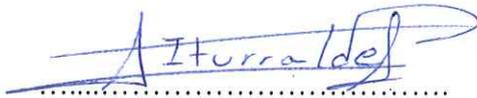
Xavier Ezequiel Calle Heredia.

Sistema de Monitoreo para el Transporte Urbano mediante Comunicaciones Inalámbricas

Resumen

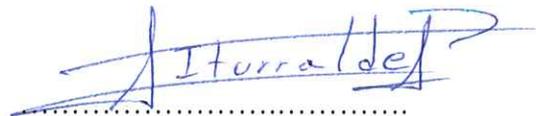
En este trabajo de investigación se aborda uno de los problemas que se buscan solventar a través de las ciudades digitales, que es el sistema de transporte urbano. Se diseña un sistema mediante la utilización de una red de sensores inalámbricos, en el cual, cada unidad cuenta con un módulo de comunicación ZigBee y un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) que permite obtener, la posición y velocidad de cada unidad de transporte, para luego transmitir las hacia una central, donde, mediante un servidor y una base de datos se ha desarrollado un software capaz de analizar y monitorear la información obtenida.

Palabras clave: Ciudades Digitales, Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS), ZigBee.



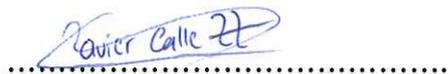
Ing. Daniel Iturralde Ph.D

**Coordinador de Ingeniería
Electrónica**



Ing. Daniel Iturralde Ph.D

Director del trabajo de titulación



Xavier Ezequiel Calle Heredia

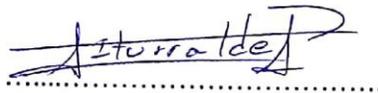
Autor

Monitoring System for Urban Transportation by Wireless Communications

Abstract

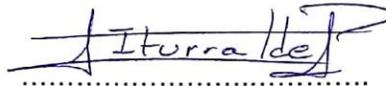
This research work addressed the urban transportation system, which was one of the problems attempted to solve by means of digital cities. A system was designed through the use of a wireless sensor network where each unit had a ZigBee communication module and a global positioning system (GPS). This allowed users to obtain the position and speed of each transport unit and to transmit that information to the central station. A software was developed to analyze and monitor the obtained information through a server and a database

Keywords: Digital Cities, Intelligent Transportation Systems (ITS), ZigBee.



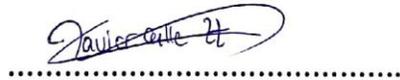
Ing. Daniel Iturralde Ph.D

Electronic Engineering Coordinator



Ing. Daniel Iturralde Ph.D

Thesis Director



Xavier Ezequiel Calle Heredia

Author



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas



Ing. Paúl Arpi
Traductor

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Resumen	iii
INDICE DE FIGURAS E ILUSTRACIONES	vii
INDICE DE TABLAS	x
INDICE DE ECUACIONES	xi
INDICE DE ANEXOS.....	xi
Capítulo 1 Introducción	1
1.1 Motivación de la Investigación	1
1.2 Problemática.....	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Metodología.....	3
1.5 Organización del Trabajo	3
Capítulo 2 Marco Teórico.....	5
2.1 Introducción.....	5
2.2 Tecnologías Inalámbricas.....	5
2.2.1 Bluetooth.....	5
2.2.2 Comunicaciones Móviles	9
2.2.3 RFID.....	15
2.2.4 Wi-Fi	18
2.2.5 ZigBee.....	24
2.3 Sistemas de Transporte Inteligentes	27
2.3.1 Comunicaciones V2V e I2V-V2I.....	28
2.3.2 Tecnologías Inalámbricas en las Comunicaciones Vehiculares.....	29
2.3.3 Principales problemas en las comunicaciones vehiculares	30
2.4 Conclusiones	33
Capítulo 3 Estado del Arte.....	35
3.1 Introducción.....	35
3.2 Bluetooth	35
3.3 GSM	37

3.4	RFID.....	39
3.5	Wi-Fi	41
3.6	ZigBee	43
3.7	Conclusiones	45
Capítulo 4	Descripción del Sistema.....	47
4.1	Introducción.....	47
4.2	Módulo GPS	47
4.3	Microcontrolador.....	49
4.4	Servidor	51
4.5	Base de Datos	61
4.6	Módulos de comunicación Inalámbrica	65
4.6.1	Bluetooth.....	66
4.6.2	GSM	68
4.6.3	Wi-Fi	70
4.6.4	ZigBee.....	74
4.7	Comparativa de tecnologías	77
4.7.1	Frecuencias.....	77
4.7.2	Cobertura.....	77
4.7.3	Velocidad Máxima de Datos.....	78
4.7.4	Topologías.....	78
4.7.5	Número Máximo de Nodos.....	78
4.7.6	Consumo de Potencia.....	79
4.7.7	Movilidad	79
4.7.8	Costo	80
4.8	Conclusiones	80
Capítulo 5	Pruebas y Resultados	82
5.1	Introducción.....	82
5.2	Recepción de la información.....	82
5.3	Visualización de la ubicación en el servidor	82
5.4	Almacenamiento en la base de datos.....	83
5.5	Pruebas de Movilidad.....	84

5.6	Cálculo y comparación de la cobertura máxima con la tecnología ZigBee para el diseño de una red en la ciudad de Cuenca	85
5.7	Conclusiones	88
Capítulo 6	Conclusiones y Recomendaciones	89
6.1	Introducción.....	89
6.2	Conclusiones	89
6.3	Recomendaciones.....	90
	Bibliografía.	91
	ANEXOS:	94

INDICE DE FIGURAS E ILUSTRACIONES

Figura 2.1	Aplicaciones de Bluetooth.....	9
Figura 2.2	Arquitectura de los sistemas de comunicaciones móviles.....	10
Figura 2.3	Red de Núcleo.....	11
Figura 2.4	Red de Acceso.	12
Figura 2.5	Tecnologías FDMA y TDMA.	13
Figura 2.6	Capa de protocolos del modelo OSI.....	14
Figura 2.7	Lector RFID y Etiqueta.	15
Figura 2.8	Interior de la etiqueta.....	16
Figura 2.9	Campos magnéticos cercano y lejano.....	17
Figura 2.10	Modulación ASK y PSK.....	17
Figura 2.11	Espectro de frecuencias. UHF	19
Figura 2.12	Espectro de frecuencias. SHF.....	19
Figura 2.13	Adaptador inalámbrico USB.....	21
Figura 2.14	Red WLAN mediante un router inalámbrico.....	22
Figura 2.15	Modo ad hoc.	22
Figura 2.16	Modo de infraestructura.....	23
Figura 2.17	Direcciones y canales ZigBee.....	26
Figura 2.18	Topologías ZigBee.....	27
Figura 2.19	Comunicaciones V2V e I2V	28

Figura 2.20 Pérdidas de comunicación en redes WLAN debido a la separación entre APs.....	30
Figura 2.21 Utilización de un servidor proxy como intermediario.....	31
Figura 2.22 Combinación de tecnologías inalámbricas.	31
Figura 2.23 Proceso de traspaso.....	32
Figura 2.24 Proceso de traspaso durante la comunicación vehicular.....	33
Figura 3.1 Aplicación con dispositivos BLE	35
Figura 3.2 Fusión de sensores para la navegación vehicular	36
Figura 3.3 Estudio de un sistema basado en Bluetooth para la información de llegada de un bus en tiempo real.	37
Figura 3.4 Sistema de transporte público inteligente mediante sensores en teléfonos móviles	37
Figura 3.5 Sistema en tiempo real para el posicionamiento de un bus metropolitano utilizando GSM-GPS	38
Figura 3.6 Método para la predicción del arribo de buses basado en posicionamiento de células.....	39
Figura 3.7 Un sistema para localización y seguimiento de buses y su visualización mediante RFID	40
Figura 3.8 Sistema inteligente montado en los buses en base a RFID.....	40
Figura 3.9 Sistema de análisis de datos de tránsito utilizando tecnología IoT de bajo coste.....	41
Figura 3.10 Sistema de rastreo de un bus de bajo costo mediante puntos de acceso Wi-Fi	42
Figura 3.11 Seguimiento de bus en tiempo real basado en detección de Wi-Fi y Predicción de tiempo de llegada en entornos urbanos	43
Figura 3.12 Horario de buses inteligentes basado en ZigBee	43
Figura 3.13 Sistema para control de prioridad de buses basado en redes de sensores inalámbricos y ZigBee	44
Figura 3.14 Sistema de monitoreo de buses basado en ZigBee y GPRS	45
Figura 4.1 Sistema a implementar.....	47
Figura 4.2 GPS NEO 7M, vistas posterior y frontal	48

Figura 4.3 Trama de datos obtenida.....	48
Figura 4.4 Tarjeta ARDUINO UNO.....	49
Figura 4.5 Inclusión de las librerías	50
Figura 4.6 Establecimiento de la velocidad de baudios para el serial por software.....	50
Figura 4.7 Uso de la librería <i>TinyGPS</i>	50
Figura 4.8 Programa ejemplo, Panel Frontal	51
Figura 4.9 Programa ejemplo, Diagrama de Bloques	52
Figura 4.10 Diagrama de flujo base para el desarrollo del servidor	53
Figura 4.11 Elementos NI VISA, diagrama de bloques.....	54
Figura 4.12 Elementos NI VISA, panel frontal.....	54
Figura 4.13 Utilización de un <i>Case</i> para seleccionar el bus	55
Figura 4.14 Seleccionador de la unidad de transporte	55
Figura 4.15 Separación de la trama en caracteres individuales	56
Figura 4.16 Comprobación de casos, caso Verdadero	57
Figura 4.17 Comprobación de casos, Caso Falso	57
Figura 4.18 Sub VI para crear un mapa URL en el diagrama de bloques.....	58
Figura 4.19 Sub VI para la creación de un mapa URL en el panel frontal	59
Figura 4.20 Sub VI en el código principal	59
Figura 4.21 Función Invoke Node	60
Figura 4.22 Creación del marcador.....	60
Figura 4.23 Servidor, panel frontal	61
Figura 4.24 Conexión localhost	61
Figura 4.25 Tabla creada.....	62
Figura 4.26 Creación del DSN.....	62
Figura 4.27 Abrir la conexión	63
Figura 4.28 Insertar nuevos valores en la base de datos	63
Figura 4.29 Ingresar el nombre de la tabla en el panel frontal.....	64
Figura 4.30 Visualización de los datos mediante el sub VI Select	64
Figura 4.31 Tabla para visualizar los datos ingresados a la base de datos	65
Figura 4.32 Cierre de la conexión.....	65
Figura 4.33 Formato de la trama enviada.....	66

Figura 4.34. Módulo Bluetooth <i>hm 10</i>	67
Figura 4.35 Configuración del dispositivo como maestro	67
Figura 4.36 <i>SIM 808</i>	68
Figura 4.37 Configuraciones iniciales para el SIM808.....	69
Figura 4.38 Envío de mensaje.....	70
Figura 4.39 Finalización del mensaje.....	70
Figura 4.40 Módulo WIFI232B	71
Figura 4.41 Método para ingresar al modo AT.....	72
Figura 4.42 Respuesta del módulo	72
Figura 4.43 Confirmación para ingresar al modo AT.....	72
Figura 4.44 Verificación del modo de configuración	72
Figura 4.45 Configuraciones básicas del módulo Wi-Fi mediante comandos AT	73
Figura 4.46 Establecer al módulo como servidor TCP.....	74
Figura 4.47 Establecer al módulo como cliente TCP.....	74
Figura 4.48 Módulo <i>xcore2530</i>	75
Figura 4.49 Configuración mediante el archivo hexadecimal.	75
Figura 4.50 Configuración mediante firmware (Coordinador, router o disp. final)	76
Figura 4.51 Envío del mensaje desde el dispositivo final hacia el coordinador	77
Figura 5.1 Recepción de la información	82
Figura 5.2 Servidor en funcionamiento.....	83
Figura 5.3 Almacenamiento en la base de datos en <i>LabVIEW</i>	84
Figura 5.4 Velocidades de movilidad.....	85
Figura 5.5 Diseño de la red ZigBee en el área urbana de la ciudad de Cuenca	87

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Especificaciones de Núcleo.	6
Tabla 2.2 Especificaciones de Malla.....	7
Tabla 2.3 Especificaciones de Protocolo.	7
Tabla 2.4 Comparación de un sistema RFID con un sistema de código de barras.	18
Tabla 2.5 Estándares 802.11	20
Tabla 2.6 Comparación entre una LAN y una WLAN.	23

Tabla 2.7 Direcciones ZigBee.....	25
Tabla 3.1 Resumen del estado del arte.....	46
Tabla 4.1 Principales comandos AT utilizados.....	69
Tabla 4.2 Comparación de tecnologías inalámbricas.....	81

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 5.1 Modelo de propagación de Friis.....	85
--	----

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Diseño de la placa para el módulo ZigBee en el software ARES	94
Anexo 2 Adecuación del UAV para las pruebas de movilidad.....	94
Anexo 3. Prueba de movilidad realizada.....	95

Xavier Ezequiel Calle Heredia

Trabajo de Graduación

Daniel Esteban Iturralde Piedra Ph.D

Junio, 2018

Sistema de Monitoreo para el Transporte Urbano Mediante Comunicaciones Inalámbricas

Capítulo 1 Introducción

1.1 Motivación de la Investigación

Esta investigación tiene por objetivo dar solución a uno de los problemas cotidianos que ocurren en la ciudad, del cual se derivan otras situaciones que afectan a los ciudadanos. Dicho problema es la falta de eficiencia de los medios de transporte públicos, específicamente: de los buses urbanos. Entre las soluciones buscadas para el problema citado se cuenta con: mejorar la movilidad vehicular y descongestionar el tráfico en la ciudad, conocer con un alto grado de exactitud la hora de llegada a cada parada de cada bus, determinar la ruta de cada bus y notificar sobre cambios temporales en las mismas. En otras palabras, ayudará a los usuarios del transporte público a optimizar su tiempo, trayendo consigo una gran conformidad, es decir mayor cantidad de usuarios que opten por el sistema de transporte, dejando de lado sus automóviles. Por tanto, se plantea un sistema de transporte inteligente mediante una red de sensores con una tecnología creciente como lo son los módulos de comunicación inalámbrica, los cuales estarán conectados a una red de datos, para que un usuario pueda obtener y monitorear la información obtenida a través de un servidor, contribuyendo así a la propuesta de convertir a Cuenca en una ciudad digital.

1.2 Problemática

El aumento poblacional en la ciudad implica de manera proporcional un aumento vehicular dando lugar a uno de los mayores problemas urbanos, el

congestionamiento vehicular en la ciudad (Mejía Zumba & Morocho Sigüenza, 2016). La búsqueda de los ciudadanos para satisfacer sus necesidades de movilización ha desembocado en un aumento de la utilización del sistema de transporte público, el cual ha venido actuando de manera poco satisfactoria para los usuarios, originándose problemas de diversa índole en el desarrollo de sus actividades cotidianas, tales como, inseguridad, desconformidad, atrasos en citas, trabajos, etc. Además de dichos problemas, circunstancias ajenas a los conductores, tales como trabajos en las vías, etc. ocasionan que los medios de transporte cambien sus rutas habituales, por lo que el usuario tiene la incertidumbre acerca de dónde puede abordar el medio de transporte requerido. Incluso el ciudadano tiene la incertidumbre acerca de si el medio que está esperando en una parada, tiene disponibilidad de pasajeros o no la tiene. Entre una de las mayores desconformidades está, la larga espera en las paradas para abordar un bus, desperdiciándose el tiempo del usuario. Por lo cual, el sistema de transporte ha sido opacado y poco tomado en cuenta para satisfacer sus necesidades de transporte.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Implementar una red de sensores mediante tecnología inalámbrica para el control de gestión de los buses urbanos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar el estado del arte existente acerca de los métodos utilizados en sistemas de transporte inteligentes.
- Revisar la bibliografía correspondiente a las tecnologías inalámbricas y sistemas de transporte inteligentes.
- Implementar los módulos de comunicación necesarios para el desarrollo del sistema de transporte urbano.
- Desarrollar el modelo del centro de datos para la recopilación de la información proveniente del sistema
- Realizar las pruebas del sistema implementado
- Analizar y obtener las conclusiones de los resultados obtenidos.

1.4 Metodología

- Para analizar el estado del arte acerca de sistemas de transporte inteligentes, se realizará una investigación analítica debido a que se deberán estudiar publicaciones previas relacionadas con el tema, sacar conclusiones de las mismas para adaptarlas al sistema propuesto.
- Para obtener conceptos y bibliografía sobre redes de sensores inalámbricas y sistemas de transporte inteligentes, se realizará una investigación científica debido a que se deberán realizar estudios investigativos de textos, publicaciones, para redactar los conceptos más importantes.
- Para la implementación de hardware, software y la red de sensores inalámbricos, se realizará una investigación experimental debido a que se deberán desarrollar diferentes algoritmos para dicha implementación, los cuales deberán ser verificados antes de ser implementados.
- Para la prueba de funcionamiento, se realizará una investigación experimental debido a que se probará toda la red en conjunto, con cada dispositivo final trabajando de la manera esperada, para obtener los datos de la red de sensores inalámbricos.
- Para la obtención de conclusiones se realizará una investigación analítica para analizar los resultados que se hayan obtenido de la red de sensores, de los cuales se obtendrán las conclusiones del sistema de transporte inteligente.

1.5 Organización del Trabajo

Capítulo 2: Será dedicado a realizar el Marco Teórico con una breve introducción a la tesis de investigación planteada, seguido del estado del arte, relacionado con el tema propuesto, se detallarán métodos utilizados previamente implementados en sistemas de transporte urbano y sistemas de transporte inteligentes basados en redes de sensores inalámbricos.

Capítulo 3: Concerniente al Estado del Arte; aquí se redactan todos los conceptos más relevantes para el correcto entendimiento de la red de sensores inalámbricos planteada, dichos conceptos incluyen: Redes de Datos, Tipos de Redes de Datos,

Tipos de comunicaciones en Redes de Datos, Redes de Sensores, Comunicación inalámbrica.

Capítulo 4: Será dedicado a la implementación del sistema de redes de sensores inalámbricos, para ello, se iniciará con la implementación de hardware necesario, el cual constará de los sistemas embebidos y los módulos inalámbricos para que realicen la comunicación, luego se realizará la implementación de software, en la cual se programarán los sistemas embebidos utilizados para que se comuniquen directamente con los módulos inalámbricos, finalmente, se implementará la red de datos.

Capítulo 5: Se realizarán las pruebas y resultados del sistema de transporte inteligente, iniciando con las pruebas de hardware verificando la correcta comunicación entre el sistema embebido y el módulo inalámbrico, luego se realizarán las pruebas de software obteniendo los datos respectivos, finalmente se probará la red de sensores inalámbricos comprobando la conectividad entre los dispositivos.

Capítulo 6: El capítulo final será dedicado a la formulación de conclusiones a partir de los resultados obtenidos de la implementación de la red de sensores inalámbricos para un sistema de transporte inteligente.

Capítulo 2 Marco Teórico

2.1 Introducción

En este capítulo se detallan los conceptos claves para comprender de mejor manera la implementación del sistema. A los conceptos se los clasificará en dos subtemas los cuales son: Tecnologías Inalámbricas y Sistemas de Transporte Inteligentes.

2.2 Tecnologías Inalámbricas

A lo largo de los años, la necesidad de interconectar computadoras para compartir datos ha aumentado significativamente. La primera red de datos fue desarrollada en la década de los años 60, cuando grandes universidades o centros de investigación requirieron compartir la información entre las computadoras. En el año 1970, se desarrolló el protocolo Ethernet basado en el estándar IEEE 802.3, el cual permite la interconexión entre computadoras que geográficamente no se encuentran muy distantes mediante medios cableados. Así pues, surgió el concepto de Red LAN (Local Area Network). Sin embargo, las necesidades de contar con una mayor comodidad y movilidad dentro de una red, llevó al desarrollo de redes inalámbricas WLAN (Wireless Local Area Network) las cuales, gracias a las nuevas tecnologías han sufrido grandes evoluciones en los últimos años. Resulta pues, que a las redes inalámbricas se las puede dividir en dos categorías: las que tienen un dominio de comunicación de corto rango (Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi) y las que poseen un dominio de amplio rango (GSM, UMTS). Se definió el estándar IEEE 802.11 como la base para las redes WLAN. El estándar 802.11 posee algunas variaciones, trabajan en las frecuencias 2.4GHz y 5GHz, con tasas de transmisión de 6 a 54 Mbps. (Faraz Hasan, Siddique y Chakraborty)

2.2.1 Bluetooth

2.2.1.1 Historia

Bluetooth es una de las tecnologías más conocidas y utilizadas en la actualidad debido a que se encuentra presente en: teléfonos inteligentes, sistemas de computación, etc. En el año 1996, con el fin de implementar estandarizar una tecnología de corto alcance para permitir la conectividad e interoperabilidad entre diferentes dispositivos y fabricantes, 3 industrias se reunieron: Intel, Ericsson y Nokia. El nombre con el que definieron a esta

tecnología fue en honor a un antiguo rey de Dinamarca: Harald Gormsson, mejor conocido como “Diente Azul” debido a un diente que siempre portaba. Entonces, las 3 industrias intentaron unificar las industrias celulares y de computadoras tal como “Diente Azul” unificó Dinamarca en el año 958 d.C. (Bluetooth, 2017)

2.2.1.2 Funcionamiento

Para que esta tecnología pueda trabajar correctamente necesita de varios protocolos y especificaciones. Así mismo, los protocolos y especificaciones que se utilicen dependerán del tipo de aplicación que se esté desarrollando. Al conjunto de diferentes especificaciones que requieran los dispositivos Bluetooth se lo conoce como perfil. Para que dos dispositivos tengan compatibilidad requieren contar con el mismo perfil de especificaciones. Entre los principales grupos de especificaciones se cuenta con las especificaciones de núcleo, las cuales definen los componentes básicos que utilizan los desarrolladores para fabricar los dispositivos interoperables Bluetooth. Las especificaciones de núcleo adoptadas se muestran en la tabla 2.1 (Bluetooth, 2017).

Tabla 2.1 Especificaciones de Núcleo.

ESPECIFICACIONES DE NÚCLEO		
Especificación	Fecha de desarrollo	Estado
Core Version 5.0	Diciembre 6 del 2016	Activo
Core Specification Supplement (CSS) v7	Diciembre 6 del 2016	Activo
Core Specification Addendum (CSA) 6	Julio 12 del 2017	Activo
Core Specification Addendum (CSA) 5	Diciembre 15 del 2015	Activo
Core Version 4.2	Diciembre 2 del 2014	Activo

Fuente: (Bluetooth, 2017)

Así mismo, otro grupo de especificaciones son las especificaciones de malla, las cuales definen los requisitos para poder implementar una red Bluetooth interoperable de mxn dispositivos. Estas especificaciones, además hacen referencia a la seguridad para mantener una comunicación confiable. Se dividen en 3 grupos: perfil de malla, define los requisitos para una red interoperable Bluetooth; modelo de malla, que presenta modelos que definen las funciones de cada nodo en la malla; y propiedades del dispositivo de malla, que define las propiedades que debe cumplir un dispositivo en cada

tipo de malla. La tabla 2.2 presenta los 3 grupos de especificaciones de malla (Bluetooth, 2017).

Tabla 2.2 Especificaciones de Malla.

Especificaciones de Malla adoptadas		
Especificación	Fecha de desarrollo	Estado
Mesh Profile Specification 1.0	13 de Julio del 2017	Activo
Mesh Model Specification 1.0	13 de Julio del 2017	Activo
Mesh Device Properties 1.0	13 de Julio del 2017	Activo

Fuente: (Bluetooth, 2017)

Finalmente, en la tabla 2.3 se presentan algunas especificaciones de protocolo adoptadas que definen: el formato y tipo de encapsulamiento para las tramas de datos enviadas, el control y tipo de tráfico de datos, los canales utilizados para la transmisión, etc. (Bluetooth, 2017).

Tabla 2.3 Especificaciones de Protocolo.

Especificaciones de protocolo adoptadas				
Protocolo/Especificación		Versión	Estado	Fecha de desarrollo
AVCTP	A/V Control Transport	1.4	Active	24 July 2012
AVDTP	A/V Distribution Transport	1.3	Active	24 July 2012
BNEP	Bluetooth Network Encapsulation Protocol	1.0	Active	20 February 2003
IrDA	IrDA Interoperability	2.0	Active	26 August 2010
MCAP	Multi-Channel Adaptation Protocol	1.0	Active	26 June 2008
RFCOMM	RFCOMM	1.2	Active	06 November 2012

Fuente: (Bluetooth, 2017)

2.2.1.3 Topologías

Entonces, Bluetooth es una tecnología de comunicación inalámbrica de baja potencia. Esta tecnología cuenta con dos ramas dependiendo del tipo de topología: *Basic Rate/Enhanced Data Rate* (BR/EDR) y *Low Energy* (LE) (Bluetooth, 2017).

BR/EDR es implementado para una topología punto a punto (P2P) y es ideal para aplicaciones como: parlantes, audífonos, etc.

BLE puede ser desarrollado en 3 topologías:

- Punto a punto: Utilizado en aplicaciones con transferencias pequeñas de datos como: monitores de control médico, máquinas para ejercicio, etc.
- Punto a multipunto (Broadcast): Establece una comunicación de 1:m dispositivos, es decir, un equipo puede transmitir datos hacia diversos dispositivos. El intercambio de información es de buena calidad.
- Malla (Mesh): Esta topología permite una comunicación múltiple $m \times n$ dispositivos. Aquí la transferencia de datos es mucho mayor, por lo que esta topología es ideal para automatización, redes de sensores, etc. La comunicación se realiza de manera segura.

(Bluetooth, 2017)

2.2.1.4 Aplicaciones

Esta tecnología permite una fácil implementación de comunicación inalámbrica para diversos usos, tal como se observa en la figura 2.1.

Entre algunas de las principales ventajas se pueden citar:

- Fácil implementación de nuevos servicios y aplicaciones, al contar cada teléfono inteligente y tableta con Bluetooth
- Interoperabilidad
- Manera sencilla de implementar una red para transferencia de datos.

(Bluetooth, 2017)

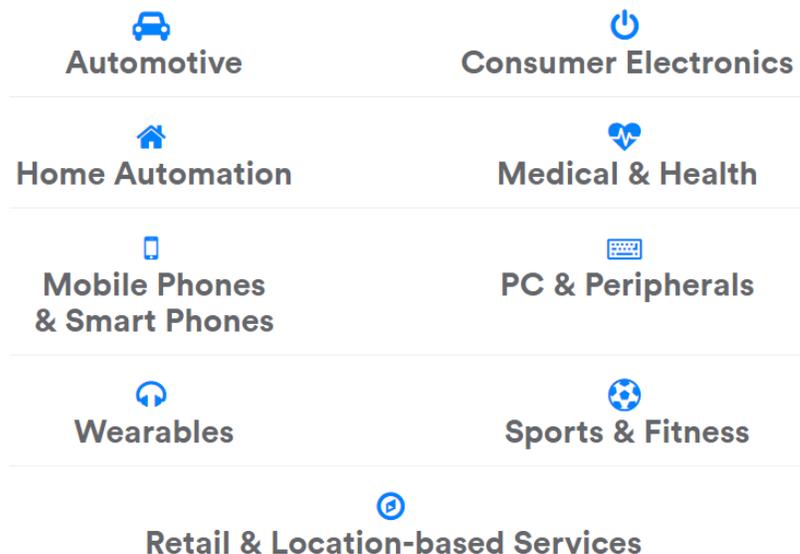


Figura 2.1 Aplicaciones de Bluetooth.

Fuente: (Bluetooth, 2017)

2.2.2 Comunicaciones Móviles

2.2.2.1 Historia

Los sistemas de comunicaciones móviles fueron desarrollados a principios de los años 80. La primera tecnología utilizada se la conoció como redes de primera generación: 1G, la cual, utilizaba técnicas de comunicación analógicas similares a las técnicas utilizadas por la radio tradicional, sin embargo, el espectro no se utilizaba eficientemente, así mismo, los teléfonos celulares eran costosos y dedicados exclusivamente para los negocios. A principios de los años 90 las comunicaciones móviles sufrieron una evolución hacia las redes de segunda generación: 2G. Esta nueva generación fue la primera en utilizar técnicas digitales para la comunicación, lo cual permitió utilizar de mejor manera el espectro de radio frecuencias, así como, disminuir los costos de los teléfonos que primeramente eran utilizados solo para servicios de voz, sin embargo, se desarrolló la tecnología de mensajería instantánea SMS (Short Message Service). El sistema 2G más popular resultó GSM (Global System for Mobile Communications), que en un inicio fue diseñado solo para Europa, posteriormente fue implementado en la mayor parte del mundo. Así mismo, mientras aumentaba el éxito de los sistemas 2G,

Internet empezó a popularizarse, por tanto, los operadores de red fusionaron ambas tecnologías permitiendo a los usuarios descargar paquetes de datos en sus dispositivos móviles. A esta fusión se la conoció como sistema 2.5G. Todo esto se dio gracias al sistema GPRS (General Packet Radio Service: Servicio General de Paquetes por Radio), así como, a la implementación de un dominio de conmutación de paquetes en la red de núcleo del sistema 2G. El aumento en las tasas de datos en internet llevó a una nueva generación: 3G, con nuevas técnicas de transmisión y recepción por radio. El primer sistema 3G dominante en el mundo fue: UMTS (Universal Mobile Telecommunication System). Posteriormente, se mejoró el sistema 3G introduciendo la tecnología HSPA (High Speed Packet Access). Sin embargo, el sistema 3G final es WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), creado por la IEEE bajo el estándar 802.16 y sus posteriores innovaciones. Finalmente, las necesidades de contar con mayores tasas de transmisión y recepción, así como mejorar la calidad del servicio, llevaron a la introducción del sistema 4G, entre los que figura como el más popular LTE (Long Term Evolution). (Cox, 2012).

2.2.2.2 Arquitectura

Las diferentes tecnologías para comunicaciones móviles comparten una arquitectura similar, la misma que puede apreciarse en la figura 2.2. Existen 3 componentes principales: Red de Núcleo, Red de Acceso por Radio y el dispositivo móvil. (Cox, 2012).

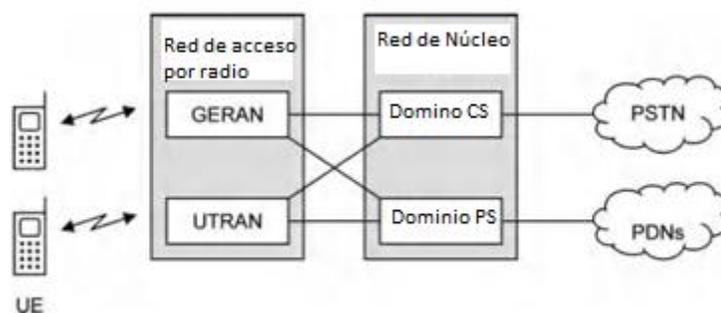


Figura 2.2 Arquitectura de los sistemas de comunicaciones móviles.

Fuente: (Cox, 2012).

A su vez, la red de núcleo se compone de 2 dominios: Conmutación de circuitos (CS), encargado de transportar llamadas a través de la región que cubre la red del operador, este dominio se comunica con la Red de Telefonía Pública Conmutada (PSTN); Conmutación de Paquetes (PS) transporta datos entre los usuarios y la Red de Paquetes de Datos (PDN). El dominio de conmutación de circuitos, el elemento conocido como “media Gateway” (MGW) se encarga de enrutar las llamadas dentro de la red, mientras que el centro móvil de conmutación (MSC) administra las señales que permiten iniciar, controlar y finalizar las llamadas. En el dominio de conmutación de paquetes, el nodo de soporte del Gateway de GPRS (GGSN) sirve como una interfaz para servidores y redes de paquetes de datos exteriores. El servidor de nodos de soporte GPRS (SGSN) enruta los datos entre la red y el GGSN, así mismo, administra señales que inician y finalizan flujos de datos. Finalmente, el servidor de suscripción a hogares (HSS) contiene información acerca de los suscriptores de cada operador. (Cox, 2012).

En la figura 2.3 se aprecia la estructura interna de la red de núcleo:

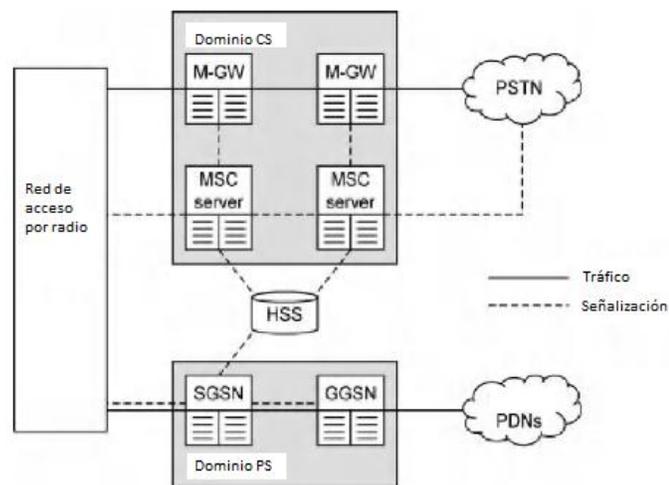


Figura 2.3 Red de Núcleo.

Fuente: (Cox, 2012).

La red de acceso por radio ayuda a la red de núcleo a comunicarse con los usuarios. EL elemento más importante de esta red son las estaciones base, las mismas que, están compuestas por una o varias antenas para permitir la comunicación con los dispositivos móviles en uno o varios sectores. La comunicación se la realiza mediante a la interfaz

aérea o también conocida como interfaz de radio. Una estación base utiliza un conjunto de 3 antenas, cada una de ellas cubre un arco de 120° ; entonces, el área de cobertura obtenido por una estación corresponde al área de un hexágono. El área de cobertura dependerá de la potencia de las antenas utilizadas. Considerando la interfaz aérea, cada estación base transmite en una determinada frecuencia conocida como portadora y utiliza una porción del espectro conocida como ancho de banda alrededor de la portadora. Las estaciones base son agrupadas mediante dispositivos conocidos como Controladores de la Red de Radio (RNC), los mismos que, llevan los paquetes de datos y la información de voz de los usuarios desde las estaciones base hacia la red de núcleo, además, transmitir mensajes de señalización a los dispositivos móviles, los mismos que, son invisibles para los usuarios. Algunos mensajes de señalización, por ejemplo, pueden decir a un móvil que pase de una celda a otra. (Cox, 2012).

La figura 2.4 presenta la estructura interna de la red de acceso:

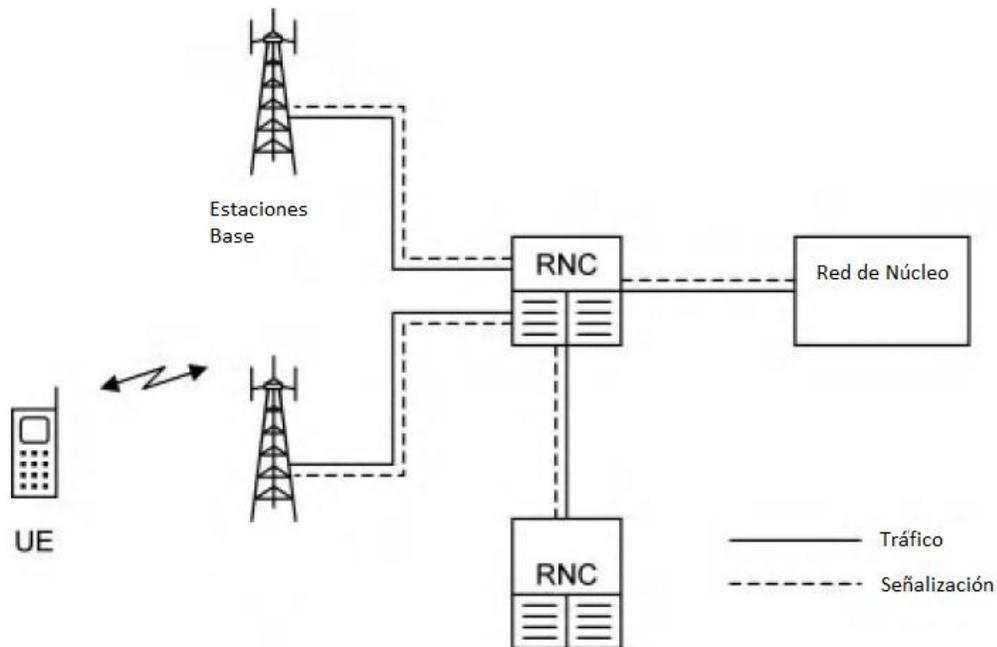


Figura 2.4 Red de Acceso.

Fuente: (Cox, 2012).

2.2.2.3 Funcionamiento

Las diferentes tecnologías en comunicaciones inalámbricas establecen un acceso al espectro de radio frecuencia mediante: FDMA (Frequency Division Multiple Access) y TDMA (Time Division Multiple Access) trabajando simultáneamente. Cada frecuencia portadora es dividida en 8 espacios de tiempo. Así mismo, para establecer una conexión en esta tecnología, es necesario asignar a cada usuario una frecuencia definida y un espacio de tiempo. En la figura 2.5 se observan las tecnologías FDMA y TDMA (Stasiak, Glabowski, Wisniewski, & Zwierzykowski, 2011).

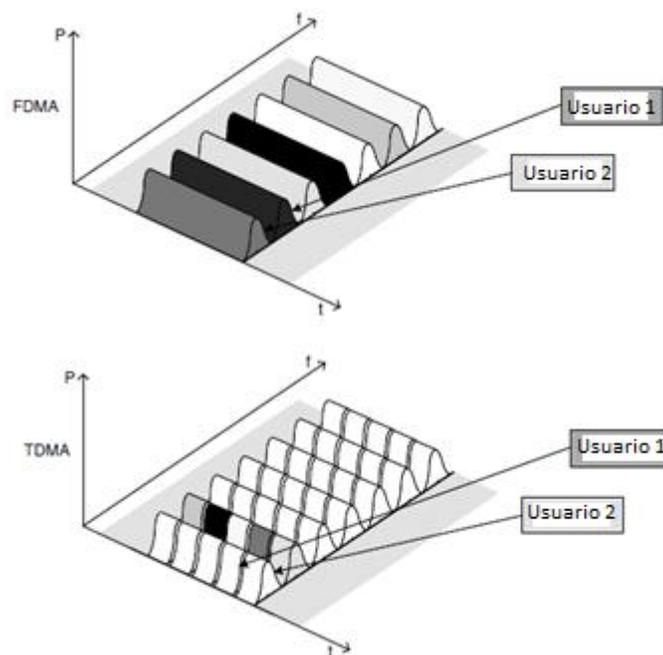


Figura 2.5 Tecnologías FDMA y TDMA.

Fuente: (Stasiak, Glabowski, Wisniewski, & Zwierzykowski, 2011)

La transferencia de información se la realiza en base a protocolos. El modelo de la pila de protocolos es el mismo que el utilizado por Internet. En la figura 2.6 se ilustra la pila de protocolos. Los protocolos se agrupan en varias capas, cada una de las capas maneja los datos de una manera diferente. Al modelo de 7 capas de protocolos se lo conoce como modelo OSI (Open System Interconnection). (Cox, 2012).

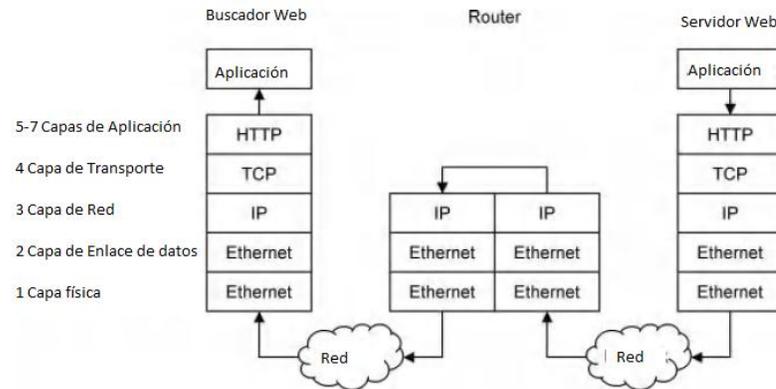


Figura 2.6 Capa de protocolos del modelo OSI.

Fuente: (Cox, 2012).

El proceso en el cual un servidor envía información al buscador del usuario se explica a continuación: el protocolo de la capa de aplicación HTTP (Hiper Text Transfer Protocol) se encarga de recibir información del software de la aplicación. Otros protocolos bastante utilizados en la capa de aplicación son: SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) y FTP (File Transfer Protocol). La capa de transporte se encarga de administrar la transmisión de datos de extremo a extremo (servidor-usuario). En esta capa existen 2 protocolos: TCP (Transfer Control Protocol) el cual se asegura de que los datos llegaron correctamente de extremo a extremo mediante acuses de recibo (ACK), importante para aplicaciones como páginas web o emails, donde es importante la seguridad de los datos. El otro protocolo es UDP (User Datagram Protocol) que no utiliza acuses de recibo, importante para aplicaciones en tiempo real cómo video, voz, entre otras, donde es más importante el tiempo de llegada de los datos. En la capa de red, el protocolo utilizado es: IP (Internet Protocol) encargado de encontrar la ruta correcta desde el servidor hacia el usuario usando la dirección IP del usuario. Este proceso se lleva a cabo gracias a la ayuda de dispositivos intermediarios: routers. La capa de enlace de datos es la responsable de la correcta transmisión de datos entre los dispositivos mediante las diferentes interfaces. Finalmente, la capa física se encarga de los detalles para la transmisión en los medios físicos, por ejemplo: voltaje de la señal transmitida. En la parte del usuario, el proceso realizado para cargar la información del servidor sigue un orden inverso. (Cox, 2012).

2.2.2.4 Aplicaciones

Entre las principales aplicaciones se cuenta con:

- Internet de las cosas IoT
- Ciudades Inteligentes
- Salud
- Transporte inteligente y automático

(GSM, 2017).

2.2.3 RFID

2.2.3.1 Introducción

RFID (Radio Frequency Identification) es una tecnología para comunicación inalámbrica a gran distancia que permite la identificación de objetos sin la necesidad de contar con línea de vista entre el identificador y la etiqueta al ser una tecnología de radio frecuencia. Esto permite implementar sistemas más cómodos al ahorrar la necesidad de que los objetos se encuentren siempre visibles, con la ventaja de que las etiquetas pueden ser de diversas formas y tamaños. RFID no es una tecnología nueva, pues sus orígenes se remontan hasta la segunda guerra mundial donde, los británicos utilizaban un sistema basado en radio frecuencia para identificar a sus aviones aliados. En la figura 2.7 pueden observarse un lector RFID así como la etiqueta RFID (Want, 2006).

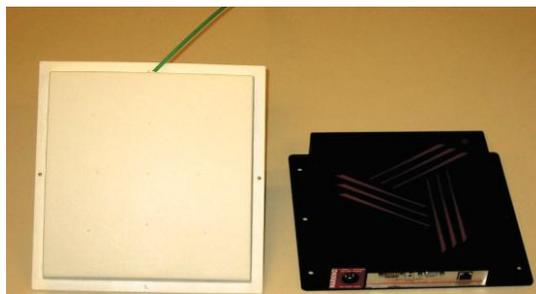


Figura 2.7 Lector RFID y Etiqueta.

Fuente: (Want, 2006).

2.2.3.2 Funcionamiento

Se cuenta con 2 tipos de sistemas RFID: activos, los que necesitan alguna fuente de energía para su funcionamiento y los pasivos, los cuales no necesitan fuentes de energía y

son los más utilizados. Los pasivos tienen la ventaja de que pueden ser implementados en una etiqueta adhesiva bastante pequeña. Básicamente, la etiqueta pasiva se compone de 3 partes: una antena, un chip unido a la antena y algún tipo de encapsulación (sustrato de plástico laminar con adhesivo en un lado), el cual, permite proteger la etiqueta RFID. La antena recibe la energía enviada por el lector. Con esta energía, la antena alimenta al chip, el mismo que codifica su ID para que pueda ser enviado por la antena hacia el lector. Este es el principio básico de funcionamiento de un sistema RFID. La estructura de la etiqueta se puede apreciar en la figura 2.8 (Want, 2006).

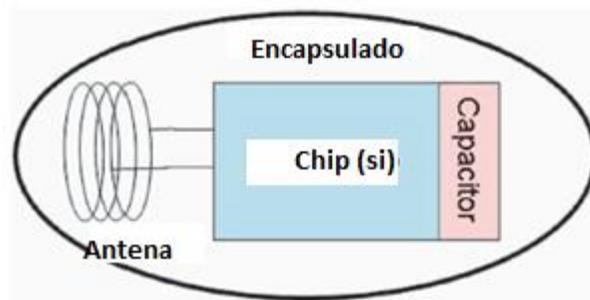


Figura 2.8 Interior de la etiqueta.

Fuente: (Want, 2006).

Como su nombre lo indica, este sistema trabaja en base a ondas de radio frecuencia, es decir, ondas electromagnéticas: al hacer circular corriente alterna a través de una bobina se generará un campo magnético cercano a la bobina conocido como campo cercano, así mismo, la bobina/antena emitirá radiación electromagnética hacia el espacio exterior, conocido como campo lejano. Este principio permite el funcionamiento de las etiquetas RFID con una potencia que varía entre los 50 uW y 1 mW. Los campos electromagnéticos irradiados se observan en la figura 2.9 (Want, 2006).

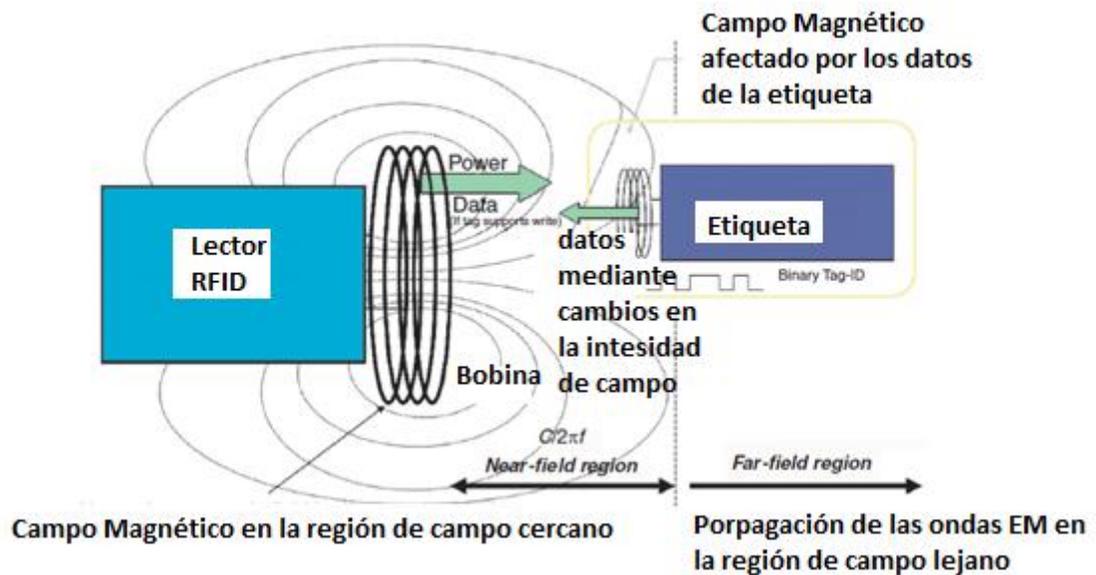


Figura 2.9 Campos magnéticos cercano y lejano.

Fuente: (Want, 2006).

Para poder enviar y recibir señales en un sistema RFID es necesario llevar a cabo un proceso de modulación. La modulación ASK (amplitude shift keying) resulta ser la más sencilla de implementar, pero la más propensa a interferencias, por tanto, se opta por la modulación PSK (phase shift keying) binaria. Los tipos de modulación utilizados se presentan en la figura 2.10 (Want, 2006).

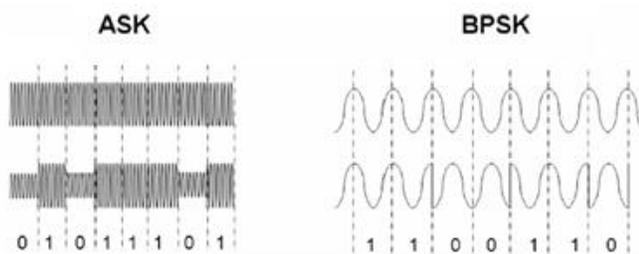


Figura 2.10 Modulación ASK y PSK.

Fuente: (Want, 2006).

2.2.3.3 Aplicaciones y Ventajas

Entre las aplicaciones más comunes se pueden citar:

- Seguridad: control de acceso, sistemas anti robos.

- Rastreo: Vehículos, personas, animales, etc.
- Autenticación
- Entretenimiento: juguetes inteligentes.

(Want, 2006)

Las ventajas de utilizar RFID sobre otro sistema como código de barras se muestra a continuación en la tabla 2.4

Tabla 2.4 Comparación de un sistema RFID con un sistema de código de barras.

Propiedad	Código de Barras	RFID
Línea de Vista	Si	No
Posibilidad de lectura a la luz del día	No	Si
Necesidad de ser orientación para la lectura	Si	No
Afecciones por impurezas	Si	No
Número de bits	80	96
Funciones de procesamiento	No	Si
Memoria adicional	No	8Kbits

Fuente: (Want, 2006)

2.2.4 Wi-Fi

2.2.4.1 Introducción

Esta tecnología inalámbrica se creó en los años 1999 y 2000 gracias al convenio de varias empresas y compañías para brindar un servicio de internet inalámbrico de buena calidad que permita la interoperabilidad de diferentes marcas y equipos. En el año 2000 esta organización tomó el nombre de Wi-Fi alliance, que resulta de la abreviación de: Wireless Fidelity (Fidelidad Inalámbrica) (Wi-Fi alliance, 2017).

Es la tecnología establecida para brindar servicios de internet de manera inalámbrica ya sea dentro de empresas, instituciones, hogares, etc. A esta red se la conoce como WLAN (wireless local access network por su traducción: red local de acceso inalámbrica). Esta LAN permite que los usuarios accedan a internet sin importar su ubicación, dejando de lado la necesidad de mantenerse en un lugar fijo para conectarse a la red, permitiendo así, la movilidad de los usuarios (Cisco Networking Academy, 2017).

2.2.4.2 Funcionamiento

Los equipos Wi-Fi trabajan en las bandas de frecuencia de 2,4 y 5 GHz (Ultra alta frecuencia y Súper alta frecuencia). El espectro de frecuencias y las características de las bandas UHF y SHF se muestran en las figuras 2.11 y 2.12 (Cisco Networking Academy, 2017).

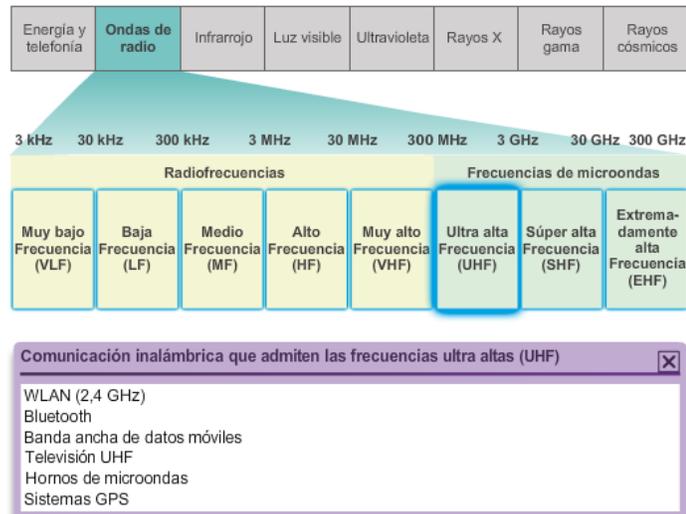


Figura 2.11 Espectro de frecuencias. UHF

Fuente: (Cisco Networking Academy, 2017).

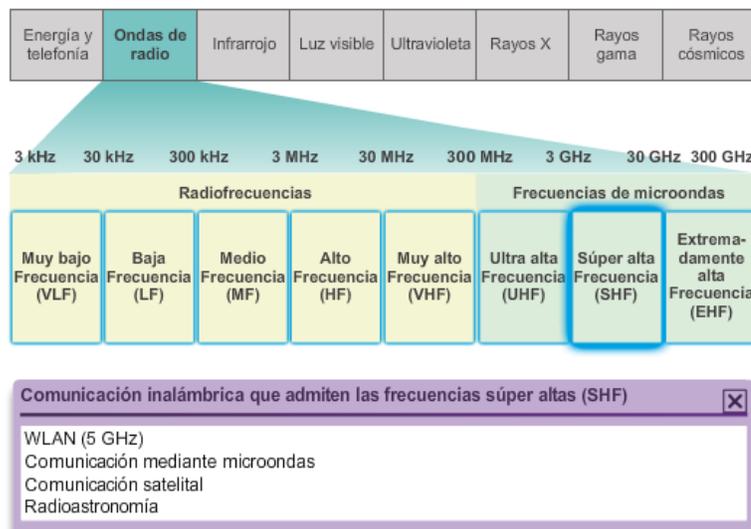


Figura 2.12 Espectro de frecuencias. SHF.

Fuente: (Cisco Networking Academy, 2017).

Al igual que otras tecnologías inalámbricas, Wi-Fi se rige a un estándar. El estándar bajo el que trabaja Wi-Fi es el IEEE 802.11 el cual, básicamente define como se trabaja en las bandas del espectro dedicadas a uso: industrial, científico o médico para la capa física. Este estándar ha sufrido modificaciones y mejoras para mejorar sobre todo la velocidad de la conexión a la red. En la tabla 2.4 se muestran los diferentes estándares 802.11. EL estándar 802.11 fue desarrollado en el año de 1997 (ya obsoleto) que funcionaba en la banda de los 2GHz con velocidades de 2Mbps. A continuación, se lanzó el 802.11a que trabajaba en la banda de 5GHz con velocidades de hasta 54Mbps, con la desventaja de tener un área de cobertura menor y ser menos tolerante a fallas, este estándar resulta interoperable con los actuales 802.11b y 802.11g. El estándar 802.11b se lanzó en el año 1999 y operaba en la banda de 2.4GHz, obteniéndose: velocidades de hasta 11Mbps, mayor área de cobertura y mayor facilidad para penetrar en estructuras al trabajar en una frecuencia menor a la del 802.11a. EL 802.11g trabaja en la banda de los 2.4GHz al igual que su predecesor, pero con un ancho de banda mayor. El 802.11n opera en las dos bandas de frecuencia: 2.4 y 5 GHz; las velocidades alcanzadas llegan hasta los 600Mbps con distancias de hasta 70m; sin embargo, se requieren APs y usuarios inalámbricos con antenas con tecnología de múltiple entrada-múltiple salida. El sucesor resulta el estándar 802.11ac que alcanza velocidades de hasta 5Gbps. Finalmente, el 802.11ad trabaja en las bandas de: 2.4, 5 y 60GHz. El resumen de los estándares 802.11 se presenta en la tabla 2.5 (Cisco Networking Academy, 2017).

Tabla 2.5 Estándares 802.11

Estándar IEEE	Velocidad máxima	Frecuencia	Compatibilidad con versiones anteriores
802.11	2 Mb/s	2,4 GHz	—
802.11a	54 Mb/s	5 GHz	—
802.11b	11 Mb/s	2,4 GHz	—
802.11g	54 Mb/s	2,4 GHz	802.11b
802.11n	600 Mb/s	2,4GHz y 5GHz	802.11a/b/g
802.11ac	1,3 Gb/s (1300 Mb/s)	5 GHz	802.11a/n
802.11ad	7Gb/s (7000Mb/s)	2,4GHz, 5GHz y 60 GHz	802.11a/b/g/n/ac

Fuente: (Cisco Networking Academy, 2017).

Para poder establecer una comunicación se requieren mínimo dos componentes los cuales deben contar con un transmisor y receptor de radio sintonizados en la misma

frecuencia. Los terminales o dispositivos finales requieren una tarjeta de interfaz de red (NIC) inalámbrica que incluya el transmisor y receptor, así como, el controlador necesario para poder integrar las funciones inalámbricas. Actualmente las computadoras, teléfonos o tabletas ya integran esta NIC inalámbrica, sin embargo, equipos que no cuenten con esta interfaz pueden usar un adaptador inalámbrico USB. En la figura 2.13 se muestra un ejemplo de adaptador inalámbrico (Cisco Networking Academy, 2017).



Figura 2.13 Adaptador inalámbrico USB.

Fuente: (Cisco Networking Academy, 2017).

Otro elemento necesario dentro de una WLAN es el router o enrutador inalámbrico, el mismo que, cumple las funciones a la vez de:

- Punto de acceso inalámbrico (AP): bajo los estándares 802.11 a/b/g/n/ac
- Switch: para la comunicación dentro de la LAN
- Router: Proporciona una puerta de salida hacia otras LAN's exteriores.

Estas funciones son mostradas en la figura 2.14:

(Cisco Networking Academy, 2017).

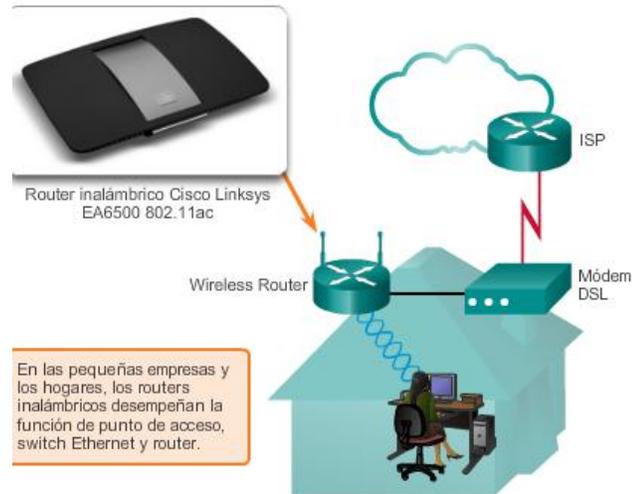


Figura 2.14 Red WLAN mediante un router inalámbrico.

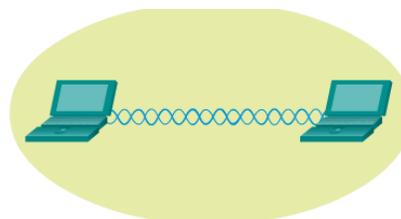
Fuente: (Cisco Networking Academy, 2017).

2.2.4.3 Topologías

Se puede contar con dos tipos de topologías, las mismas que son mostradas en las figuras 2.15 y 2.16:

- Modo ad hoc: Cuando los dispositivos se conectan entre sí directamente, es decir, sin el uso de un router o de un AP.
- Modo de infraestructura: Cuando todas las conexiones se realizan a través de un enrutador o de un AP

(Cisco Networking Academy, 2017).



Resumen de IBSS	
Modo de topología WLAN	Ad hoc
Topología inalámbrica 802.11	BSS independiente
Cantidad de AP	Ninguno
Área de cobertura de 802.11	Área de servicios básicos (BSA)

Figura 2.15 Modo ad hoc.

Fuente: (Cisco Networking Academy, 2017).



Resumen de BSS	
Modo de topología WLAN	Infraestructura
Topología inalámbrica 802.11	conjunto de servicios básicos (BSS)
Cantidad de AP	1
Área de cobertura de 802.11	Área de servicios básicos (BSA)

Figura 2.16 Modo de infraestructura.

Fuente: (Cisco Networking Academy, 2017).

2.2.4.4 Ventajas

La principal ventaja de implementar una red WLAN es la movilidad de los usuarios, permitiendo que estos accedan a la red desde cualquier punto. La tabla 2.6 contiene algunas ventajas de las redes WLAN (Cisco Networking Academy, 2017).

Tabla 2.6 Comparación entre una LAN y una WLAN.

Característica	LAN inalámbrica 802.11	Redes LAN Ethernet 802.3
Capa física	Radiofrecuencia (RF)	Cable
Acceso a medios	Prevención de colisiones	Detección de colisiones
Disponibilidad	Cualquiera con una radio NIC en el rango de un punto de acceso	Se requiere conexión por cable
Interferencia en la señal	Sí	Irrelevante
Regulación	Normas adicionales emitidas por las autoridades de cada país	El estándar IEEE dictamina

Fuente: (Cisco Networking Academy, 2017)

Así mismo, la flexibilidad de la red es mayor al permitir que nuevos usuarios accedan a la red de manera rápida y cómoda al hacerlo desde cualquier lugar ya sea dentro de una

empresa, hogar, etc. así como, reducir costos, al evitar cables para interconectar los equipos (Cisco Networking Academy, 2017).

2.2.5 ZigBee

2.2.5.1 Introducción

ZigBee es un protocolo para comunicación inalámbrica de bajo consumo energético que permite la interoperabilidad entre diferentes fabricantes, tal como Bluetooth. Es importante recordar que los protocolos de red funcionan en un modelo de capas. La capa de red bajo la que trabaja ZigBee es la 802.15.4 la cual, constituye el conjunto de estándares para: administración de energía, direccionamiento, corrección de errores, formato de los mensajes, etc. estándares necesarios para la interoperabilidad entre los dispositivos ZigBee. (Falaudi, 2010)

2.2.5.2 Funcionamiento

El conjunto de estándares 802.15.4 permite implementar 3 funciones importantes:

- Routing: mediante tablas de enrutamiento definir la ruta para que un dispositivo se comunique con otro.
- Creación de redes ad hoc (redes que no dependen de infraestructura preexistente): Automatizar la creación de la red.
- Auto reparación: para corrección de errores.

(Falaudi, 2010)

Las redes ZigBee constan básicamente de 3 tipos de dispositivos: un único coordinador, router o enrutador y dispositivo final. Como mínimo una red debe componerse de dos elementos: obligatoriamente un coordinador y un enrutador o un dispositivo final. El coordinador es el encargado de la administración de la red, es decir, proporcionar las direcciones a los dispositivos, así como, otras funciones propias de la red. El enrutador actúa de tal manera que puede dirigir los mensajes entre dos dispositivos sin importar la topología de la red ni la distancia entre los mismos; es decir, actúan como mensajeros entre dos dispositivos. Una red puede contar con varios enrutadores. Finalmente, los dispositivos finales pueden enviar y recibir información tal como un enrutador con la

diferencia de que los dispositivos finales no actúan como mensajeros entre dos dispositivos. (Falaudi, 2010)

Para poder enviar mensajes dentro de la red es necesario conocer las direcciones de los dispositivos. Un dispositivo tiene una dirección única y permanente serial de 64 bits y ningún dispositivo sobre la faz de la tierra podrá tener la misma dirección serial. Una dirección de 16 bits es asignada por el coordinador a cada elemento de la red de manera dinámica. Incluso, a cada nodo se le puede asignar una cadena de texto para identificarlo de mejor manera. Cada red tiene una dirección de red personal (PAN) de 16 bits. Un ejemplo para comprender mejor el direccionamiento en las redes ZigBee se presenta en la tabla 2.7 (Falaudi, 2010)

Tabla 2.7 Direcciones ZigBee.

Tipo	Ejemplo	Única
64 Bits	0013A200403E0750	Sí, siempre y en todo lugar
16 Bits	23F7	Sí, pero solo dentro de la red
Identificador de nodo	Red de Fred	No garantizado

Fuente: (Falaudi, 2010)

Finalmente, para poder iniciar la comunicación dentro de la red resulta necesario asignar los canales a los dispositivos, es decir, que se encuentren trabajando en la misma frecuencia. El coordinador selecciona un canal dentro de un grupo de 12 canales diferentes. En la figura 2.17 se muestran un ejemplo de dos canales ZigBee utilizados (Falaudi, 2010)

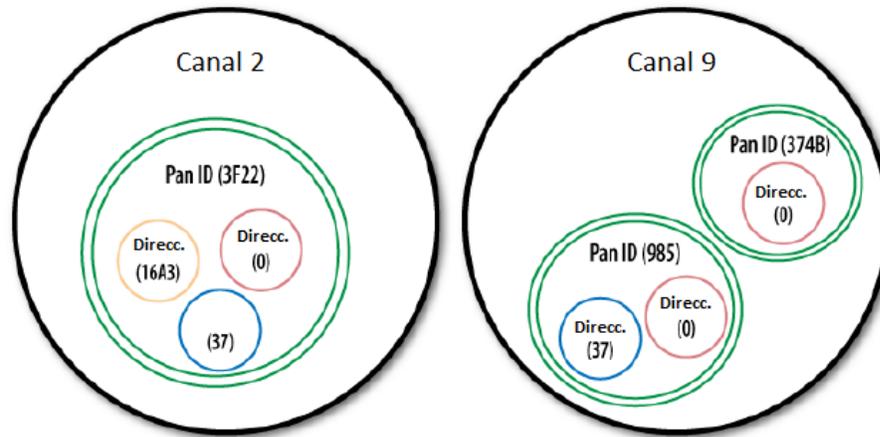


Figura 2.17 Direcciones y canales ZigBee

Fuente: (Falaudi, 2010)

2.2.5.3 Topologías

Entre las topologías de una red ZigBee se cuenta con:

- Par (punto a punto): es la topología más simple formada por dos nodos, uno necesariamente deberá ser un coordinador.
- Estrella: El nodo coordinador se sitúa en el centro de la red, los dispositivos finales se conectan al coordinador formando un círculo. Los dispositivos finales no se comunican directamente entre sí, sino que deben hacerlo a través del coordinador.
- Malla: Además del coordinador también utiliza enrutadores para dirigir los mensajes, los dispositivos finales pueden conectarse a un enrutador o al coordinador.
- Árbol: similar a la malla, los enrutadores forman una especie de anillo.

La figura 2.15 muestra los diferentes tipos de topologías descritos:

(Falaudi, 2010)

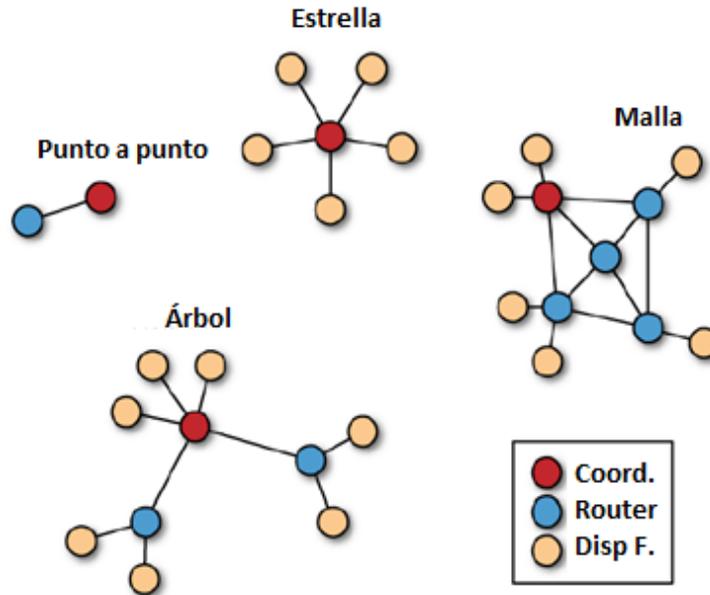


Figura 2.18 Topologías ZigBee

Fuente: (Falaudi, 2010)

2.2.5.4 Aplicaciones

Entre las aplicaciones más conocidas se pueden citar:

- Cuidado de la salud
- Edificaciones inteligentes
- Automatización de hogares, empresas, etc.
- Servicios de telecomunicaciones.
- Energía inteligente.

(Falaudi, 2010)

2.3 Sistemas de Transporte Inteligentes

Las comunicaciones vehiculares constituyen el elemento fundamental para los sistemas de transporte inteligentes (ITS). Permiten establecer comunicaciones entre las diferentes unidades de transporte, así como, las unidades de transporte con las diferentes infraestructuras a lo largo de las vías. Se plantea que el objetivo de los ITS sea mejorar la calidad del servicio, así como mejorar la seguridad. A las aplicaciones de los ITS se

las divide en 2 grupos: aquellas que pueden ser desarrolladas independientemente como por ejemplo colocación de cámaras en diferentes estaciones, y las aplicaciones que son dependientes de otros sistemas, como el conjunto de las estaciones de buses. (Faraz Hasan, Siddique, & Chakraborty, 2013)

2.3.1 Comunicaciones V2V e I2V-V2I

A los sistemas de transporte inteligentes se los puede dividir en dos grupos: Comunicación de Vehículo a Vehículo (V2V) y Comunicación de Infraestructura a Vehículo (I2V) o viceversa (V2I). V2V utiliza una red de tipo ad hoc, es decir, que los vehículos se comunican directamente entre sí sin utilizar algún tipo de dispositivo como intermediario, lo cual se lleva a cabo gracias a algoritmos y protocolos de *routing*. La principal aplicación de la comunicación V2V es para mejorar la seguridad en las vías, notificando una unidad acerca de problemas en las vías hacia las demás unidades. Mientras que en la comunicación V2I e I2V el vehículo se comunica con algún tipo de infraestructura (estación de parada, estación de control, etc.), las aplicaciones en este tipo de comunicación son mucho más amplias, pudiendo abarcar mayor área de cobertura. También resulta posible implementar otro tipo de comunicación, el cual implemente las características de V2V e I2V, el resultado es una comunicación de tipo V2V2I. En la figura 2.16 se puede apreciar los dos tipos de comunicaciones: entre unidades de transporte (OBU) y una infraestructura en la vía (RSU) (Faraz Hasan, Siddique, & Chakraborty, 2013).

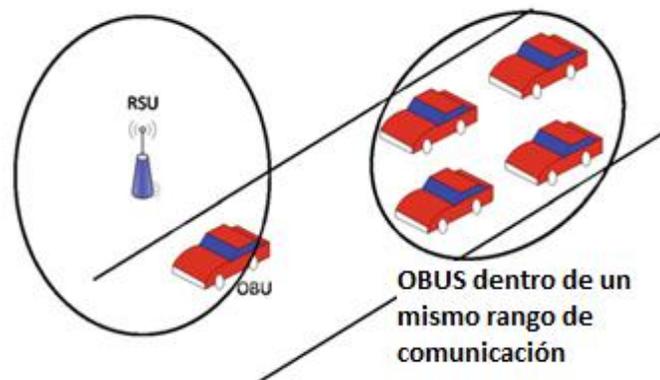


Figura 2.19 Comunicaciones V2V e I2V

Fuente: (Faraz Hasan, Siddique, & Chakraborty, 2013)

2.3.2 Tecnologías Inalámbricas en las Comunicaciones Vehiculares

Como se ha dicho anteriormente, muchas tecnologías inalámbricas pueden ser aplicadas a las comunicaciones vehiculares para la implementación de un sistema de transporte inteligente. Se describirán algunas tecnologías a continuación (Faraz Hasan, Siddique, & Chakraborty, 2013).

- **Redes Celulares:** La ventaja de utilizar esta tecnología para un ITS resulta la gran cantidad de estaciones base que se han implementado en ciudades para satisfacer necesidades de comunicación. Entre las redes celulares, la más utilizada es GSM. Estas redes pueden alcanzar velocidades bajas que van desde 1 a 7.5 Mbps. Así mismo, tienen un alto costo de utilización, debido a que operan en espectros de frecuencias cuyas licencias corresponden a las compañías celulares.
- **Redes 802.16:** Entre estas tecnologías la que más destaca es WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Acces). Cubre un área geográfica mayor que las redes WLAN. Sin embargo, las estaciones base para WiMAX aún deben ser instaladas, lo cual, representa ya un costo elevado. La principal ventaja de esta tecnología son las altas velocidades que pueden alcanzarse, alcanzando hasta 75Mbps.
- **Redes 802.11:** Son las más utilizadas y explotadas en la actualidad. La razón es la gran cantidad de APs (Access Points) colocados en la mayor parte de una ciudad. La utilización de esta tecnología no representa un coste adicional debido a que operan en un ancho de banda libre del espectro dedicado a la investigación industrial, científica y médica (ISM). Las tasas de transmisión de las WLANs son mayores respecto a las de WiMAX y redes celulares. Se ha desarrollado el estándar 802.11p específicamente para comunicaciones vehiculares. Sin embargo, uno de los mayores problemas que presentan las WLANs es la poca cobertura que pueden ofrecer los AP, esto origina una interrupción en el tráfico normal de los datos, lo cual puede causar la pérdida de la comunicación o un retraso en la transmisión de datos, disminuyéndose así la calidad del servicio (QoS).

(Faraz Hasan, Siddique, & Chakraborty, 2013)

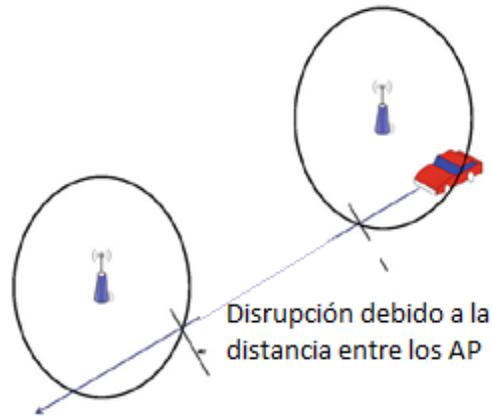


Figura 2.20 Pérdidas de comunicación en redes WLAN debido a la separación entre APs.

Fuente: (Faraz Hasan, Siddique, & Chakraborty, 2013)

2.3.3 Principales problemas en las comunicaciones vehiculares

Los dos principales problemas son: ruptura y latencia de traspaso. Es importante recordar que estos problemas son despreciables en el tipo de comunicación V2V (Faraz Hasan, Siddique, & Chakraborty, 2013).

2.3.3.1 Ruptura

En la figura 2.17 se ejemplificó el problema de ruptura. La ruptura se produce cuando un vehículo sale del área de cobertura de un AP, debido a que los AP en una WLAN son para un lugar específico, el cual es reducido. Así mismo, si bien es cierto que en las ciudades se han desplegado gran número de AP, existen aún muchas zonas de la ciudad que no contienen un acceso inalámbrico, por lo que en una ciudad se contará con una gran cantidad de zonas de ruptura. Para implementar un ITS a lo largo de la ciudad resulta imperativo solucionar el problema de ruptura. Se han desarrollado algunos tipos de arquitectura cuyo objetivo es solventar la ruptura. Una de las alternativas es la utilización de un servidor proxy entre los nodos móviles (vehículos) e internet. El proxy sirve a los nodos móviles cuando estos se encuentran dentro del área de cobertura de un AP, caso contrario, guardará todos los paquetes de datos hasta que la conectividad se reestablezca. A esta arquitectura se le conoce como *drive thru*. La utilización de un servidor proxy para solventar el problema de ruptura se muestra en la figura 2.18. (Faraz Hasan, Siddique, & Chakraborty, 2013).

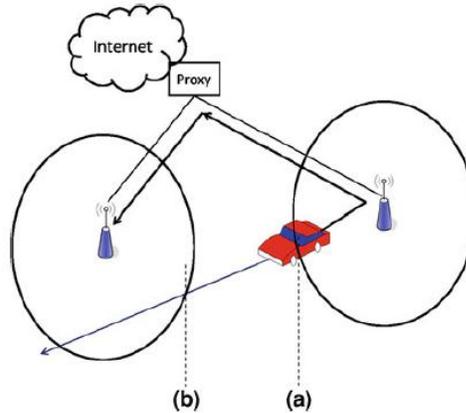


Figura 2.21 Utilización de un servidor proxy como intermediario.

Fuente: (Faraz Hasan, Siddique, & Chakraborty, 2013)

El nodo móvil guarda datos a través del proxy en el punto (a), utilizando protocolos específicos para esto, y los recupera en el punto (b). Así mismo, existen diversas arquitecturas que aprovechan el uso de un servidor proxy obteniendo resultados similares. Por otra parte, otro tipo de solución consiste en combinar tecnologías inalámbricas, por ejemplo, Wi-Fi y redes celulares (GPRS), donde, el nodo móvil se conecta a la estación base cuando sale del área de cobertura de un AP, tal como se muestra en la figura 2.19 (Faraz Hasan, Siddique, & Chakraborty, 2013).

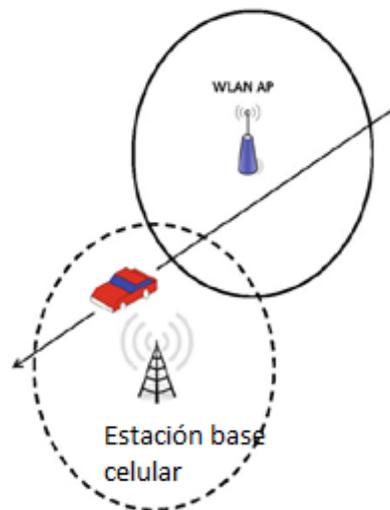


Figura 2.22 Combinación de tecnologías inalámbricas.

Fuente: (Faraz Hasan, Siddique, & Chakraborty, 2013)

2.3.3.2 Latencia de Traspaso

El traspaso es un proceso por el cual un nodo móvil abandona el área de cobertura de un AP y se enlaza con uno nuevo. Este proceso está compuesto a su vez por tres subprocesos: sondeo, autenticación y asignación de identificación (dirección IP única). En la fase de sondeo el nodo móvil busca el mejor acceso inalámbrico para conectarse, esto ocurre debido a que el vehículo pasará por unos segundos por un área de cobertura de un AP y luego la abandonará, por lo cual deberá enlazarse a un nuevo AP. Luego, el nodo móvil debe autenticarse para conectarse con el nuevo AP, finalmente, se le asigna una dirección única conocida como dirección IP, todo este proceso se ejemplifica en la figura 2.20 (Faraz Hasan, Siddique, & Chakraborty, 2013).

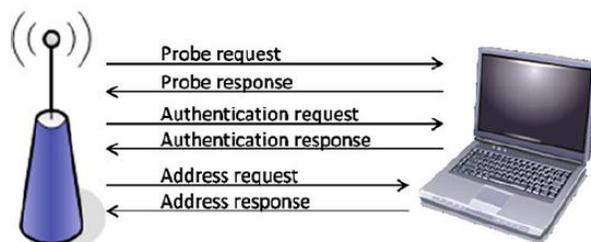


Figura 2.23 Proceso de traspaso

Fuente: (Faraz Hasan, Siddique, & Chakraborty, 2013)

Sin embargo, este proceso de traspaso implica un tiempo para que se cumplan los tres subprocesos y se complete la conexión con un AP en particular. Así mismo, es importante recordar que el vehículo solo estará dentro del área de cobertura de un AP por solo unos pocos segundos, por lo tanto, resulta de suma importancia reducir la latencia de traspaso. Para cumplir con este objetivo, uno de los métodos consiste en utilizar un pre-escaneo de las redes disponibles antes de que el vehículo abandone el área de cobertura en la que se encuentra, escaneando nuevas redes cada determinado tiempo (por ejemplo 2 segundos), accesos que tengan mayor potencia en su señal para conectarse a estos, es decir, el nodo móvil siempre analizará los niveles de señal de los APs vecinos. De la misma manera, los procesos de autenticación para mejorar la seguridad implican tiempos de demoras. Dentro de estos procesos la operación de *handshake* es llevada a cabo constantemente para asegurar la correcta autenticación de un dispositivo. Se han desarrollado varios algoritmos que reduzcan el número de

handshakes tal como: *Extensible Authentication Protocol* (EAP). Finalmente, el proceso de asignación de dirección se realiza gracias a un servidor DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) el cual asigna dinámicamente las direcciones IP. Para este proceso también es necesario llevar a cabo 4 *handshakes*, la propuesta consiste en reducir a 2 procesos: el inicial y el final (Faraz Hasan, Siddique, & Chakraborty, 2013).

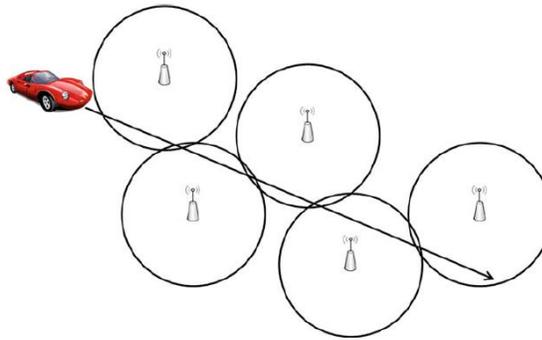


Figura 2.24 Proceso de traspaso durante la comunicación vehicular

Fuente: (Faraz Hasan, Siddique, & Chakraborty, 2013)

2.4 Conclusiones

Las tecnologías inalámbricas son parte fundamental en el mundo moderno debido a las aplicaciones que pueden implementarse con las mismas por la comodidad, movilidad, la flexibilidad de sus redes y el bajo consumo de potencia. La diferencia entre las tecnologías estudiadas en el presente capítulo radica en las distancias máximas que permiten establecer una comunicación correcta, el número máximo de dispositivos que pueden formar parte de la red y el consumo energético de los mismos. Cada una de estas tecnologías poseen protocolos diferentes para la transmisión de datos y la selección de una tecnología dependerá de los requerimientos necesarios para una determinada aplicación, como: automatización, medicina y salud, aplicaciones con teléfonos inteligentes, telecomunicaciones, etc.

Las comunicaciones vehiculares constituyen el pilar fundamental para implementar un sistema de transporte inteligente. Es posible, no solo establecer una comunicación entre

vehículos, sino, entre vehículos e infraestructuras para permitir un sistema optimizado de transporte. Uno de los mayores problemas en comunicaciones vehiculares es la falta de cobertura en determinadas zonas, lo que podría solventarse mediante la implementación de módulos de comunicación en zonas específicas de una región.

Capítulo 3 Estado del Arte

3.1 Introducción

En este capítulo se citan investigaciones realizadas en el tema de sistemas de transporte inteligentes. Se describen trabajos realizados mediante las tecnologías inalámbricas: Bluetooth, GSM, RFID, Wi-Fi y ZigBee, a fin de analizar los resultados obtenidos que puedan ser de ayuda para la implementación de este trabajo de investigación, así como, mejorar aspectos que se analicen a continuación.

3.2 Bluetooth

El sistema presentado en (Katsuyuki & Katsuhir, 2017) consiste en dispositivos Bluetooth de bajo consumo energético (BLE) instalados en los buses, un teléfono inteligente con una aplicación y un servidor en la nube. EL BLE cuenta con un dispositivo GPS receptor. El BLE activa la aplicación en un celular ubicado en el bus, para que este cargue la ubicación obtenida mediante el GPS hacia la nube. Finalmente, mediante la aplicación un usuario puede descargar la información desde el servidor. El sistema resultante se observa en la figura 3.1:

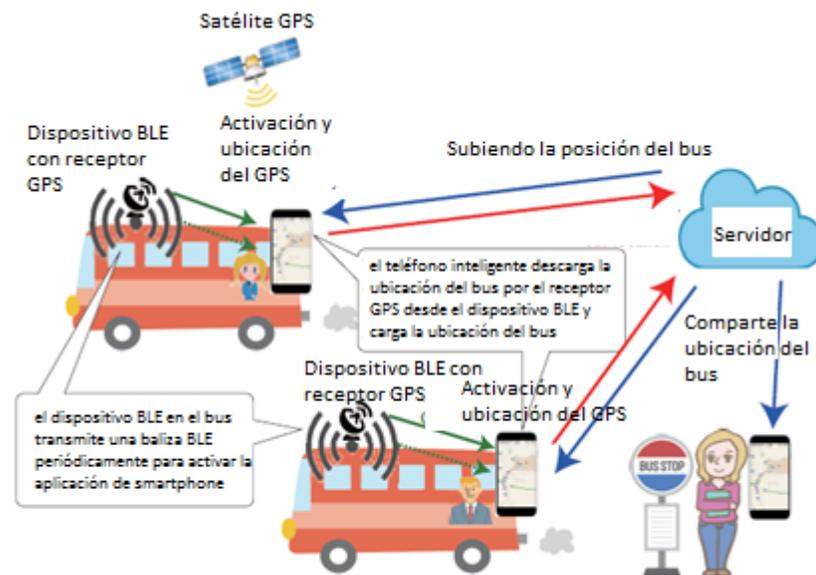


Figura 3.1 Aplicación con dispositivos BLE

Fuente: (Katsuyuki & Katsuhir, 2017)

(Walter, Schmalenstroeer, Engler, & Haeb, 2013) presenta un sistema en el cual se usan los sensores internos del celular como el giroscopio y los sensores internos del vehículo como el de velocidad, además, del uso de un GPS. La fusión entre los sensores se realiza mediante un adaptador Bluetooth-CAN, para comunicar el celular con el vehículo. Se utiliza un algoritmo y un filtro de Kalman de estado de error para poder fusionar el flujo de datos. El resultado permite obtener una alta precisión en comparación con el uso únicamente de GPS. La figura 3.2 contiene un diagrama para la fusión de sensores:

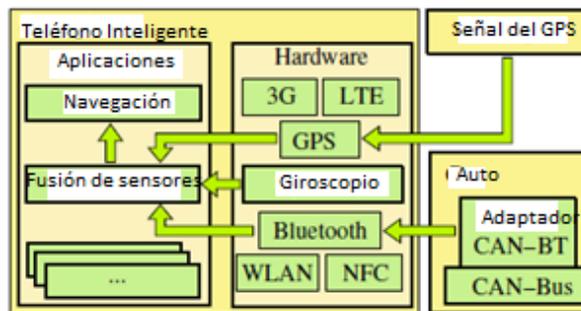


Figura 3.2 Fusión de sensores para la navegación vehicular

Fuente: (Walter, Schmalenstroeer, Engler, & Haeb, 2013)

La investigación de (Wang & Wang, 2013) consiste en la utilización de Bluetooth para obtener la información de cada bus, lo interesante es que utiliza un modelo basado en lógica difusa, el cual se crea a partir de la información obtenida anteriormente del estado de los buses, los tiempos de llegada a cada parada, velocidades promedio, etc. para obtener una predicción del tiempo de llegada del bus, la cual es obtenida mediante métodos de consulta. Una tarjeta Bluetooth es instalada en el bus, cuando este se acerca a una parada, un detector BT en la misma graba la dirección MAC proveniente del bus, así mismo se graba el tiempo que dura la conexión entre el módulo y el detector. La información será enviada hacia un centro de datos, los usuarios pueden acceder a la información mediante celulares, tablets o laptops. Finalmente, para unificar todo el sistema se crea una red IP. En la figura 3.3 se muestra todo el sistema implementado:

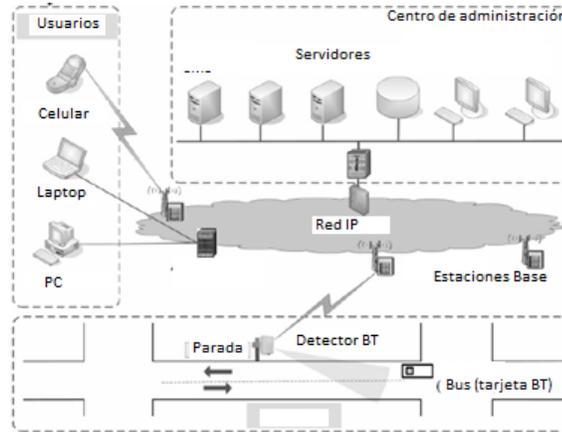


Figura 3.3 Estudio de un sistema basado en Bluetooth para la información de llegada de un bus en tiempo real.

Fuente: (Wang & Wang, 2013)

3.3 GSM

El sistema que propone (Najme, 2015) consiste en la utilización de las tecnologías GSM y GPS para la localización de un bus y conocer los tiempos y demoras para cada parada. Se utilizan 3 módulos: transmisor en el bus, receptor en las paradas y el teléfono celular. El GPS en el bus transmite sus coordenadas vía GSM hacia las paradas, se estiman los tiempos aproximados de llegada a cada parada y finalmente, el usuario puede obtener esta información en su teléfono celular. La figura 3.4 muestra un diagrama simple sobre la obtención de la ubicación:

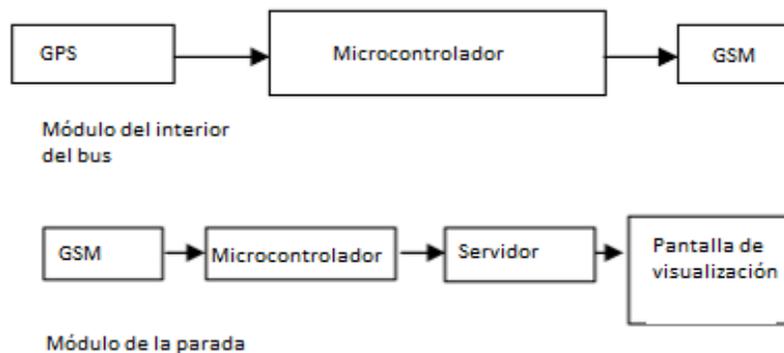


Figura 3.4 Sistema de transporte público inteligente mediante sensores en teléfonos móviles

Fuente: (Najme, 2015)

El sistema de (Janarthanan & Santhanakrishna, 2013) permite obtener la ubicación del bus mediante GPS y esta transmitirla hacia las paradas vía GSM, donde se visualizará en una pantalla. El módulo GSM enviará constantemente la información obtenida del GPS hacia un microprocesador en cada parada. El sistema puede mejorarse si la información del bus es transmitida hacia un servidor que se encargue de realizar las estimaciones y luego retransmitirlo hacia las paradas. La figura 3.5 muestra el funcionamiento del sistema implementado:

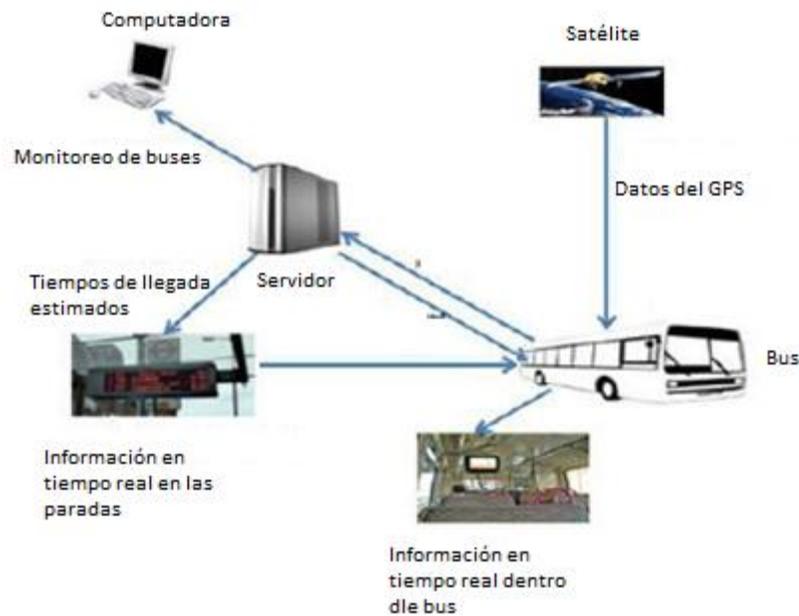


Figura 3.5 Sistema en tiempo real para el posicionamiento de un bus metropolitano utilizando GSM-GPS

Fuente: (Janarthanan & Santhanakrishna, 2013)

(Fan, Niu, & Deng, 2014) utiliza una red GSM que consiste en estaciones base celulares y cada célula está asociada a una estación base, así se puede localizar un teléfono móvil. La precisión de la localización dependerá de la cobertura de cada célula. Se traza la trayectoria del bus considerando la división en células. Entonces un celular puede obtener la información de la célula a la que pertenece y conocer cuando cambió de célula. Se debe considerar la velocidad del bus, se la obtiene mediante un promedio entre la velocidad 0 y la velocidad máxima permitida en la ciudad. Otro aspecto importante es el tiempo que le toma atravesar una célula. Con estas dos consideraciones,

se puede realizar un modelo para predecir el tiempo de llegada del bus a una parada específica, con la única consideración de que cada célula contenga una sola parada. En la figura 3.6 se observa la utilización de estaciones base:

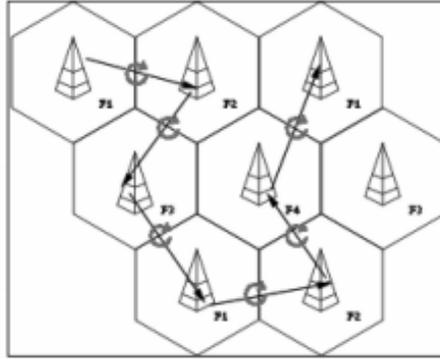


Figura 3.6 Método para la predicción del arribo de buses basado en posicionamiento de células

Fuente: (Fan, Niu, & Deng, 2014)

3.4 RFID

Un sistema RFID de (Anu, Sarikha, Keerthy, & Jabez, 2015) consiste en etiquetas, que utilizan señales en radio frecuencia para transmitir su localización hacia un módulo, usualmente, este la retransmite hacia un servidor. Para esto se colocan etiquetas en los buses y módulos en cada parada de bus. El servidor se localiza en alguna parte de la ciudad y recibe la información y notifica a las siguientes paradas acerca de la posición del bus. Es necesario identificar cada ruta y guardarla en una base de datos. En la figura 3.7 se muestra el sistema RFID:



Figura 3.7 Un sistema para localización y seguimiento de buses y su visualización mediante RFID

Fuente: (Anu, Sarikha, Keerthy, & Jabez, 2015)

El sistema de (Yu & Yanjuan, 2012) consiste en colocar micro procesadores en cada bus y parada, se utiliza la tecnología RFID para la comunicación. Cuando un bus se acerca a una parada, este recibe una respuesta generada por el reloj interno del micro de la parada, a continuación, se registra el tiempo que tarda el bus en llegar a la parada, así mismo se medirá cuanto tiempo se queda en una parada y cuánto tiempo le toma salir del alcance de esta, toda la información de la misma manera será enviada a un centro de datos, para así, poder realizar las respectivas estimaciones hacia las siguientes paradas. El diagrama del sistema resultante se presenta en la figura 3.8

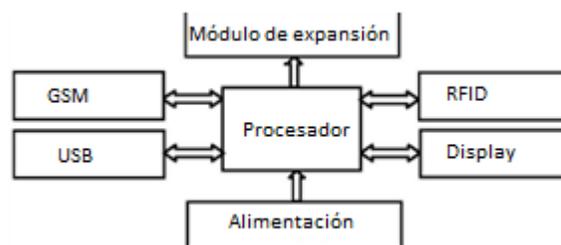


Figura 3.8 Sistema inteligente montado en los buses en base a RFID

Fuente: (Yu & Yanjuan, 2012)

3.5 Wi-Fi

La investigación de (El-Tawav, Oram, Garcia, Park, & Johns, 2017) se basa en el crecimiento de las redes inalámbricas Wi-Fi, muchas de las paradas en Estados Unidos cuentan con Wi-Fi. Los dispositivos IoT recolectan los datos de tránsito y de los pasajeros, los cuales son guardados en un servidor en la nube desde cada estación del bus. A la vez los datos pueden ser analizados para sugerir nuevas rutas, paradas, etc. La figura 3.9 presenta un diagrama simple para el sistema mediante Wi-Fi:

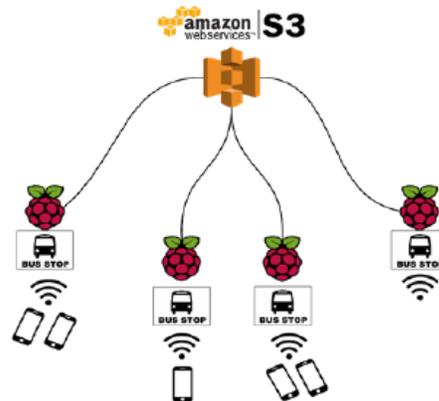


Figura 3.9 Sistema de análisis de datos de tránsito utilizando tecnología IoT de bajo coste

Fuente: (El-Tawav, Oram, Garcia, Park, & Johns, 2017)

(Tan & Koksheik, 2016) propone la utilización de tecnologías Wi-Fi y GPS para poder conocer la ubicación de un bus. El GPS estará instalado en el bus para obtener cada cierto intervalo de tiempo su ubicación, así mismo, un celular inteligente en el bus mediante una aplicación android se encargará de cargar la información acerca de la ubicación hacia un servidor web. El servidor aloja un sitio web, en donde se realiza las estimaciones acerca de las posiciones del bus y en un mapa que incluye la ruta del mismo, se marca la posición actual. Hay que considerar que el bus enviará su ubicación cuando este se acerque a una parada, así mismo se debe considerar un tiempo aproximado que le tome al bus alejarse de la parada. Entonces, la comunicación Wi-Fi se realiza para determinar la proximidad entre el bus y la parada, lo que también ayuda a determinar la ubicación del bus gracias al BSSID de cada parada. La aplicación resultante se muestra en la figura 3.10:

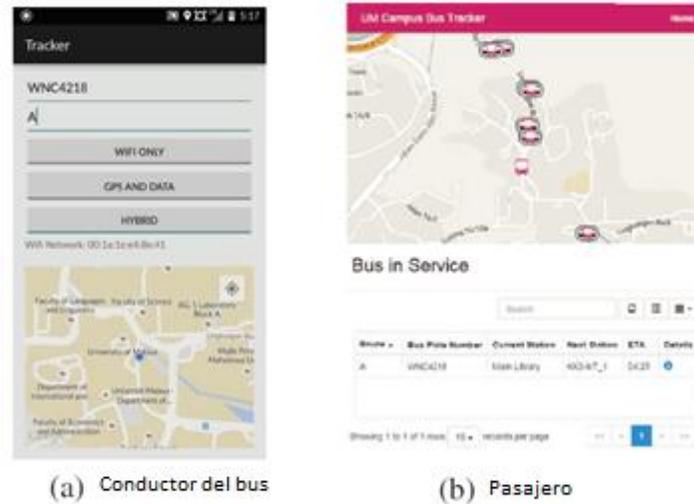


Figura 3.10 Sistema de rastreo de un bus de bajo costo mediante puntos de acceso Wi-Fi

Fuente: (Tan & Koksheik, 2016)

Se ha visto en la investigación de (Liu, Liu, & Jiang, 2016) que para el seguimiento de un bus, la utilización únicamente de GPS no es suficiente dentro de áreas urbanas. La investigación se basa en una herramienta conocida como SVD (Signal Voronoi Diagram) para particionar la señal RF del Wi-Fi proveniente de los puntos de acceso en celdas de señal, para luego estas ser convertidas en una señal "más fina", solventándose así el problema de interferencias producido en zonas urbanas. Se ha desarrollado el WiLocator, para rastrear el bus, estimar tiempos y diseñar un mapa de la zona. La aplicación se presenta en la figura 3.11:

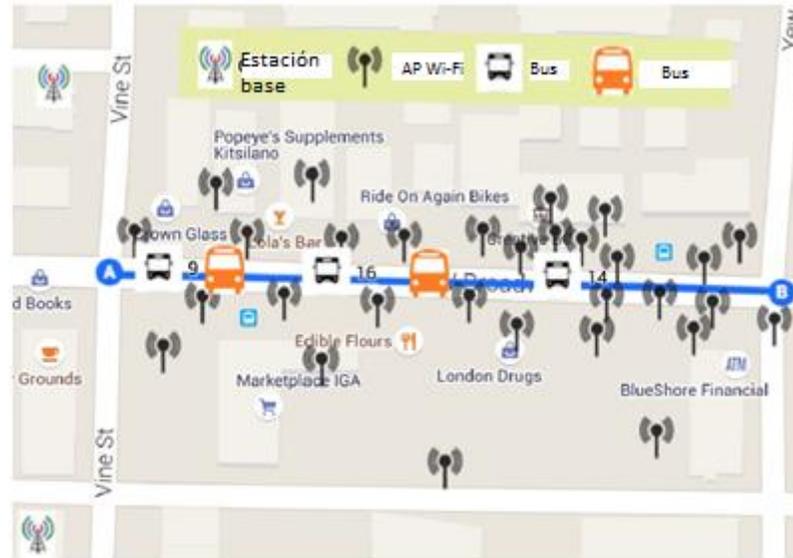


Figura 3.11 Seguimiento de bus en tiempo real basado en detección de Wi-Fi y Predicción de tiempo de llegada en entornos urbanos

Fuente: (Liu, Liu, & Jiang, 2016)

3.6 ZigBee

En el trabajo de (Chang-qui, Zhou , & Shi-Dao, 2012) son utilizados módulos de comunicación ZigBee para realizar la comunicación entre los vehículos, la parada y la estación de monitoreo. La aplicación requiere que los buses puedan empaquetar la información del estado de dicho bus para poder ser enviada a las diferentes paradas, algunas de las funciones de este sistema son: volumen de pasajeros, velocidad del bus, reporte de paradas. El sistema se muestra en la figura 3.12:



Figura 3.12 Horario de buses inteligentes basado en ZigBee

Fuente: (Chang-qui, Zhou , & Shi-Dao, 2012)

El trabajo de (Zhizhou, Hao, Yuqi, & Xiaogaung, 2006) indica que implementar una red en base de únicamente una red GPS resulta costoso e ineficiente. Conocer los detalles de un bus puede ser muy incierto debido a diversas variables tales como: el tráfico en las avenidas, las aceleraciones y des aceleraciones del vehículo, el aumento del tiempo de espera de un bus en la parada debido a un gran volumen de pasajeros abordando, el bus puede saltarse una parada si en esta no existen pasajeros, etc. Para mejorar esto, es preciso que el vehículo transmita constantemente los datos hacia un centro de monitoreo, así como el centro debe enviar continuamente los datos hacia las paradas. Una vez enviados los datos hacia el centro, estos se procesarán y se llevarán hacia la entrada de un sistema en el cual se comparará con diferentes fases de prioridad. El diagrama del sistema se muestra en la figura 3.13:

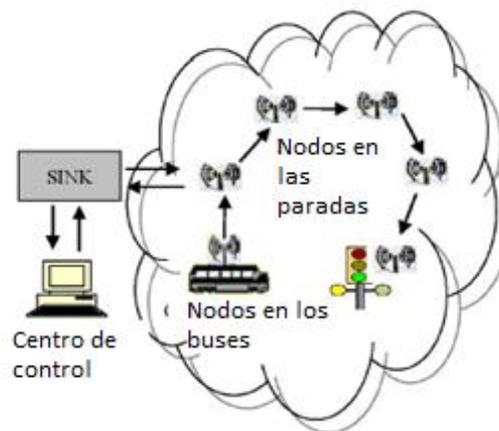


Figura 3.13 Sistema para control de prioridad de buses basado en redes de sensores inalámbricos y ZigBee

Fuente: (Zhizhou, Hao, Yuqi, & Xiaogaung, 2006)

(He, Li, Yin, & Huang, 2012) usa las características de ZigBee y GPS aplicadas en los buses y en estaciones de monitoreo y un centro de monitoreo. En las estaciones, se recibirán las señales procedentes de cada bus, de manera inalámbrica, la estación detecta el número de identificación del bus. Dicha estación enviará la información del tiempo de llegada del bus hacia la misma, directo al centro de monitoreo, a través de la red GPRS. La estación de monitoreo entonces envía su propio número de identificación al bus, así

el mismo reporta la información requerida. La arquitectura del sistema se presenta en la figura 3.14:

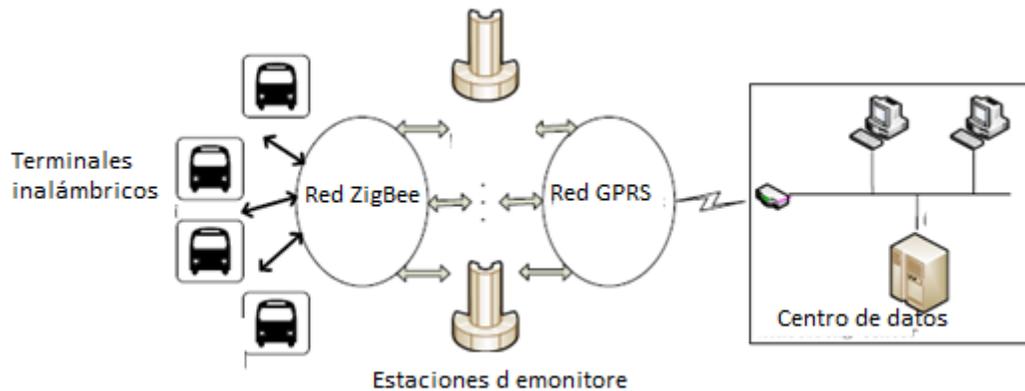


Figura 3.14 Sistema de monitoreo de buses basado en ZigBee y GPRS

Fuente: (He, Li, Yin, & Huang, 2012)

3.7 Conclusiones

Como se ha visto, es posible implementar un sistema para monitoreo de buses urbanos mediante distintas tecnologías inalámbricas con diferentes metodologías para lograr el objetivo propuesto. Las metodologías se clasifican en 3 grupos: vehículo a vehículo (V2V), infraestructura a vehículo (I2V) y vehículo a infraestructura (V2I). La ventaja de trabajar con módulos de comunicación inalámbrica es que la comunicación resulta sencilla, además de que se pueden implementar sistemas en tiempo real con un alto grado de exactitud para la localización de una unidad de transporte.

Un resumen del estado del arte es presentado en la tabla 3.1

Tabla 3.1 Resumen del estado del arte

	Bluetooth	GSM	RFID	WiFi	ZigBee
V2V					
		(Najma, 2015)	(Amu, Sarikha, Keerthy, & Jabez, 2015)	(Tan & Koksheik, 2016)	(Chang-qui, Zhou, & Shi-Dao, 2012)
I2V	(Wang & Wang, 2013)	(Janarthanan & Santhanakrishna, 2013)	(Yu & Yanjuan, 2012)	(Lin, Liu, & Jiang, 2016)	(ZHizhou, Hao, Yuqi, & Xiaogaung, 2006)
	(Walter, Schmalenstroer, Engler, & Haeb, 2013)				(He, Li, Yin, & Huang, 2012)
	(Katsuyuki & Katsuhir, 2017)	(Najma, 2015)	(Amu, Sarikha, Keerthy, & Jabez, 2015)	(El-Tawav, Oram, Garcia, Johns, & Park, 2017)	(Chang-qui, Zhou, & Shi-Dao, 2012)
V2I	(Walter, Schmalenstroer, Engler, & Haeb, 2013)	(Janarthanan & Santhanakrishna, 2013)	(Yu & Yanjuan, 2012)	(Tan & Koksheik, 2016)	(ZHizhou, Hao, Yuqi, & Xiaogaung, 2006)
	(Wang & Wang, 2013)	(Fan, Niu, & Deng, 2014)		(Lin, Liu, & Jiang, 2016)	(He, Li, Yin, & Huang, 2012)

Capítulo 4 Descripción del Sistema

4.1 Introducción

En el presente capítulo se detalla el proceso llevado a cabo para la implementación del sistema, el cual puede observarse en la figura 4.1, en el que se describe el módulo GPS, el microcontrolador, seguido a esto, se analiza el módulo de comunicación inalámbrica, el servidor y finalmente la base de datos, los mismos que serán descritos más adelante en este capítulo.

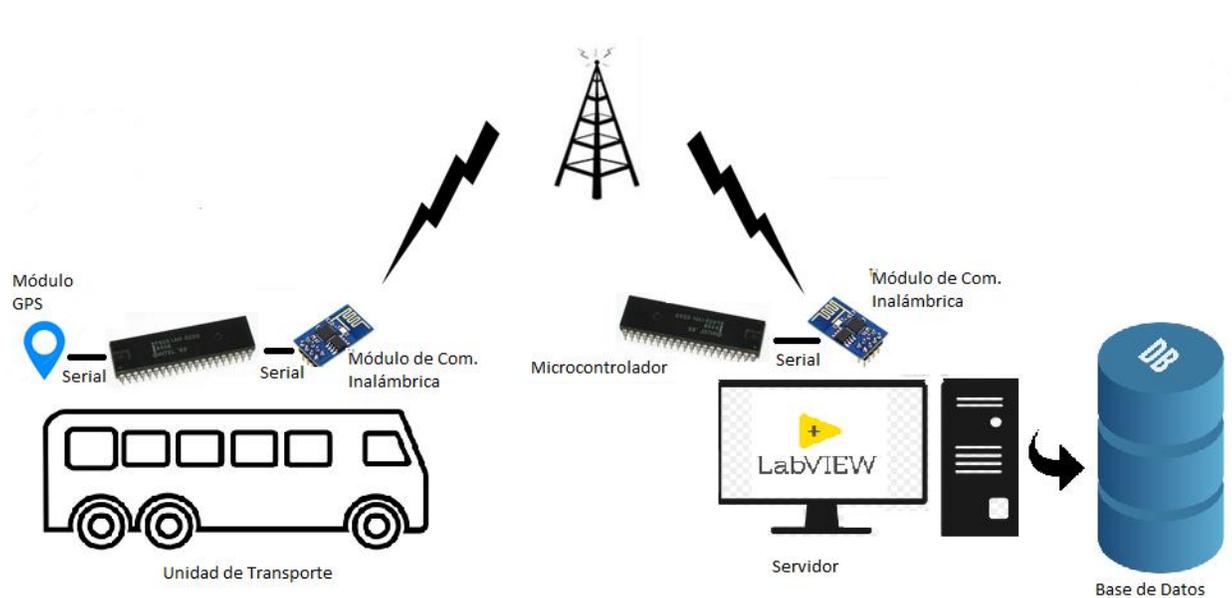


Figura 4.1 Sistema a implementar

4.2 Módulo GPS

El módulo GPS es un elemento fundamental para el desarrollo de este trabajo, debido a que, es el elemento que permite obtener la localización de cada unidad de transporte mediante las coordenadas Latitud y Longitud.

Para esta aplicación, el módulo utilizado es el *NEO 7M*, este módulo se observa en la figura 4.2, el mismo que resulta ser un dispositivo *UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter)*. La ventaja de este es su antena de alta ganancia, permitiéndole así, mejorar la receptividad de la señal, además admite diferentes tipos de antenas. Entre las características técnicas más destacadas están: voltaje de operación de 3.3 y 5V,

velocidad de datos (*BaudRate*) desde 9600 hasta 115200 baudios, consumo de corriente de 35mA, impedancia Tx/Rx de 510Ω (WaveShare, 2018).



Figura 4.2 GPS NEO 7M, vistas posterior y frontal

Fuente: (WaveShare, 2018).

Al conectar el GPS a un microcontrolador mediante comunicación UART (Rx-Tx y Tx-Rx), es necesario esperar un lapso de tiempo entre 2 a 5 minutos, si el módulo ese va a utilizar por primera vez o va a ser utilizado luego de un periodo largo de inactividad, para que el GPS se posicione y de esta manera poder obtener la ubicación. Una vez se haya posicionado, se puede obtener una trama de datos tal como la que se aprecia en la figura 4.3. Estos datos están en formato *NMEA* obtenidos a través de un monitor serial.

```

$GPRMC,144207.00,A,0255.18896,S,07900.13105,W,0.202,,210318,,,A*76
$GPVTG,,T,,M,0.202,N,0.374,K,A*23
$GPGGA,144207.00,0255.18896,S,07900.13105,W,1,06,1.38,2531.3,M,10.4,M,,*6C
$GPGSA,A,3,10,25,27,26,18,16,,,,,,2.02,1.38,1.48*0C
$GPGSV,2,1,08,04,81,116,12,10,72,105,25,16,40,203,30,18,14,284,22*7E
$GPGSV,2,2,08,22,00,325,,25,14,038,34,26,74,194,20,27,13,209,30*7D
$GPGLL,0255.18896,S,07900.13105,W,144207.00,A,A*66
$GPRMC,144208.00,A,0255.18889,S,07900.13109,W,0.335,,210318,,,A*7E
$GPVTG,,T,,M,0.335,N,0.620,K,A*22

```

Figura 4.3 Trama de datos obtenida

Se observa que se obtiene una gran cantidad de información, sin embargo, únicamente interesa el dato *GPRMC*, el mismo que contiene: fecha, hora, latitud, longitud, velocidad, etc. Evidentemente, resulta ineficiente para la aplicación enviar toda esta trama de datos, por tanto, mediante el microcontrolador se procederá a transformar toda

esta trama para obtener únicamente la información más relevante (latitud, longitud, velocidad).

4.3 Microcontrolador

El microcontrolador cumple con la función de almacenar las coordenadas obtenidas mediante el GPS para una posterior conversión, así como, establecer cuando debe el módulo de comunicación inalámbrica iniciar la comunicación con otro módulo para enviar los datos. Por tanto, deberá comunicarse tanto con el GPS como con el módulo inalámbrico mediante comunicación serial UART.

Para la presente investigación, se ha utilizado la tarjeta de desarrollo *ARDUINO*, la misma que contiene el microcontrolador *ATmega328P* (Arduino, 2018). La tarjeta Arduino se muestra en la figura 4.4



Figura 4.4 Tarjeta ARDUINO UNO

Fuente: (Arduino, 2018).

El *ARDUINO UNO* posee únicamente un puerto serial, por tanto, solo podría comunicarse con un solo dispositivo, para solucionar esto, se ha hecho uso de la librería *Software_Serial*, la misma que se encarga de convertir dos salidas cualesquiera del Arduino en puertos Rx/Tx. Así mismo, para convertir toda la trama de datos NMEA a un formato más conveniente para ser enviado, se ha utilizado la librería *TinyGPS*. La utilización de las librerías se muestra en las figuras 4.5, 4.6 y 4.7

```

#include <SoftwareSerial.h>

#include <TinyGPS.h>

TinyGPS gps;

SoftwareSerial software_Serial(2, 3); // RX, TX

```

Figura 4.5 Inclusión de las librerías

```

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  software_Serial.begin(9600);
}

```

Figura 4.6 Establecimiento de la velocidad de baudios para el serial por software

```

  if (gps.encode(Serial.read()))
  {
    float flat, flon;
    gps.f_get_position(&flat, &flon);
    lati = flat;
    longi = flon;
    gps.crack_datetime(&year, &month, &day, &hour, &minute, &second, &hundredths);
    float velocidad = gps.f_speed_kmph();
    int hora = hour-5;
  }

```

Figura 4.7 Uso de la librería *TinyGPS*

En la figura 4.5 se observa cómo han sido incluidas las librerías en el código, en la figura 4.6 se establece una velocidad de baudios para el nuevo serial, llamado en este caso *software_Serial*, utilizado para la comunicación con el módulo de comunicación inalámbrica, finalmente, en la figura 4.7 se aprecia cómo se han utilizados dos funciones de la librería *TinyGPS* para obtener los valores de: latitud, longitud, fecha y velocidad.

De la misma manera, en la programación del ARDUINO, se deberá realizar el proceso de comunicación entre los módulos: envío y recepción de datos a través de comandos

específicos para cada módulo, dichos comandos se escribirán directamente en el nuevo serial *software_Serial*.

4.4 Servidor

En la parte del servidor, se cuenta con un módulo de comunicación inalámbrica para recibir las coordenadas, así como, un microcontrolador que envíe las coordenadas hacia el servidor para la visualización de las mismas. El servidor ha sido desarrollado mediante el software *LabVIEW*. El programa fue desarrollado en base a un ejemplo proporcionado por la *National Instruments*, el ejemplo puede observarse en las figuras 4.8 y 4.9:

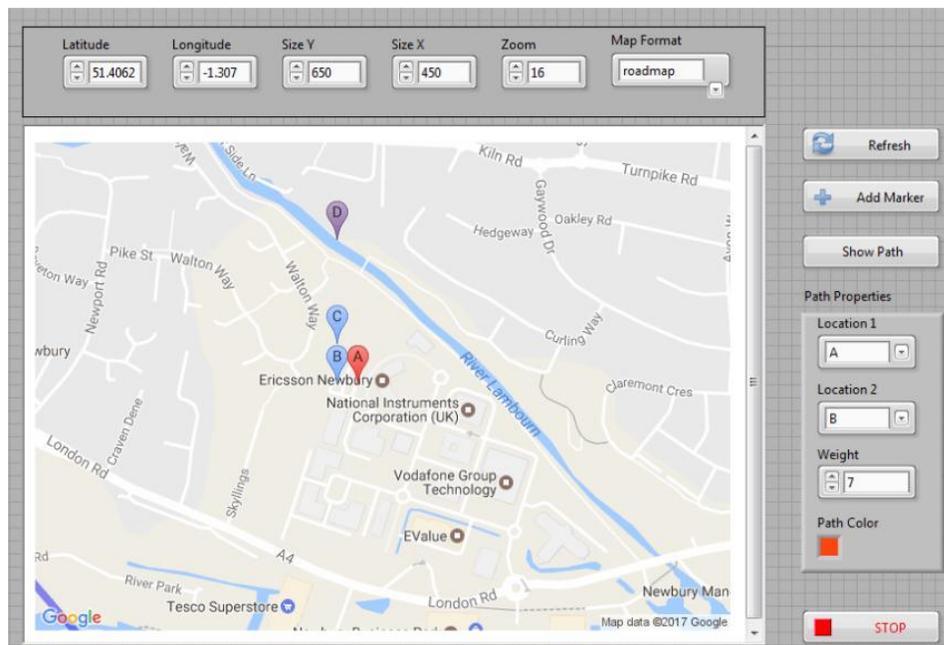


Figura 4.8 Programa ejemplo, Panel Frontal

Fuente: (National Instruments, 2009)

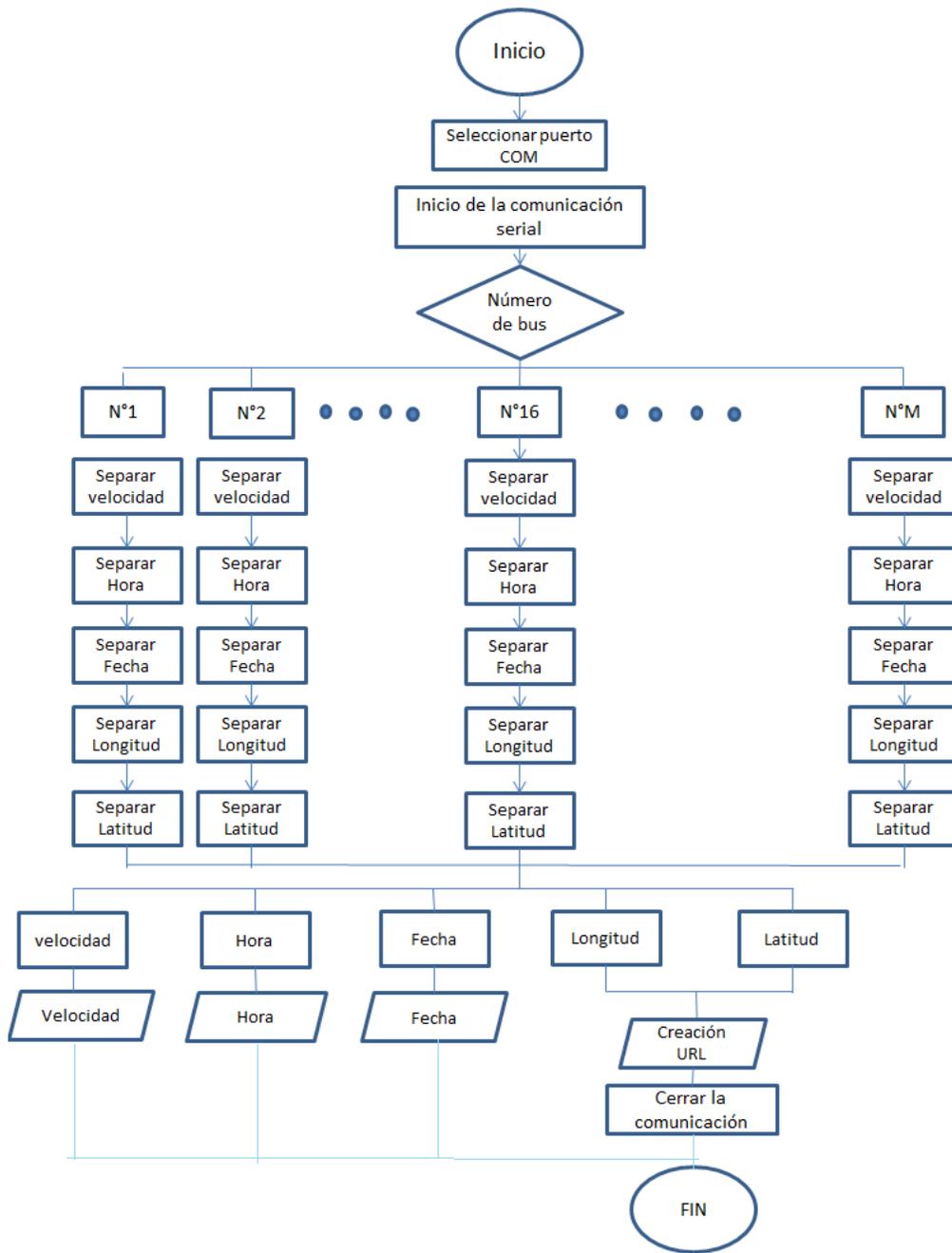


Figura 4.10 Diagrama de flujo base para el desarrollo del servidor

En la figura 4.10 se aprecia que: primeramente, se selecciona el puerto COM que utiliza el módulo instalado en la central, a continuación, se inicia la comunicación serial, donde, se procede a leer la trama recibida. A continuación, se procede a separar cada elemento de la trama en elementos individuales para luego visualizarlos. Finalmente, una vez

separados los datos de la trama, mediante: la latitud y la longitud obtenidas se crea un objeto URL que permite representar dichas coordenadas en un mapa de la zona.

Primeramente, es necesario contar con algún elemento que proporcione una interfaz de comunicación (serie, Ethernet o USB) entre el hardware en el lado del servidor (microcontrolador) y el software utilizado (*LabVIEW*), dicho elemento resulta ser: *NI VISA* (Virtual Instrument Software Architecture) desarrollado por *National Instruments*. (National Instruments, 2014). *NI VISA* permite seleccionar un puerto COM, por el cual llegarán los datos, así como, iniciar la comunicación serial y posteriormente, cerrarla. La inclusión de estos elementos está representada en las figuras 4.11 y 4.12:

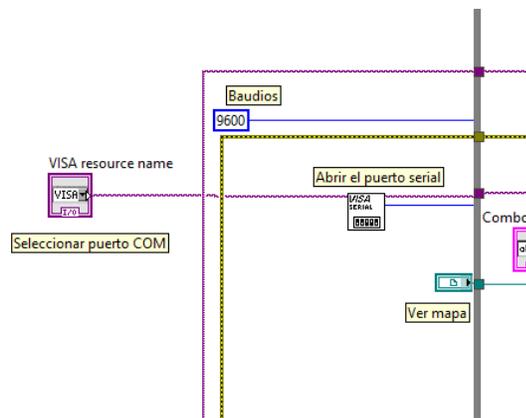


Figura 4.11 Elementos NI VISA, diagrama de bloques

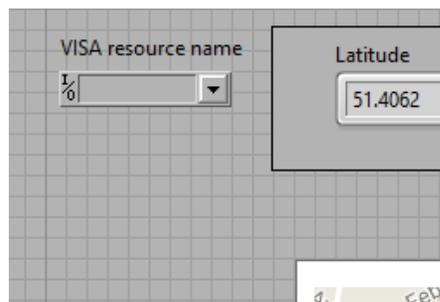


Figura 4.12 Elementos NI VISA, panel frontal

Ahora que la comunicación serial ya ha sido establecida, es posible leer la trama de datos recibida (velocidad_hora/fecha;número de bus,longitud latitud).

Debido a que resulta más cómodo para el usuario, que manipule el servidor, observar cada bus de manera individual, se utilizará una estructura *Case*, la misma que, permite seleccionar el número de bus que el usuario desee monitorear, esto se representa en las figuras 4.13 y 4.14:

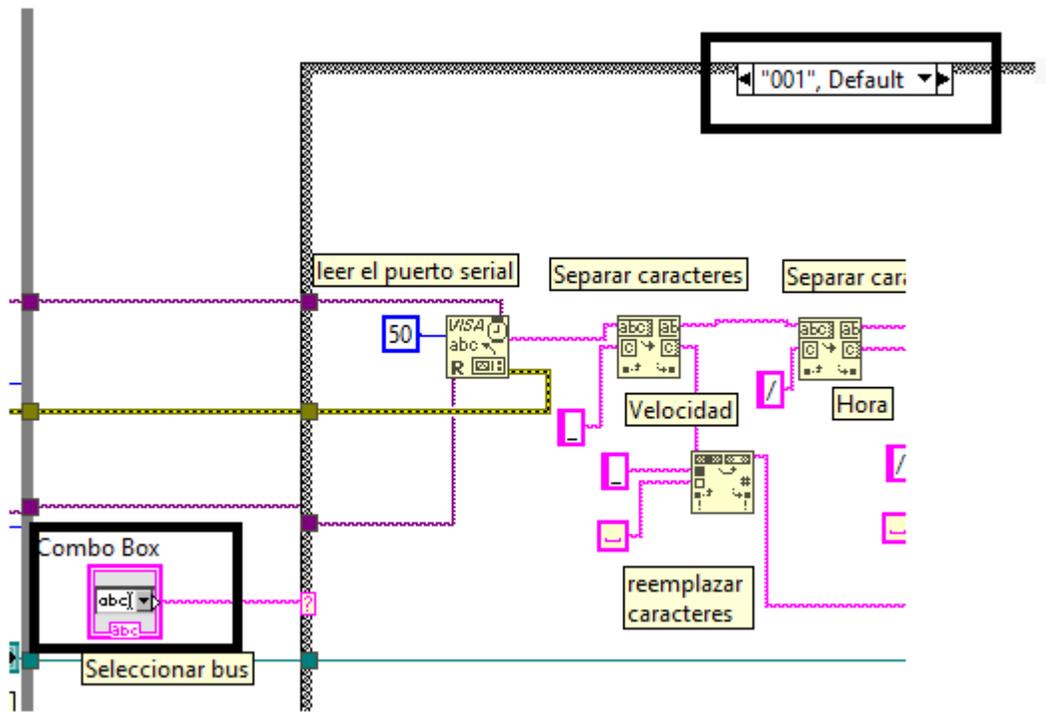


Figura 4.13 Utilización de un *Case* para seleccionar el bus

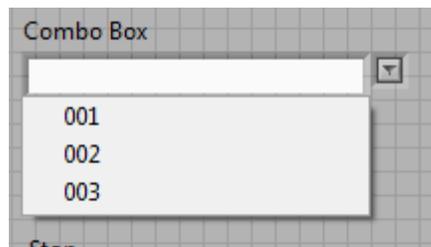


Figura 4.14 Seleccionador de la unidad de transporte

A continuación, se procederá a dividir la trama en elementos individuales. Esto se aprecia en la figura 4.15

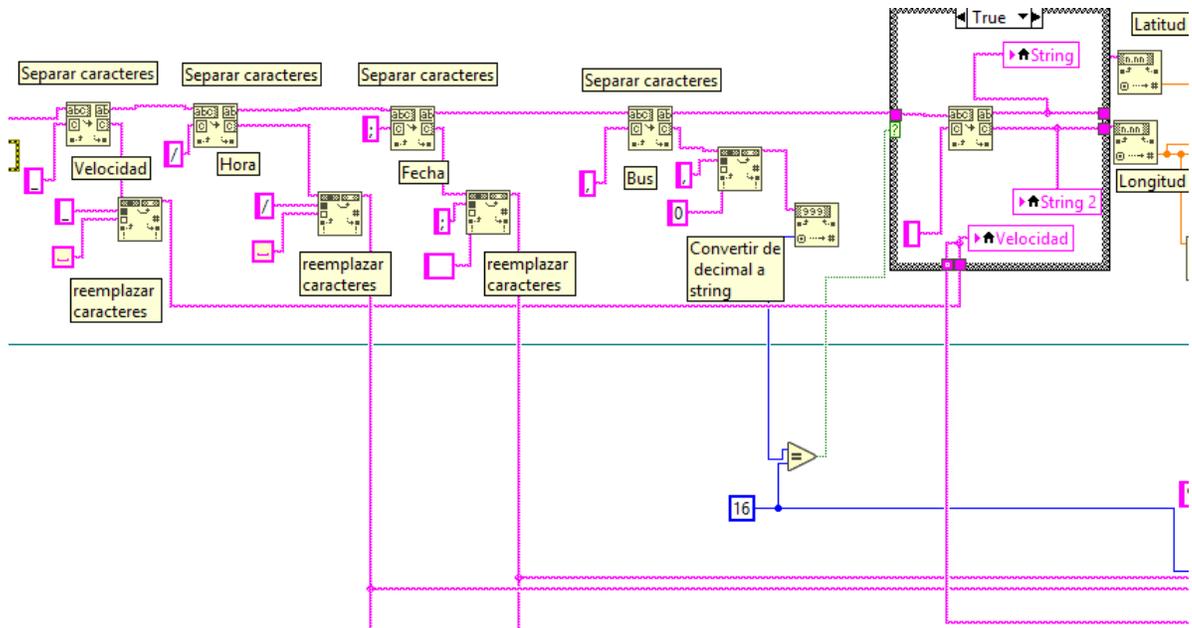


Figura 4.15 Separación de la trama en caracteres individuales

Tal como se puede apreciar en la figura 4.15, se utiliza la función *Search/Split String* para separar los elementos de la trama, de acuerdo al carácter separador utilizado (_ / ; ,), entonces la trama quedará dividida en dos partes, el elemento ya separado y el resto de la trama, el elemento individual ingresará a otra función, en este caso, *Search and Replace String* para reemplazar el carácter separador por un espacio en blanco y de esta manera proceder a visualizar el dato. El resto de la trama pasará a través del mismo proceso ya mencionado hasta haber separado todos los elementos. Sin embargo, luego de haber separado el indicador del bus, se procede a comparar este valor para determinar si la latitud, longitud y velocidad recibidas corresponden al caso del bus deseado. Este proceso se puede observar de una mejor manera en las figuras 4.16 y 4.17:

En la figura 4.16 se puede observar que se utiliza una función que compara el indicador del bus recibido, con el valor del caso seleccionado, en este caso, el bus 16. En el caso verdadero, tal como se realizó anteriormente, se separan latitud y longitud de la misma manera realizada para separar los datos anteriores. Mientras que, en el caso falso, únicamente, los valores de latitud y longitud se guardan en variables (*String* y *String2*) para no perder dichos valores cuando se seleccione un caso diferente.

A continuación, se procederá a crear un mapa URL en donde, se visualizará la ubicación de la unidad de transporte. Mediante la utilización de un sub VI, tal como se representa en las figuras 4.18, 4.19 y 4.20:

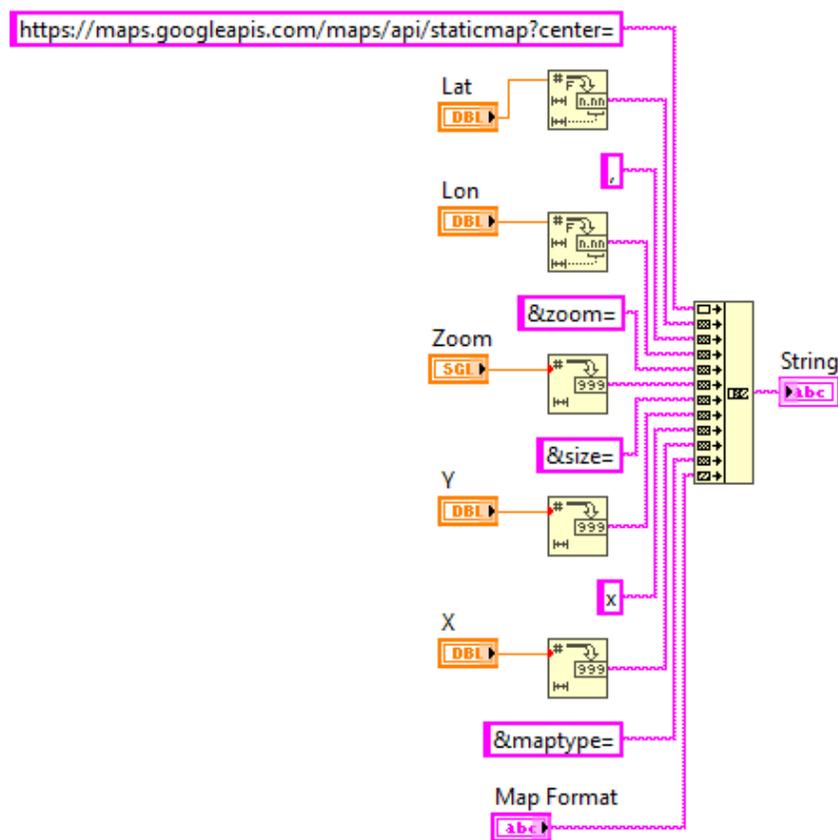


Figura 4.18 Sub VI para crear un mapa URL en el diagrama de bloques

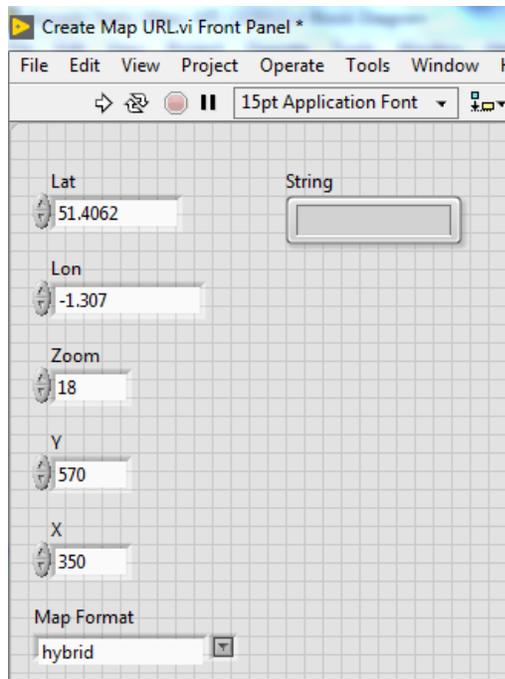


Figura 4.19 Sub VI para la creación de un mapa URL en el panel frontal

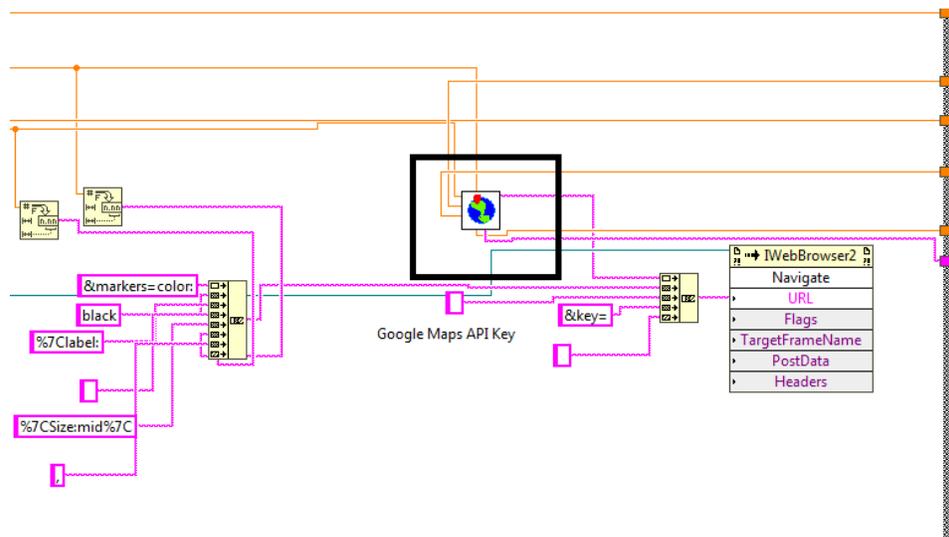


Figura 4.20 Sub VI en el código principal

En las figuras 4.18 y 4.19 se representa el sub VI creado tanto en el diagrama de bloques como en el panel frontal, se observa que se ha utilizado la función *Concatenate Strings* para agrupar varios *Strings* entre los que se encuentran: la dirección web de *Google Maps*, latitud y longitud obtenidas tal como se indicó anteriormente, las escalas en los ejes X, Y, así como, el formato del mapa; para obtener un solo *String*, el mismo que, será la salida del sub VI creado, tal como se puede analizar en la figura 4.20.

Ahora que ya se ha creado el objeto URL, se utiliza la función *Invoke Node*, la misma que, es capaz de crear un método y establecer sus parámetros, tal como se representa en la Figura 4.21:

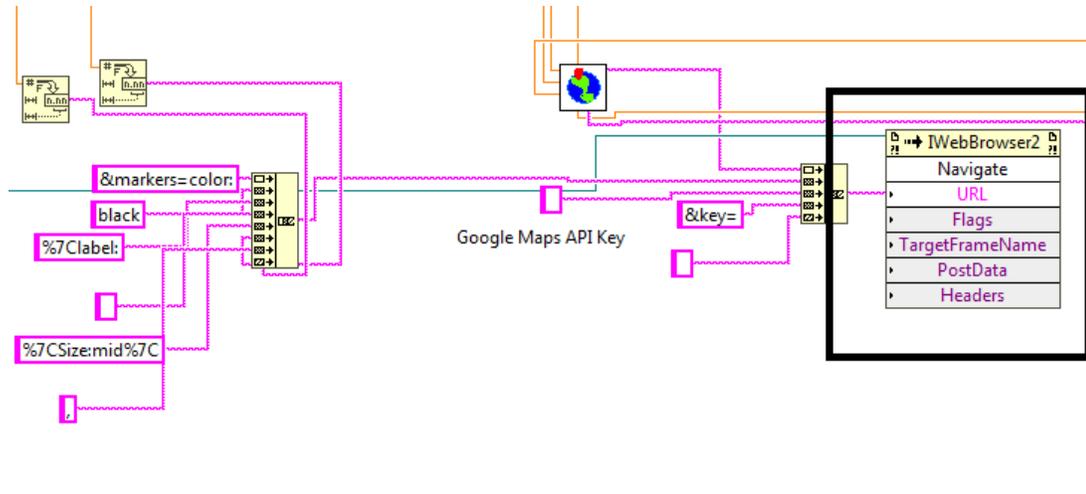


Figura 4.21 Función Invoke Node

La función anteriormente mencionada utiliza la clase *WebBrowser2* (buscador Web) y contiene el método *Navigate* (Navegar), finalmente, el parámetro que utiliza el método es: URL. Este método permitirá la navegación y actualización del mapa en donde se visualiza la posición del bus. Así mismo, de la figura 4.21 puede observarse que el parámetro URL a su vez, está compuesto por: el objeto URL creado y el marcador que permitirá la localización de la unidad de transporte. La creación del marcador se representa en la figura 4.22:

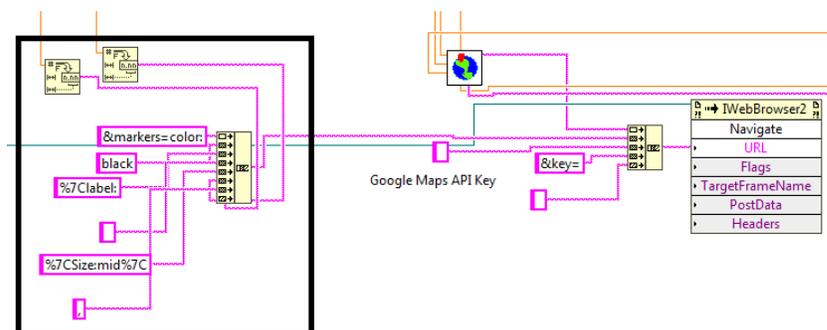


Figura 4.22 Creación del marcador

El marcador, objeto que ubica la posición del bus, no es más que una cadena de *Strings* (Color, etiqueta, tamaños), como puede apreciarse en la figura 4.22.

Finalmente, el servidor establecido en el panel frontal se representa en la figura 4.23:

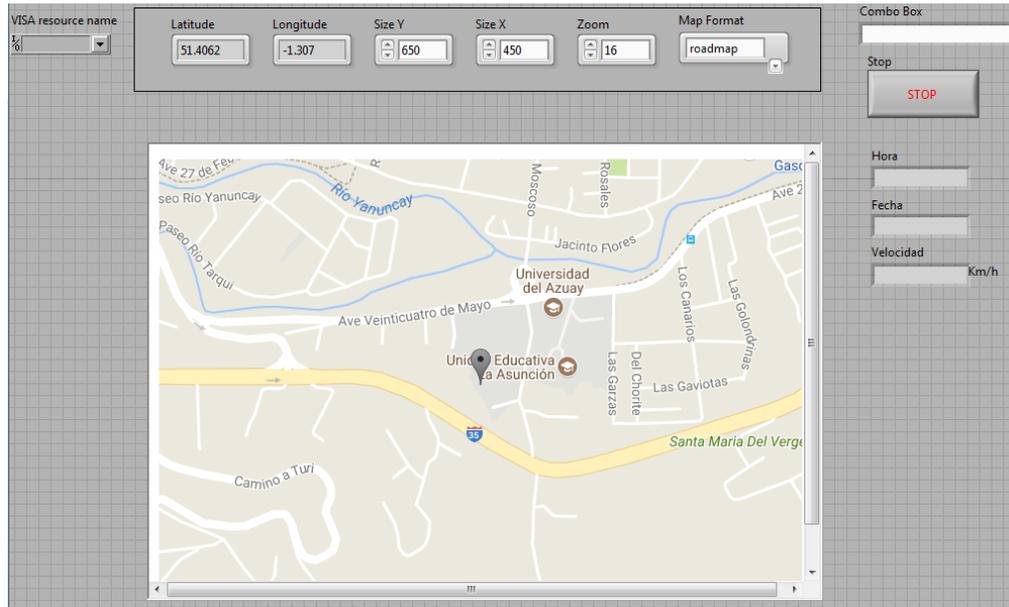


Figura 4.23 Servidor, panel frontal

4.5 Base de Datos

La base de datos permitirá almacenar la información recibida en el servidor para un posterior análisis. La base de datos se desarrolla mediante el software *MySQL Workbench*, además se requiere utilizar el software *MySQL Connector ODBC* para establecer una conexión entre la base de datos creada y el servidor implementado en *LabVIEW*. Primeramente, mediante *Workbench*, se crea la conexión, en este caso, denominada *localhost*. A continuación, se procede a crear la base de datos, la misma que, contendrá la tabla para guardar y visualizar la información. Estos pasos se representan en las figuras 4.24 y 4.25:

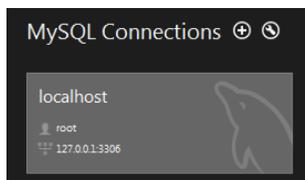


Figura 4.24 Conexión localhost

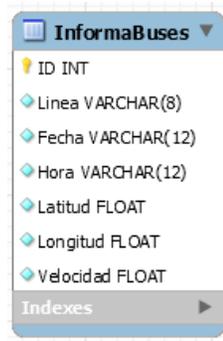


Figura 4.25 Tabla creada

La figura 4.24 muestra la conexión creada, mientras que la figura 4.25 representa la tabla creada en *Workbench*, en la misma donde se pueden observar las columnas (Línea, Fecha, Hora, Latitud, Longitud y Velocidad), así como, el tipo de dato y el número de caracteres necesarios. A continuación, para poder establecer una conexión entre la base de datos creada y el servidor, es necesario crear un *DSN (Data Source Name)*, necesario para la conexión, esto se lo realiza mediante el software *MySQL Connector ODBC*, el *DSN* creado se representa en la figura 4.26, donde se puede apreciar que el mismo se ha establecido con el nombre: “tesis”, además, la tabla seleccionada es: “basebuses”.

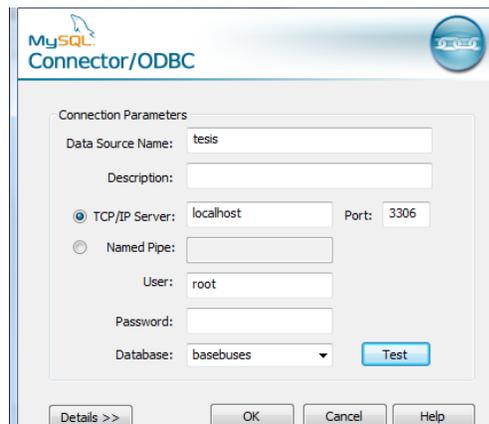


Figura 4.26 Creación del DSN

Una vez establecidos: la conexión y el *DSN*, resulta posible realizar la conexión entre la base de datos y el servidor. Para implementar la programación necesaria en *LabVIEW* se

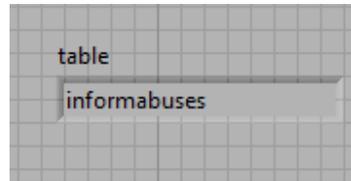


Figura 4.29 Ingresar el nombre de la tabla en el panel frontal

A continuación, se utiliza el sub VI *Select*, el mismo que, permite seleccionar los datos, ya sea para eliminarlos, reemplazarlos, o en este caso, para visualizarlos. Esto está representado en la figura 4.30

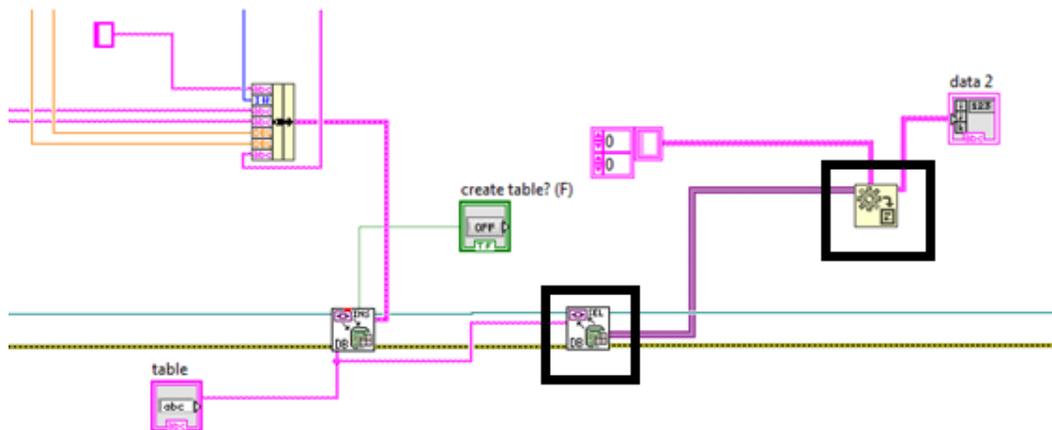


Figura 4.30 Visualización de los datos mediante el sub VI *Select*

La figura 4.30 muestra cómo visualizar los datos, primeramente, el elemento *Select* necesita como parámetro el nombre de la tabla, al igual que el elemento *Insert*, la salida del *Insert* es de tipo *Variant*, para permitir una visualización más cómoda de información se utiliza la función *Variant to data*, que permite convertir datos de tipo *Variant* a otro tipo de dato, especificado, en este caso, el tipo de dato al que se desea convertir es un *Array* de dos dimensiones. Finalmente, se visualizan los datos en una tabla, de la misma manera en que se observa en la figura 4.31:

por caracteres, para que de esta manera, el servidor pueda separar los datos dependiendo del caracter que antecede a cada dato.

```
char bus[] = "16";
char latitud[10];
dtostrf(lati,2,4,latitud);
char longitud[10];
dtostrf(longi,2,4,longitud);
char velo[10];
dtostrf(velocidad,2,2,velo);
char trama[150];
sprintf(trama,"%s %s,%s;%d-%d-%d/%d:%d:%d_%s",latitud,longitud,bus,year,month,day,hora,minute,second,velo);

software_Serial.println(trama);
```

Figura 4.33 Formato de la trama enviada

En la figura 4.33 puede observarse que, se crea una variable de tipo *char* (caracter) denominada “bus” para ingresar el número de la unidad de transporte, a continuación, se utilizan los datos obtenidos mediante la librería *TinyGPS* mencionada anteriormente para establecer un formato de trama mediante la función *sprintf*, la cual, permite la transmisión de la trama en una sola función *print*, para, de esta manera optimizar el procesamiento del microcontrolador. Para utilizar la función *sprintf* se necesita transformar los valores de punto flotante (latitud, longitud y velocidad) obtenidos a variables de tipo *char* mediante la función *dtostrf*. Una vez se ha definido el formato de la trama, se procede a transmitirla a través del puerto serial creado por software.

4.6.1 Bluetooth

Para desarrollar la aplicación mediante la tecnología Bluetooth, el módulo *hm 10* ha sido seleccionado, el mismo que se aprecia en la figura 4.34. A diferencia de otros módulos Bluetooth, el *hm 10* puede ser configurado tanto como Maestro o como esclavo, así mismo, ya trabaja bajo Bluetooth 4.0. Además, es un dispositivo de bajo consumo de energía (BLE). Entre las características más destacadas del módulo en cuestión se tiene:

- Voltaje de trabajo entre 3.3 a 6V
 - Corriente de trabajo de 8mA
 - Velocidad de datos desde 9600 hasta 115200 baudios
 - Mayor seguridad (Autenticación y encriptación)
- (Naylamp Mechatronics)



Figura 4.34. Módulo Bluetooth *hm 10*

Fuente: (Naylamp Mechatronics)

Para realizar la implementación, resulta necesario configurar a los módulos ya sea como Maestro o como Esclavo. Por tanto, para realizar la comunicación entre los dispositivos BLE, uno deberá ser Maestro (El que permita iniciar la comunicación bidireccional), mientras que otro será esclavo. La configuración es sencilla; por defecto el *hm 10* está preconfigurado como esclavo, por tanto, la configuración se realiza en el dispositivo que se desee establecer como maestro. La figura 4.35 representa la configuración del dispositivo como maestro mediante comandos AT.

```
software_Serial.println("AT+IMME1");
delay(100);
software_Serial.println("AT+ROLE1");
delay(100);
software_Serial.println("AT+COND43639D84633");
delay(1000);
```

Figura 4.35 Configuración del dispositivo como maestro

En la figura 4.35 se observa que se han utilizado 3 comandos AT, “AT+IMME1” permite iniciar manualmente la conexión con otro dispositivo, a continuación, se utiliza el comando “AT+ROLE1” para configurar al módulo como maestro y finalmente se inicia la conexión con un dispositivo específico mediante la dirección de este, la cual puede ser obtenida mediante el comando “AT+ADDR?”, dicha conexión se la realiza gracias al comando “AT+CONDirección”. De esta manera, el módulo está listo para enviar información hacia el esclavo. Así mismo, el esclavo puede transmitir datos hacia el maestro conociendo la dirección de este. Finalmente, el envío del mensaje se lo realiza con la trama presentada en la figura 4.33

4.6.2 GSM

Se ha utilizado el *shield* para el *ARDUINO UNO* basado en un módulo, GSM/GPRS/GPS, de cuatro bandas *SIM808*, el cual se representa en la figura 4.36.

Entre sus principales características se tiene:

- Conectividad con cualquier *ARDUINO*
- Conversor USB a UART
- Ranura para tarjeta SIM
- Taza de baudios desde 1200 a 115200
- Interfaz Bluetooth 3.0
- Control vía comandos AT
- Bandas de trabajo: GSM 850/ EGSM 900/ DCS 1800/ PCS 1900 MHz
- Interfaz GPS con 66 canales para adquisición

(WaveShare, 2018).



Figura 4.36 *SIM 808*

Fuente: (WaveShare, 2018).

Como se mencionó anteriormente, este módulo es controlado a través de comandos AT. Para el sistema propuesto, se utilizará únicamente la función GSM (mensajes de texto), por tanto, a continuación, en la tabla 4.1 se describirán los principales comandos utilizados:

Tabla 4.1 Principales comandos AT utilizados

Comadno	Descripción	Respuesta
AT	Comprobar el funcionamiento correcto del módulo	AT OK
AT+CNMI	Indicador de nuevo mensaje recibido	
AT+CMGF=1	Configuración de mensaje de texto	AT+CMGF=1 OK
AT+CMGR	Leer mensaje	
AT+CMGS="phone number"	Establecer número al que se dese enviar el mensaje, Luego de recibir el caracter > se puede escribir el mensaje >	
0x1A	Terminador del mensaje (Ctrl+Z)	
AT+CGNSPWR=1	Encender GPS	
AT+CGNSINF	Obtener localización	

Fuente: (WaveShare, 2018).

Estos comandos se podrán enviar desde el *ARDUINO* hasta el módulo *SIM808* y de esta manera, transmitir las coordenadas obtenidas, a través de mensajes de texto, esto se observa a continuación en las figuras 4.37 y 4.38

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <TinyGPS.h>
SoftwareSerial gsm(2, 3); // RX, TX
TinyGPS gps;
char numero_cell[]="0969031588";
float lat, lon, speed=0;

void setup()
{
  //delay(120000);
  Serial.begin(9600);

  gsm.println("AT+IPR=9600"); //Seleccionar baudrate
  delay(500);
  gsm.println("AT+CMGF=1");//modo texto
  delay(500);
  gsm.println("AT+CMGR=?");//ACTIVAMOS CODIGO PARA RECIBIR MENSAJES
  delay(500);
  gsm.println("AT+CNMI=2,2,0,0");//ACTIVAMOS PARA VER MENSAJES
  delay(500);
  gsm.println("AT+CGNSPWR=1");// activo gps
  delay(500);
  gsm.println("AT+CGNSTST=1");// activo gps
  //delay(120000);
}
```

Figura 4.37 Configuraciones iniciales para el SIM808

```

gsm.println("AT+CMGF=1");//modo texto
delay(1000);
gsm.print("AT+CMGS=");// comando de envio de mensaje a un numero determinado
delay(1000);
//Imprime los datos al puerto serie como texto ASCII
gsm.print((char)34);//comillas para ingresar el número
gsm.print(numero_cell);//colocamos numero de telefono
gsm.println((char)34);//comillas para finalizar la escritura del número
delay(1000);//tiempo para que de respuesta el modulo >

```

Figura 4.38 Envío de mensaje

En la figura 4.37 se observa la configuración inicial que se debe realizar en el módulo, la misma que, permite el envío y recepción de mensajes. Mientras que, en la figura 4.38 se aprecia la manera en la que se transmiten los datos mediante mensaje de texto a un número de celular previamente definido en la figura 4.37.

A continuación, se procede con el envío de la trama de la figura 4.33; para finalizar el mensaje, luego de la trama se inserta el caracter “Ctrl+Z”, representado en la figura 4.39, para de esta manera, dar por terminado el mensaje.

```

gsm.print((char)26);//Ctrl+Z para finalizar el mensaje

```

Figura 4.39 Finalización del mensaje

4.6.3 Wi-Fi

Para la implementación del sistema, mediante Wi-Fi, se ha utilizado el módulo *WIFI232B*. La figura 4.40 representa al módulo utilizado. Entre las principales características de este módulo destacan:

- Trabaja bajo los protocolos IEEE 802.11 b/g/n
- Implementa los protocolos de red TCP/UDP/ARP/ICMP/HTTP/DNS/DHCP
- Modos de trabajo: AP, estación o AP + estación
- Puede trabajar como: cliente/servidor TCP/UDP
- Soporta algoritmos de seguridad Wi-Fi WEP/WAP-PSK/WAPI
- Configurable mediante: comandos AT o servidor web

- Tasa de baudios hasta 460800
(WaveShare, 2018).



Figura 4.40 Módulo WIFI232B

Fuente: (WaveShare, 2018).

La configuración de estos módulos se la realiza mediante comandos AT, sin embargo, es recomendable establecerla previamente, es decir, antes de ser comunicados con el microcontrolador, debido a que se necesitan realizar ciertos pasos para poder acceder al modo de configuración mediante comandos AT. Dichos pasos son:

- En un monitor serial se ingresan los caracteres “+++” tal como se indica en la figura 4.41, luego el módulo responderá con el carácter “a”, de la misma manera que se observa en la figura 4.42
- A continuación, y en un tiempo menor a 3 segundos, ingresar en el monitor serial el carácter “a”, esto se observa en la figura 4.43, finalmente el módulo responderá con: “+ok”, tal como muestra la figura 4.44, de esta manera ya es posible configurar el módulo mediante comandos AT.

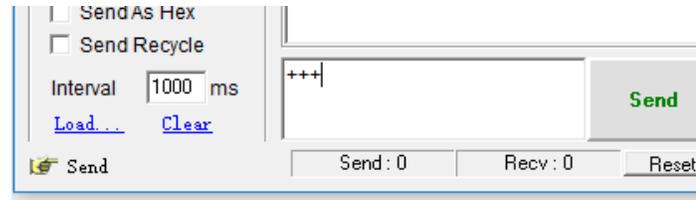


Figura 4.41 Método para ingresar al modo AT

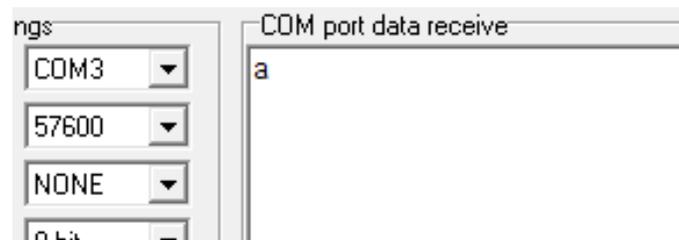


Figura 4.42 Respuesta del módulo

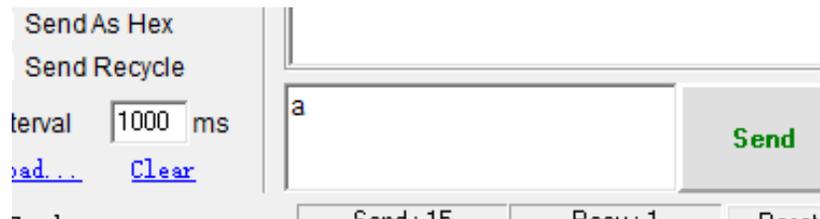


Figura 4.43 Confirmación para ingresar al modo AT

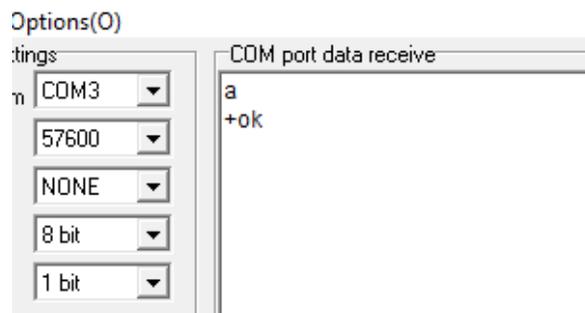


Figura 4.44 Verificación del modo de configuración

Ahora, resulta posible ingresar los comandos AT para preconfigurar los módulos. Anteriormente se mencionó que estos módulos pueden trabajar como: AP o como estación; así mismo, como cliente/servidor TCP/UDP, por tanto, se realizarán dichas configuraciones, las mismas que están representadas en la figura 4.45. Primeramente, se debe seleccionar el modo de trabajos (AP o estación), en este caso, se ha establecido a

los módulos en modo estación, para de esta manera, conectarse a una red inalámbrica. A continuación, se establece el modo de transmisión de los datos, en este caso, se utiliza el modo transparente para facilitar la comunicación entre los módulos. Ahora, se configura el puerto serial (velocidad de datos, bit de paridad, etc.). Una vez establecidos los parámetros básicos en los módulos, se procede a conectarlos a una red inalámbrica, en este caso, la red “Red Calle.”. Posterior a esto, y para permitir la conexión a la red, se establecen los parámetros de seguridad de la red (método de autenticación, método de encriptación y contraseña). Finalmente, se asigna una dirección IP a los módulos, en la figura 4.45 se observa que se lo realizó de manera estática.

```

AT+WMODE=STA      establecer en modo
+ok               estación

A
T+TMODE=Through   Modo de transmisión
+ok               transparente

A
T+UART=9600,8,1,None,NFC  Configuración del
+ok               puerto serial

A
T+WSSSID=Red Calle.  Conexión a la red
+ok               inalámbrica

A
T+WSKEY=WPA2PSK,TKIP, contraseña  Establecimiento de parámetros
C~               de seguridad de la red Wi-Fi
+ok

AT+WANN=sta
tic,192.168.1.130,255.255.255.0,192.168.1.1  Asignación de la
+ok               dirección IP estática

```

Figura 4.45 Configuraciones básicas del módulo Wi-Fi mediante comandos AT

Posterior a estas configuraciones, resulta necesario establecer a los módulos como servidor y cliente TCP para permitir la transmisión de datos a través de la red inalámbrica. En la figura 4.46 se aprecia que un módulo ha sido establecido como servidor TCP, como parámetro se ha introducido la misma dirección IP del módulo (192.168.1.130). Mientras que, en la figura 4.47 se observa que otro módulo ha sido

establecido como cliente TCP, introduciendo como parámetro la dirección IP del servidor (192.168.1.130).

```
A
T+NETP=TCP,Server,8899,192.168.1.13
0
+ok
```

Configuración en modo servidor TCP

Figura 4.46 Establecer al módulo como servidor TCP

```
A
T+NETP=TCP,Client,8899,
192.168.1.130
+ok
```

Configuración en modo cliente TCP

Figura 4.47 Establecer al módulo como cliente TCP

La configuración realizada posteriormente en los módulos (Modo transparente y Cliente/Servidor TCP) facilita la comunicación a través de la red inalámbrica sin la necesidad de comandos adicionales mediante el microcontrolador. Por tanto, con la ayuda de la librería *Software_Serial*, únicamente se debe escribir la trama de datos en el nuevo puerto serial creado, para que el módulo Wi-Fi retransmita dicha trama de manera inalámbrica hacia otro dispositivo Wi-Fi. La transmisión de la información es la misma representada en la figura 4.33

4.6.4 ZigBee

Para la implementación mediante ZigBee, se han elegido los módulos *xc0re2530*, la figura 4.48 muestra el módulo utilizado en cuestión. Las especificaciones más importantes del mismo se exponen a continuación:

- Puede ser configurado con 3 Firmwares diferentes: Coordinador, Router o dispositivo final
- Soporta transmisiones grandes de datos
- Creación automática de redes (se necesita mínimo un Coordinador y un Router)
- Distancia máxima de comunicación: 1000m

- Frecuencia de operación: 2.4GHz
- Disponibilidad de 16 canales
- Velocidad de datos de hasta 115200 baudios
(WaveShare, 2018).

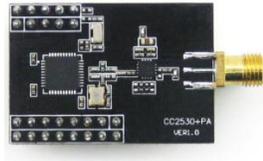


Figura 4.48 Módulo xcore2530

Fuente: (WaveShare, 2018).

Para empezar a trabajar con los módulos ZigBee, es necesario configurarlos. Resulta posible cargar los tres tipos de *firmware* en los módulos. Para ello es necesario configurar el módulo mediante un archivo hexadecimal que permitirá posteriormente cargar el *firmware* deseado en los módulos. El archivo hexadecimal “*bootloader*” es posible cargarlo mediante el software *Smart RF Studio* con la ayuda de la herramienta *Flash Programmer* y dicha configuración se representa en la figura 4.49:

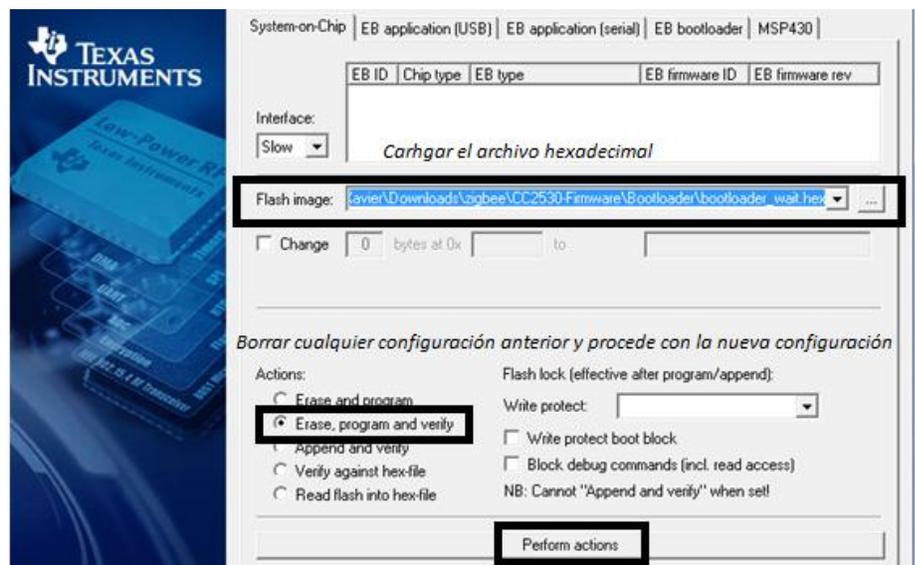


Figura 4.49 Configuración mediante el archivo hexadecimal.

Ahora ya resulta posible cargar el *firmware* deseado en los módulos, para conseguirlo, se utiliza el software *SerialBoot Tool*. En el programa mencionado, se configura el puerto serial y finalmente se selecciona el *firmware* que se desea cargar, en este caso, en la figura 4.50 se aprecia que se ha configurado como router.

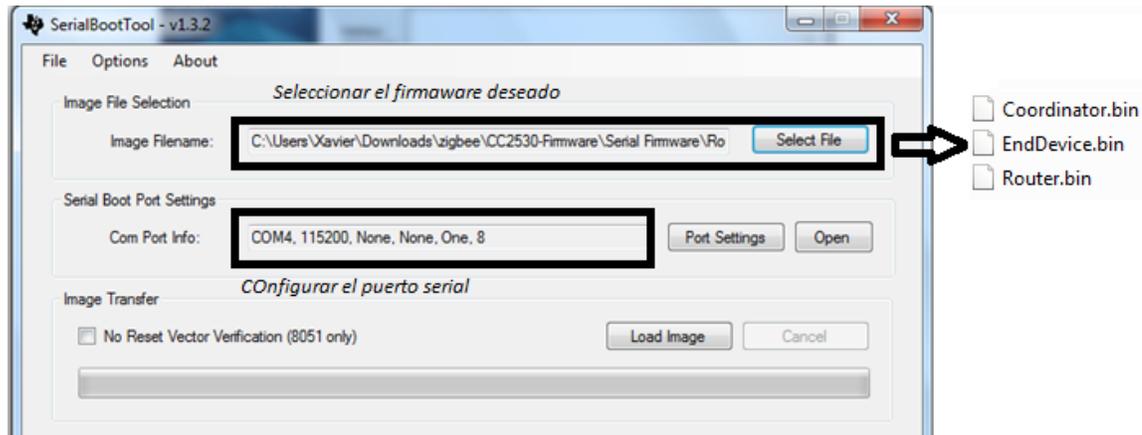


Figura 4.50 Configuración mediante firmware (Coordinador, router o disp. final)

Una vez configurados los módulos, el Coordinador (imprescindible en una red ZigBee) se encargará de crear la red, es decir, será el encargado de: seleccionar un canal y un PAN ID, así como, asignar las direcciones a los demás dispositivos (routers y dispositivos finales). Dicha acción la realizará de manera automática. Mediante comandos AT a través de un monitor serial, es posible conocer las direcciones de los dispositivos dentro de la red mediante el comando *AT+GETADDR*.

Ahora que ha sido creada la red, el dispositivo final será instalado en las unidades de transporte, mientras que, el coordinador de la red en el centro de datos será quien reciba la información, para concluir, los routers actuarán como intermediarios (en las paradas de transporte) para que el mensaje se transmita desde el dispositivo final hacia el coordinador. En la figura 4.51 se aprecia la programación en el dispositivo final, donde, únicamente es necesario incluir el comando "*P2P 0000 mensaje*", en el cual, la dirección 0000 corresponde a la dirección del coordinador de la red, posterior a esto, se procede a enviar la misma trama representada en la figura 4.33:

```
software_Serial.print("P2P 0000 ");
```

Figura 4.51 Envío del mensaje desde el dispositivo final hacia el coordinador

4.7 Comparativa de tecnologías

A continuación, se procede a comparar cada una de las tecnologías utilizadas en base a los parámetros más relevantes para la aplicación propuesta en esta investigación. Dichos parámetros son: Frecuencia, Cobertura, Velocidad Máxima de Datos, Topologías, Número Máximo de Nodos, Consumo de Potencia, Movilidad y Costo.

4.7.1 Frecuencias

En esta sección se hace referencia a la banda de frecuencia en la que opera cada una de las tecnologías de comunicación inalámbrica utilizadas, siendo para cada tecnología las siguientes frecuencias:

El módulo BLE trabaja en 2,4 GHz (Naylamp Mechatronics), el módulo SIM808, dependiendo de la operadora celular puede operar en 4 bandas de funcionamiento: 850, 900, 1800 y 1900 MHz, el dispositivo WIFI232 solo dispone la banda de 2,4 GHz para operar y el módulo ZigBee CC2530, al igual que la tecnología WI-Fi dispone de la banda de 2,4 GHz (WaveShare, 2018).

4.7.2 Cobertura

Para analizar la cobertura, se comparan las distancias máximas que soportan cada una de las tecnologías para establecer una comunicación de buena calidad que permita la transmisión correcta de la información, en este sentido se pueden citar las distancias de cobertura de cada una de las tecnologías:

La distancia del módulo HM-10 es inferior a 100 m (Naylamp Mechatronics), resultando evidente la poca cobertura debido a la baja potencia de transmisión, los módulos GSM cuentan con una cobertura completa a lo largo y ancho de la ciudad debido a las radio bases implementadas por cada una de las operadoras celulares, la cobertura del módulo Wi-Fi utilizado mejora respecto al módulo BLE debido a la utilización de una antena

externa y dicha cobertura alcanza los 400 m y el módulo CC2530 permite obtener una comunicación estable hasta distancias de 1000 m (WaveShare, 2018).

4.7.3 Velocidad Máxima de Datos

De las especificaciones consultadas y citadas anteriormente para cada uno de los módulos utilizados, se llega a la conclusión que cada uno de estos alcanza velocidades máximas de 115200 bps (WaveShare, 2018).

4.7.4 Topologías

Esta característica permite comprender la manera en la que los dispositivos se comunican entre sí dentro de la red, por lo que de la experiencia de trabajar con cada uno de los módulos se obtiene la información acerca de las topologías permitidas por los mismos, es así que:

Los dispositivos Bluetooth utilizados permiten configurarse tanto como maestro o como esclavo, permitiendo esto, una topología tipo estrella en la que cada esclavo se comunique con el maestro de la red, así como, el maestro con cada esclavo, sin embargo, el maestro puede permitir que dos esclavos se comuniquen entre sí; de esta manera, se obtiene una topología de tipo malla. En la tecnología GSM se cuenta con una comunicación punto a punto, es decir, el módulo se comunica con la estación base y viceversa. Los módulos WIFI232 pueden configurarse ya sea como servidor o cliente TCP, por tanto, la topología obtenida con estos dispositivos será estrella, en la que los clientes se comuniquen con el servidor y viceversa. Finalmente, los módulos ZigBee pueden comunicarse con cualquier dispositivo dentro de la red ya sea este: dispositivo final, router o coordinador, la topología de la red es de tipo malla.

4.7.5 Número Máximo de Nodos

A continuación, se indica el número de dispositivos conectados que pueden soportar las diferentes redes inalámbricas:

El protocolo Bluetooth admite un número máximo de 7 esclavos (Prometec, 2016), en GSM solo se cuenta con 2 nodos máximo (comunicación punto a punto), mientras que, con los módulos WIFI232 un servidor TCP soporta hasta 32 clientes TCP. Pudiendo concluirse que en la tecnología ZigBee se obtiene una mayor cantidad de dispositivos en

la red; la cantidad expresada en formato hexadecimal es de FFFE dispositivos (65534 dispositivos) (WaveShare, 2018).

4.7.6 Consumo de Potencia

Al momento de elegir una tecnología que permita implementar el sistema planteado, resulta de vital importancia el consumo de potencia. A menor consumo de potencia, más eficiente y económico resultará el sistema, teniéndose que:

El dispositivo BLE utilizado opera en el rango de 3.3 a 5 V con una corriente de 8.5mA (Naylamp Mechatronics), por otra parte el módulo WI-Fi utilizado funciona con 3.3V y 300 mA y el dispositivo CC2530 opera con 3.3V y 20 mA máximo de consumo (WaveShare, 2018).

4.7.7 Movilidad

El término movilidad hace referencia a la flexibilidad de la red en términos de: la velocidad máxima a la que se puede desplazar un dispositivo sin perder la comunicación debido al “Efecto Doppler”, el mismo que, dependiendo de dicha velocidad ocasiona una variación en la frecuencia de transmisión (Si el transmisor se moviliza acercándose al receptor las ondas electromagnéticas se “comprimen”, de esta manera se reduce la longitud de onda y aumenta la frecuencia de transmisión. Caso contrario, si el transmisor se aleja, la frecuencia de transmisión se reduce) provocando así, un cambio en el canal utilizado por el módulo para transmitir la información.

En redes WI-Fi y Bluetooth, al contarse con distancias cortas de cobertura (400 m y 100 m respectivamente) los dispositivos no podrán desplazarse con gran velocidad, siendo esto una desventaja para el sistema propuesto, en GSM la movilidad alcanza el valor de 120 Km/h (Rendón Gallón & Plazas Pemberthy, 2016) y en redes ZigBee, la velocidad de movilidad máxima de los dispositivos es de 68 Km/h, velocidad que ha sido comprobada mediante las pruebas realizadas. Debido a la dificultad de realizar las pruebas con una unidad de transporte se optó por la utilización de un vehículo aéreo no tripulado (UAV), en el mismo que, se instaló el dispositivo final para que, de esta manera se movilice a velocidades elevadas y obtener el valor de movilidad soportado por la tecnología.

En Anexos se observa la preparación del UAV para realizar las pruebas requeridas.

4.7.8 Costo

Uno de los factores más importantes a considerar es el costo de cada uno de los dispositivos debido a la búsqueda de implementar un sistema de bajo coste, por tanto, se citan los costos de cada uno de los módulos utilizados, siendo estos:

Para el BLE HM-10 el costo de 40 dólares (Naylamp Mechatronics), el kit SIM808 cuesta 46 dólares; sin embargo, se debe tener en cuenta que, para el envío de mensajes resulta necesario realizar un contrato con una operadora celular para la activación de un plan de mensajes de texto, por tanto, el costo total al utilizar el SIM808 será superior a 46 dólares, el módulo WIFI232 tiene un costo de 17 dólares y el costo del módulo ZigBee CC2530 es de 14 dólares (WaveShare, 2018).

4.8 Conclusiones

El módulo GPS es una de las partes más importantes del sistema. El GPS utilizado en este trabajo, a pesar de su bajo costo, posee una gran precisión para la obtención de las coordenadas, lo cual permite mejorar la efectividad del sistema. Sin embargo, para poder trabajar con este módulo, es necesario esperar un par de minutos hasta que se posicione correctamente y poder empezar a obtener la información.

La cantidad de procesamiento sobre los datos obtenidos, así como la cantidad de información enviada son relativamente pequeñas, por tanto, el desempeño realizado por el ARDUINO UNO resulta satisfactorio.

El servidor ha sido desarrollado en un entorno de programación gráfica, facilitando así la implementación de éste. En el servidor se analiza por separado a cada unidad de transporte, lo que permite visualizar la información de dicha unidad. Dentro de la programación es necesario iniciar la comunicación serial, luego realizar todo el procesamiento requerido y finalmente terminar la comunicación serial para evitar desperfectos en el sistema de monitoreo. En el mismo entorno de programación se ha

realizado la conexión con una base de datos que será de gran ayuda para obtener y analizar la información y poder mejorar el sistema a futuro.

La manera de enviar y recibir los datos será similar en las 4 tecnologías utilizadas, únicamente difieren en las configuraciones iniciales.

En la tabla 4.2 se presenta un resumen de la comparación entre las tecnologías utilizadas:

Tabla 4.2 Comparación de tecnologías inalámbricas

Tecnología	Frecuencia	Cobertura	Velocidad Máxima de datos	Topologías	Número Máximo de nodos	Consumo de potencia	Movilidad	Costo
Bluetooth	2,4 GHz	400 m	115200 bps	Estrella-Malla	7	3,3 V y 8,5 mA	-	40\$
GSM	950 MHz	Total	115200 bps	Punto a punto	2	Elevado	120 Km/h	> 46\$
Wi-Fi	2,4 GHz	100 m	115200 bps	Estrella	32	3,3V y 300mA	-	17\$
ZigBee	2,4 GHz	1000 m	115200 bps	Malla	65000	3,3V y 20mA	68 Km/h	14\$

Mediante la comparación presentada en la tabla 4.2, se concluye que para implementar el sistema propuesto la tecnología más conveniente resulta ser ZigBee, debido a que:

Posee un rango aceptable de cobertura, únicamente siendo superado en este aspecto por GSM, además, una red ZigBee resulta mucho más escalable debido a la cantidad de dispositivos que pueden formar parte de la misma, así mismo, la topología malla, permite obtener una red flexible en la cual, el coordinador se encarga de aceptar nuevos dispositivos a la red asignándoles una dirección única dentro de la misma. Así mismo, la velocidad de movilidad obtenida resulta satisfactoria, de la misma manera, el costo de los módulos resulta otro factor determinante para optar por esta tecnología.

Por tanto, se ha diseñado un PCB (*print circuit board*); compatible con el ARDUINO utilizado; en el cual se coloca el módulo CC2530 y al GPS, así como, un convertor de voltaje de 5 a 3.3 V necesario para establecer la comunicación serial entre el ARDUINO y el ZigBee.

El diseño del PCB se presenta en el Anexo 1.

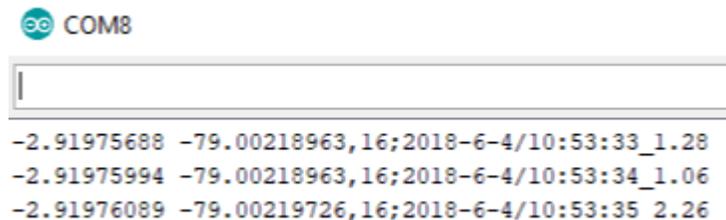
Capítulo 5 Pruebas y Resultados

5.1 Introducción

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo del sistema. Dichos resultados corresponden a: recepción de la trama de información, visualización en el servidor y almacenamiento en la base de datos. A continuación, luego de haber seleccionado la tecnología ZigBee para la implementación del sistema, se detalla un cálculo en base al modelo de propagación de Friis para determinar la distancia máxima de cobertura de esta tecnología y comparar dicho resultado con el valor presentado en las especificaciones del módulo ZigBee para realizar un diseño de una red ZigBee en el área urbana de la ciudad de Cuenca.

5.2 Recepción de la información

Una vez realizadas las configuraciones necesarias en el módulo, así como, luego de haber realizado el envío de la trama de información, en el receptor con la ayuda de un monitor serial se visualiza la información recibida. Dicha información se observa en la figura 5.1



```
COM8
-2.91975688 -79.00218963,16;2018-6-4/10:53:33_1.28
-2.91975994 -79.00218963,16;2018-6-4/10:53:34_1.06
-2.91976089 -79.00219726,16;2018-6-4/10:53:35_2.26
```

Figura 5.1 Recepción de la información

5.3 Visualización de la ubicación en el servidor

La puesta en marcha del servidor permitió cumplir con el objetivo de ubicar en un mapa las coordenadas obtenidas, así mismo, se observa la velocidad de la unidad de transporte. En la figura 5.2 representa el servidor en funcionamiento:

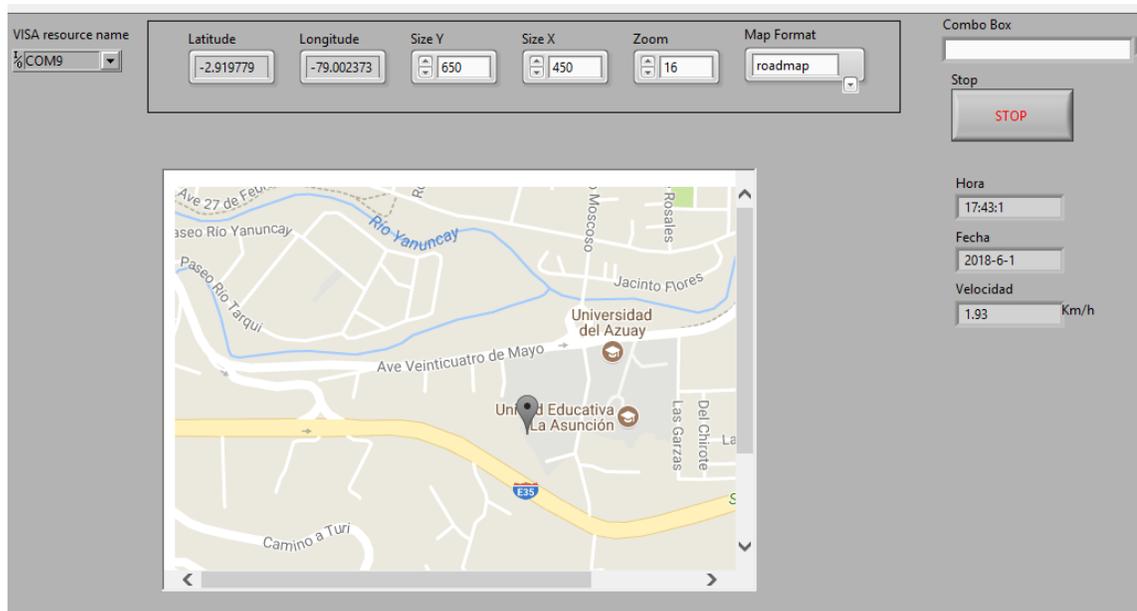


Figura 5.2 Servidor en funcionamiento

Tal como se observa en la figura 5.2, la ubicación de la unidad de transporte mediante sus coordenadas ha sido exitosa, en el caso representado en la misma figura, se observa que la ubicación es en la Universidad del Azuay, lugar donde se realizaron las pruebas correspondientes con la ayuda del UAV utilizado, tal como se aprecia en el Anexo 3.

5.4 Almacenamiento en la base de datos

El desarrollo de la base de datos permite mostrar su funcionamiento y como se almacena la información obtenida por el servidor. En la figura 5.3 se puede observar cierta cantidad de información que se ha guardado exitosamente en la base de datos.

table 3
informabuses

data 2

0	1	16	2018-6-1	10-2.919194	-2,91919	-79,002	0
0	2	16			-2,91919	-79,002	0
	3	16			-2,91919	-79,002	0
	4	16	2018-6-1	10-2.919197	-2,9192	-79,002	0
	5	16			-2,9192	-79,002	0
	6	16	2018-6-1	10:30:3	-2,9192	-79,002	0,81
	7	16	2018-6-1	10:30:4	-2,9192	-79,002	0,69
	8	16	2018-6-1	10-2.919202	-2,9192	-79,002	0
	9	16	2018-6-1	10:30:5	0,919202	-79,002	0,87
	10	16			0,919202	-79,002	0
	11	16	2018-6-1	10-2.919200	-2,9192	-79,002	0
	12	16	2018-6-1	10-2.919200	0,919201	-79,002	0
	13	16	2018-6-1	10:30:7	1920090	-79,002	2,24
	14	16	2018-6-1	10-2.919198	-2,9192	-79,002	0
	15	16	2018-6-1	10-2.919241	-2,91924	-79,0019	0
	16	16	2018-6-1	10	0	-79,0019	3,98
	17	16	2018-6-1	10	-2,91923	-79,0019	2,83

Figura 5.3 Almacenamiento en la base de datos en *LabVIEW*

5.5 Pruebas de Movilidad

Las pruebas de movilidad resultan satisfactorias debido a que, la transmisión de la información desde el dispositivo final instalado en un el UAV hacia el centro de datos, se realizó sin errores hasta una velocidad de 68 Km/h, la misma que, supera los límites de velocidad para unidades de transporte establecidos en la ciudad. A continuación, en la figura 5.4 se observan las velocidades obtenidas en el dispositivo final:

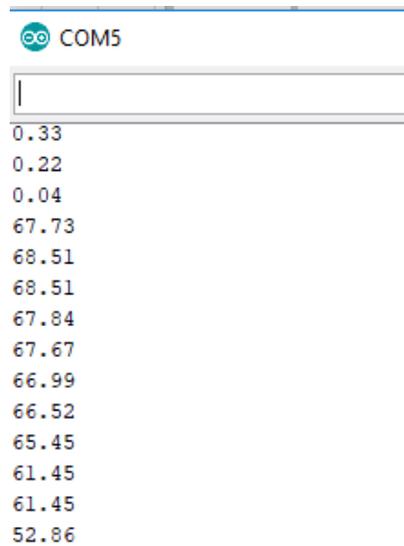


Figura 5.4 Velocidades de movilidad

5.6 Cálculo y comparación de la cobertura máxima con la tecnología ZigBee para el diseño de una red en la ciudad de Cuenca

Se realiza una comparación de la distancia máxima de cobertura de un dispositivo ZigBee, obtenida mediante el modelo de propagación de Friis y la distancia proporcionada por las especificaciones del módulo. Para aplicar el modelo de Friis, es necesario conocer: la potencia de transmisión, la potencia de recepción y la ganancia de la antena y así calcular la distancia máxima de cobertura teórica. Del datasheet del CC2530 se tiene:

- Sensibilidad (potencia de recepción): -97dBm (1.99×10^{-10} adimensional)
- Potencia de transmisión: 4.5dBm (2.81 adimensional)
- Ganancia de la antena: 2dB (1.58 adimensional)

(Texas Instruments, 2011)

En la ecuación 5.1 se presenta el modelo de Friis

Ecuación 5.1 Modelo de propagación de Friis

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4 \pi R} \right)^2 G_r G_t$$

Dónde:

- Pr: Potencia de recepción
- Pt: Potencia de transmisión
- λ : longitud de onda, que es igual a: velocidad de la luz (c)/frecuencia (f)
- Gr: Ganancia de la antena de recepción
- Gt: Ganancia de la antena de transmisión

Primeramente, se encuentra el valor de la longitud de onda:

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2.4 \times 10^9 \text{ 1/s}}$$

$$\lambda = 0.125 \text{ m}$$

Aplicando la ecuación 5.1:

$$\frac{1.99 \times 10^{-10}}{2.81} = \left(\frac{0.125 \text{ m}}{4 \pi R} \right)^2 1.58 \times 1.58$$

$$7.081 \times 10^{-11} = \left(\frac{0.125 \text{ m}}{4 \pi R} \right)^2 2.496$$

$$2.8365 \times 10^{-11} = \left(\frac{0.125 \text{ m}}{4 \pi R} \right)^2$$

$$1.69 \times 10^{-7} = \frac{0.125}{4 \pi R}$$

Despejando R:

$$R = \frac{0.125}{4 \pi 1.69 \times 10^{-7}}$$

$$\mathbf{R = 1865.2 \text{ m}}$$

Una vez obtenida la distancia máxima de cobertura teórica; la misma que, no considera: interferencias, pérdidas del medio, etc., se la compara con la distancia proporcionada en

5.7 Conclusiones

Las configuraciones realizadas en los módulos han permitido la correcta comunicación entre el dispositivo final y el coordinador de la red, considerando a los routers como intermediarios entre el dispositivo final y el coordinador, para de esta manera, aumentar la distancia de comunicación entre dichos dispositivos. Así mismo, se concluye que la información es recibida sin sufrir alteraciones en la misma. El servidor es capaz de leer la trama recibida y descomponerla para representar la velocidad del dispositivo final, la fecha y hora, la ubicación en un mapa mediante la latitud y longitud del dispositivo final. Se comprobó que la conexión con la base de datos mediante *LabVIEW* resultó exitosa, los datos son guardados y visualizados en la tabla creada (informabuses).

Teóricamente se llegó a la conclusión de que los módulos CC2530 pueden lograr una distancia máxima de comunicación de 1865 m, sin embargo, en la práctica (considerando pérdidas e interferencias) la distancia máxima es de 1000 m. Así mismo, de las pruebas realizadas se pudo comprobar que, el “Efecto Doppler” no ocasiona errores en la transmisión de la información en los módulos ZigBee CC2530 hasta una velocidad de 68 Km/h.

Para implementar una red ZigBee en la ciudad de Cuenca, en la que, un dispositivo final ubicado en cualquier zona de la ciudad pueda tener comunicación con el coordinador de la red, se procede a colocar routers a una distancia máxima de 500 m, garantizando una completa cobertura en la urbe.

Capítulo 6 Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Introducción

Como parte final de esta investigación, se procede a citar las conclusiones obtenidas durante el desarrollo del trabajo. Posteriormente, se redactarán ciertas sugerencias que, a futuro facilitarían la implementación de un sistema más robusto y eficiente.

6.2 Conclusiones

En la actualidad, el uso de las tecnologías inalámbricas ha aumentado significativamente por las ventajas que presentan para el desarrollo de ciudades inteligentes. Una de las aplicaciones de las tecnologías inalámbricas son las comunicaciones vehiculares, siendo estas, la base para implementar un sistema de transporte inteligente (ITS). En el sistema planteado en este trabajo, la metodología llevada a cabo es V2I en la que cada unidad de transporte transmite su posición y velocidad hacia un servidor, donde se monitorea la información recibida.

Uno de los mayores problemas en el área de sistemas de transporte inteligentes resulta ser el “Efecto Doppler”, el mismo que, siempre estará presente. Para la elección de una tecnología inalámbrica se debe considerar la movilidad para evitar pérdida en la comunicación por el fenómeno descrito, además considerar costo, número máximo de dispositivos de la red, topología y cobertura.

El servidor y la base de datos permiten monitorear y analizar la información, por tanto, la comunicación entre el dispositivo coordinador y el servidor debe realizarse correctamente, así también, la conexión a la base de datos.

Como conclusión general se puede decir que, implementar un sistema de monitoreo para los buses urbanos de la ciudad de Cuenca, resulta factible por diversas Razones. Mediante el diseño de la red, presentado en el capítulo 5, se puede observar que en el área urbana de la ciudad se ha implementado una red de sensores inalámbricos; pudiéndose extender las aplicaciones no solo al monitoreo de las unidades de transporte, sino, a diferentes áreas tales como medición ambiental, medición de tráfico, etc. Así mismo, la tecnología utilizada (ZigBee) aún no ha sido explotada en su totalidad, resultando así, una red de sensores inalámbricos con una tecnología aún en auge.

Además, se ha comprobado que, la implementación del sistema mediante una red ZigBee resulta eficiente debido a: la efectividad misma del módulo utilizado, ya que, se obtiene una distancia considerable de comunicación entre los dispositivos, la velocidad de transmisión de datos que soportan (115 kbps), la velocidad de movilidad máxima obtenida (68 Km/h); que permite la transmisión de los datos, evitando así una variación de frecuencia que pueda generar un cambio en el canal de transmisión utilizado, debido al “efecto Doppler”; el bajo consumo de potencia de los módulos y finalmente por el bajo costo de los mismos.

6.3 Recomendaciones

El sistema propuesto puede mejorarse con la utilización de un módulo GPS de mayor precisión. Así mismo, es importante considerar una correcta ubicación del GPS, para de esta manera, evitar que se pierda la señal o que las coordenadas obtenidas no sean precisas.

Se ha visto la posibilidad de implementar el sistema de monitoreo mediante una tecnología totalmente nueva conocida como: “LoRaWAN”, ya que presenta protocolos similares a los de la tecnología ZigBee, con la diferencia de una capa física más robusta. Esta nueva implementación resultaría innovadora debido a que se conoce que en pocas partes del mundo se están realizando trabajos con esta nueva tecnología,

Bibliografía.

Anu, M., Sarikha, D., Keerthy, S., & Jabez, J. (2015). An RFID Based System For Bus Location Tracking And Display. *IEEE*.

Arduino. (3 de Marzo de 2018). *Arduino*. Obtenido de <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>

Bluetooth. (2017). *Bluetooth*. Obtenido de <https://www.bluetooth.com/>

Chang-qui, C., Zhou , Z., & Shi-Dao, J. (2012). The Intelligent Bus scheduling Based on ZIGBEE. *IEEE*.

Cisco Networking Academy. (2017). *Escalamiento de Reedes*. Cisco. Recuperado el 05 de Septiembre de 2017, de <http://ecovi.uagro.mx/ccna3/course/module4/index.html#4.1.1.4>

Cox, C. (2012). *An Introduction to LTE*. Wiley.

El-Tawav, S., Oram, R., Garcia, M., Park, B., & Johns, C. (2017). Data Analysis of Transit Systems Using low-cost IoT Technology. *IEEE*.

Falaudi, R. (2010). *Building Wireless Sensor Networks*. O'reilly.

Fan, Y., Niu, K., & Deng, N. (2014). A REAL-TIME BUS ARRIVAL PREDICTION METHOD. *IEEE*.

Faraz Hasan, S., Siddique, N., & Chakraborty, S. (2013). *Intelligent Transport Systems*. Springer.

GSM. (2017). *GSMA*. Recuperado el 30 de Agosto de 2017, de <https://www.gsma.com/aboutus/history>

He, F., Li, L., Yin, H., & Huang, X. (2012). Bus Monitoring System Based on ZIGBEE and GPRS. *IEEE*.

Janarthanan, B., & Santhanakrishna, T. (2013). REAL TIME METROPLITAN BUS POSITIONIN SYSTEM DESING USING GPS AND GSM. *IEEE*.

Katsuyuki, T., & Katsuhir, N. (2017). Implementation of cooperative bus location system with BLE devices and smartphones. *IEEE*.

Liu, W., Liu, J., & Jiang, H. (2016). WiLocator: WiFi-sensing based Real-time Bus Tracking and Arrival Time Prediction in Urban Environments. *IEEE*.

Mejía Zumba, D., & Morocho Sigüenza, J. (2016). *Obtención de la disposición a pagar para disminuir la congestión vehicular en las avenidas: Huayna Capac, 12 de Abril, Remigio Crespo Toral, Fray Vicente Solano y Américas, de la ciudad de Cuenca periodo 2015*. Cuenca: Universidad Estatal de Cuenca.

Najme, M. (2015). Smart Public Transport System Using Mobile phone based sensing. *IEEE*.

National Instruments. (Septiembre de 2009). *National Instruments*. Recuperado el 4 de Marzo de 2018, de <https://forums.ni.com/t5/Example-Programs/Google-Maps-in-LabVIEW/ta-p/3512488>

National Instruments. (2014). Obtenido de <https://www.ni.com/visa/>

Naylamp Mechatronics. (s.f.). *Naylamp Mechatronics*. Recuperado el 10 de Abril de 2018, de <http://www.naylampmechatronics.com/inalambrico/133-modulo-bluetooth-40-ble-hm-10.html>

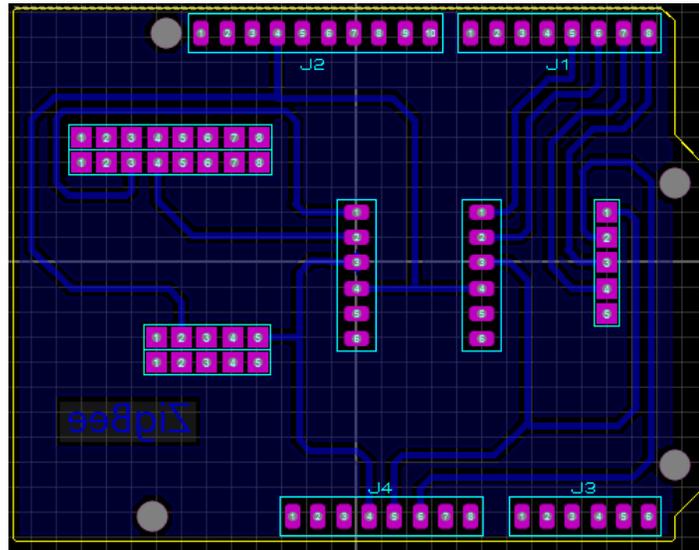
Prometec. (2016). *Prometec*. Recuperado el 24 de Mayo de 2018, de <https://www.prometec.net/bt-hc06/comment-page-3/#>

Rendón Gallón, Á., & Plazas Pemberthy, J. (Octubre de 2016). *Universidad del Cauca*. Recuperado el 03 de Junio de 2018, de [http://dtm.unicauca.edu.co/pregrado/conmutacion/transp/5.3A_-TelefoniaMovil_\(Generaciones\).pdf](http://dtm.unicauca.edu.co/pregrado/conmutacion/transp/5.3A_-TelefoniaMovil_(Generaciones).pdf)

- Stasiak, M., Glabowski, M., Wisniewski, A., & Zwierzykowski, P. (2011). *Modeling and Dimensioning of Mobile Networks*. Wiley.
- Tan, K., & Koksheik, W. (2016). Low-Cost Campus Bus Tracker using WiFi Access Points. *IEEE*.
- Texas Instruments. (Abril de 2011). *Texas Instruments*. Recuperado el 01 de Junio de 2018, de <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2530.pdf>
- Walter, O., Schmalenstroer, J., Engler, A., & Haeb, R. (2013). Smartphone-Based Sensor Fusion for improved vehicular navigation. *IEEE*.
- Wang, Q., & Wang, Q. (2013). Study on Real-time Bus Arrival Information System Based on Bluetooth. *IEEE*.
- Want, R. (2006). *P1: IML/FFX P2: IML/FFX QC: IML/FFX T1: IMLMOBK032-FM MOBK032RFID Explained: A Primer on Radio Frequency Identification Technologies*. MORGAN & CLAYPOOL .
- WaveShare. (2018). *waveshare*. Recuperado el 03 de Marzo de 2018, de <https://www.waveshare.com/>
- Wi-Fi alliance. (2017). *Wi-Fi alliance*. Recuperado el 05 de Septiembre de 2017, de <https://www.wi-fi.org/who-we-are/history>
- Yu, Z., & Yanjuan, L. (2012). Intelligent Bus-Mounted System Based On RFID. *IEEE*.
- Zhizhou, W., Hao, C., Yuqi, P., & Xiaogaung, Y. (2006). Bus Priority Control System Based on Wireless Sensor Network and ZIGBEE. *IEEE*.

ANEXOS:

Anexo 1. Diseño de la placa para el módulo ZigBee en el software ARES



Anexo 2 Adecuación del UAV para las pruebas de movilidad



Anexo 3. Prueba de movilidad realizada

