



**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

---

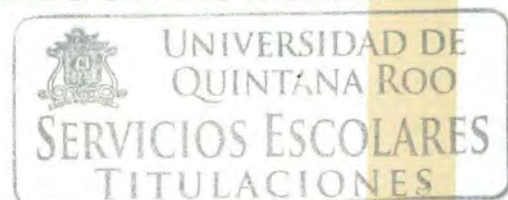
# **LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTE**

---

**TRABAJO MONOGRÁFICO  
PARA OBTENER EL GRADO DE  
INGENIERO EN REDES**

**PRESENTA  
JESÚS ALBERTO ARELLANO GÓMEZ**

**SUPERVISORES  
DR. JAVIER VÁZQUEZ CASTILLO  
MTI. MELISSA BLANQUETO ESTRADA  
DR. JAIME SILVERIO ORTEGÓN AGUILAR**





**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

**TRABAJO MONOGRÁFICO BAJO LA SUPERVISIÓN DEL  
COMITÉ DEL PROGRAMA DE LICENCIATURA Y APROBADA  
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**INGENIERO EN REDES**

**COMITÉ DE TRABAJO MONOGRÁFICO**

**SUPERVISOR:**

  
**DR. JAVIER YÁÑEZ CASTILLO**

**SUPERVISORA:**

  
**MTI. MELISSA BLANQUETO ESTRADA**

**SUPERVISOR:**

  
**DR. JAIME SILVERIO ORTEGÓN AGUILAR**



## Resumen

Hoy en día la congestión vehicular en las grandes ciudades, los desperfectos generados por el clima y el error humano en las carreteras, lleva a la necesidad de considerar nuevas tecnologías para prevenir y afrontar este tipo de problemas, con el objetivo de garantizar la experiencia de viaje de un conductor de manera satisfactoria. La seguridad vehicular (carro, motocicleta, bicicleta, etc.) es una prioridad que todo conductor debe tener en cuenta en el momento que decide recorrer un trayecto.

Este trabajo monográfico se enfocará en describir el uso de los sistemas de transporte inteligente (ITS) en diversos entornos y escenarios que puede afrontar un conductor. Para lograr lo anterior, se han revisado los escenarios más comunes tratados en los ITS y los estándares asociados que son actualmente utilizados para implementar esta tecnología. Así mismo, se incluye una breve revisión de otros estándares de comunicación inalámbrica que consideran escenarios con movilidad. Además, se mencionarán las compañías más importantes relacionadas al diseño de dispositivos para implementar ITS y sus productos más competitivos.

## Agradecimientos

A mi supervisor el Dr. Javier Vázquez Castillo, por haberme apoyado todo el tiempo con la creación de mi monografía, agradezco su tiempo, tolerancia y su amabilidad al tratar a la gente.

A todos mis profesores de la Ingeniería en Redes por darme las herramientas y la creatividad necesaria para resolver cualquier problema, sobre todo por guiarme todo el tiempo que estuve estudiando en la carrera, ya que esto me permitió creer en mí y alcanzar una de mis metas que es finalizar la carrera.

A mis compañeros de carrera por brindarme su apoyo y mostrarme lo que es el compañerismo, ya que sin ayuda de ellos nada de esto podría ser posible. Ellos, sobre todo me mostraron lo que es la verdadera amistad, que se basa en la confianza y el apoyo.

## Dedicatoria

A mi madre **Mirna del Carmen Gómez Gallardo** y a la persona que fungió como figura paterna **José Luis Murillo Bermúdez**.

Gracias por su esfuerzo, por brindarme el apoyo económico y moral, que me permitió llegar a este punto tan importante en mi vida, alcanzando uno de mis sueños más deseados que es concluir con mis estudios.

## Índice

|  |    |
|--|----|
| Agradecimientos .....  | 4  |
| Dedicatoria .....  | 5  |
| Introducción .....   | 10 |
| Justificación .....  | 12 |
| Objetivos generales.....   | 13 |
| Objetivos particulares .....   | 13 |
| 1. Los sistemas de transporte inteligente (ITS).....   | 14 |
| 1.1. Uso de los ITS .....  | 16 |
| 1.2. El uso de los ITS en diversos entornos. ....  | 21 |
| 1.2.1. Información al viajero .....  | 21 |
| 1.2.2. Tráfico urbano .....  | 23 |
| 1.2.3. Tráfico interurbano .....   | 24 |
| 1.2.4. Transporte de mercancías.....   | 26 |
| 1.2.5. Servicios de apoyo.....   | 27 |
| 1.3. Particularidades y limitaciones de los ITS. ....  | 29 |
| 1.3.1. Impacto del efecto doppler en el sistema de comunicaciones.....                       | 29 |
| 1.3.2. Impacto de la multitrayectoria en el sistema de comunicaciones.....                   | 32 |
| 1.4. Los estándares en ITS.....  | 35 |
| 1.4.1. Estándar IEEE 802.11p.....  | 35 |
| 1.4.2. Estándar 1609.x.....  | 40 |
| 1.4.3. 802.16e.....  | 41 |
| 1.4.4. 802.16m .....   | 53 |
| 2. Dispositivos para implementar ITS.....  | 64 |
| 2.1 El TS3304 transponder (vendedor Kapsch) .....  | 65 |
| 2.2 TS3306 V2X (vendedor Kapsch) .....   | 66 |
| 2.3 OPS-1995 On board unit programming station (vendedor Kapsch) .....                       | 69 |
| 2.4 Access transceiver estacionamiento y acceso (Parking and Access) (vendedor Kapsch) ..... | 71 |
| 2.5 TRX-9450 5.9 GHz WAVE tolling transceiver (vendedor Kapsch).....                         | 74 |
| 2.6 MTX-9450 V2X DSRC RTS ITS (Roadside ITS Station) (vendedor Kapsch).....                  | 76 |
| 2.7 OMR-9734 on board unit mobile reader (vendedor Kapsch) .....                             | 79 |
| 2.8 Cameleon ITS advanced transportation management (vendedor FLIR) .....                    | 81 |
| 2.9 LocoMate Me (vendedor ARADA SYSTEM) .....  | 84 |

|  |    |
|--|----|
| 2.10 LocoMate OBU (vendedor ARADA SYSTEM) .....                    | 86 |
| 2.11 Road Side Unit con adjunto NEMA (vendedor ARADA SYSTEM) ..... | 88 |
| 3. Comentarios finales.....  | 90 |
| Referencias.....   | 91 |

## Indice de ilustraciones

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 Sistema ITS en Carretera. ....                                      | 14 |
| Figura 2 ITS en entorno abierto .....  | 16 |
| Figura 3 Sistema ITS prevención en Carretera. ....                           | 17 |
| Figura 4 Sistema ITS prevención en autopista. ....                           | 18 |
| Figura 5 Sistema ITS prevención en semáforos.....                            | 19 |
| Figura 6 Sistema ITS prevención en cruces. ....                              | 20 |
| Figura 7 Información del viajero. ....                                       | 22 |
| Figura 8 Tráfico urbano. ....  | 23 |
| Figura 9 Tráfico interurbano. ....   | 25 |
| Figura 10 Transporte de mercancía. ....                                      | 26 |
| Figura 11 Servicios de apoyo.....  | 27 |
| Figura 12 Efecto doppler en el caso de la ambulancia.....                    | 31 |
| Figura 13 Señal OFDM.....  | 33 |
| Figura 14 Estructura del Espectro en 802.11p. ....                           | 36 |
| Figura 15 Visión General de la Pila de Protocolos WAVE.....                  | 39 |
| Figura 16 Arquitectura básica de un sistema OFDM.....                        | 43 |
| Figura 17 Diagrama de bloques de una comunicación en un sistema OFDM.....    | 45 |
| Figura 18 Diagrama de bloques de un sistema OFDM. ....                       | 45 |
| Figura 19 Trama OFDM. ....   | 48 |
| Figura 20 Red WiMAX. ....  | 50 |
| Figura 21 Mapeado de las capas de protocolos para un modelo de red OSI. .... | 55 |
| Figura 22 Modelo de referencia IEEE 802.16. ....                             | 56 |
| Figura 23 Modelo de referencia de red genérico IEEE 802.16.....              | 58 |
| Figura 24 Stack de protocolos general IEEE 802.16m. ....                     | 59 |
| Figura 25 Un modelo genérico de coexistencia multi-radio. ....               | 62 |
| Figura 26 Operación multi-portadora utilizando una instancia MAC simple..... | 63 |
| Figura 27 Diseño TS3304 transponder. ....                                    | 65 |
| Figura 28 Diseño del TS3306. ....  | 67 |
| Figura 29 Diseño e infraestructura del On Board Unit.....                    | 70 |
| Figura 30 Diseño e infraestructura del access transceiver.....               | 72 |
| Figura 31 Diseño del TRX-9450 transceivers.....                              | 74 |
| Figura 32 Diseño del MTX-9450 V2X DSRC RTS ITS. ....                         | 77 |
| Figura 33 Diseño del OMR-9734. ....  | 80 |
| Figura 34 Interface de Cameleon ITS. ....                                    | 81 |
| Figura 35 Diseño del LocoMATE Me. ....                                       | 84 |
| Figura 36 Diseño del LocoMate OBU. ....                                      | 86 |
| Figura 37 Diseño del LocoMate RSU. ....                                      | 88 |



## Índice de tablas

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1 Velocidades alcanzadas por WiMAX móvil.....                         | 49 |
| Tabla 2 Datos técnicos del TS3304 transponder .....                         | 66 |
| Tabla 3 Datos técnicos del TS3306 V2X.....                                  | 68 |
| Tabla 4 Datos técnicos del OPS-1995 On board unit programming station ..... | 70 |
| Tabla 5 Datos técnicos del access transceiver .....                         | 73 |
| Tabla 6 Datos técnicos del TRX-9450 .....                                   | 75 |
| Tabla 7 Datos técnicos del MTX-9450 V2X DSRC RTS ITS .....                  | 78 |
| Tabla 8 Datos técnicos del OMR-9734 .....                                   | 80 |
| Tabla 9 Datos técnicos de Cameleon ITS.....                                 | 82 |
| Tabla 10 Datos técnicos del LocoMATE Me .....                               | 85 |
| Tabla 11 Datos técnicos del LocoMate OBU .....                              | 87 |
| Tabla 12 Datos técnicos del LocoMate RSU .....                              | 89 |

## Introducción

Se conoce como Sistemas Inteligentes de Transporte, o ITS (Intelligent Transportation Systems), al conjunto de aplicaciones informáticas y sistemas tecnológicos creados con el objetivo de mejorar la seguridad y eficiencia en el transporte terrestre (carreteras y ferrocarriles), facilitando la labor de control, gestión y seguimiento por parte de los responsables.

Estos sistemas obtienen la información de los diferentes elementos de interés de las carreteras, que una vez procesada y analizada, se utiliza para mejorar la seguridad de los conductores, mejorando el tráfico y la comodidad en los desplazamientos.

Como muestra de las ventajas aportadas por estos sistemas podemos indicar:

**Seguridad preventiva:** El uso de las estaciones meteorológicas permite prever con bastante precisión las condiciones climatológicas que van a padecer en sus posibles viajes, lo que permitirá planificar cuando el tiempo sea el correcto. Estos sistemas, junto con las cámaras de exploración, permiten conocer en cada momento el estado exacto de las carreteras, facilitando la labor de corte de carreteras (cuando las condiciones no son las adecuadas), y de aviso a los conductores sobre estas situaciones.

**Seguridad instantánea:** Gracias a los paneles de mensajería implantados en las carreteras, se hace llegar al instante la información de interés que deben conocer los conductores (p.e. fuerte viento, reduzca la velocidad), para tener un viaje más seguro.

**Seguridad reactiva:** Para garantizar que los conductores cumplen las normas de tráfico, también se emplean estos sistemas de manera eficaz, con el uso de radares (para el control del exceso de velocidad), o detectores de vehículos que pasan los semáforos en rojo, entre otros sistemas.

**Mejoran la eficiencia del tráfico:** Los sistemas de conteo, que permiten conocer el número de vehículos que pasan por una zona determinada, unido a sistemas inteligentes de rutas utilizadas, permite a los responsables de las carreteras hacer una planificación eficiente de las mismas a medio plazo, que consigan reducir el número de atascos, mejorando el tráfico diario.

**Control detallado de elementos en carreteras:** Esto es por el uso de sistemas de inventariado, que garantizan el estado adecuado de todos los elementos (ofreciendo

avisos y señales cuando es necesario revisar algún material de la carretera), o los sistemas informáticos que facilitan a los responsables de la explotación de las carreteras gestionar toda la información relacionada con las operaciones de vialidad que se deben realizar, de acuerdo a la carta de servicios.

***Facilitan la labor de los conductores:*** Un ejemplo es la habilitación de medios para pagar en la autopista sin parar (telepeaje), ofreciendo las mejores rutas a seguir en carretera, o mostrando información detallada al instante sobre las carreteras.

Como hemos visto, esto es sólo una muestra de lo que los Sistemas Inteligentes de Transporte están ofreciendo en estos momentos.

La continúa evolución de los ITS, que ya no sólo obtienen la información sino que la relacionan con otras aplicaciones, analizándola por medio de sistemas expertos. Este es el inicio de una nueva era de Sistemas Inteligentes Interconectados, que sin duda van a suponer un gran salto cualitativo en la seguridad del transporte terrestre.

## Justificación

El propósito de este documento es recopilar información sobre los sistemas de transporte inteligente. Como estudiante de la Ingeniería en Redes a veces es tedioso encontrar información fiel y certera de algún tema específico, más aun si el tema en cuestión es una tecnología nueva o en desarrollo, por lo cual en esta monografía se recopila la información necesaria relacionada a los sistemas de transporte inteligente.

Al ser una tecnología joven y aún en crecimiento no se obtiene información detallada de manera fácil y sencilla, por lo cual en esta monografía mencionaremos para qué se utilizan los sistemas de transporte inteligente, en qué áreas los ocupamos, cuándo los ocupamos, por qué los ocupamos y qué productos con esta tecnología podrían utilizarse.

Con toda la información recopilada sobre los ITS, el interesado que lea este documento, tendrá una idea general del tema en cuestión, así como también una serie de datos que le facilitarán la comprensión del tema.

## Objetivos generales

Realizar un estudio sobre los principales estándares de datos relacionados con los sistemas de transporte inteligente (ITS) y sus aplicaciones, para recopilar información concisa sobre esta tecnología y facilitar su entendimiento.

## Objetivos particulares

- Recopilar información general sobre los ITS.
- Comprender la función general de los ITS.
- Analizar el uso de los ITS en diversos entornos.
- Mencionar los protocolos utilizados para la tecnología ITS.
- Investigar los productos más utilizados para la tecnología ITS.
- Proporcionar las características generales de los productos.

## 1. Los sistemas de transporte inteligente (ITS)

El concepto ITS, conforma un esfuerzo común entre gobiernos, la industria privada y los centros de investigación, para aplicar las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones en los problemas actuales del transporte mundial.

Los principales elementos que se pueden distinguir en los sistemas ITS desarrollados hasta la fecha en el entorno del transporte por carretera, se pueden resumir en la Fig. 1. [1]

- 1) **Vehículo:** Es la parte principal dentro de la arquitectura ITS, ya que toda la funcionalidad desplegada se centra en la mejora de su circulación y hacen uso de un conjunto de servicios ITS que están destinados a mejorar su seguridad, hacer más eficiente su circulación y ofrecer un confort mejorado.

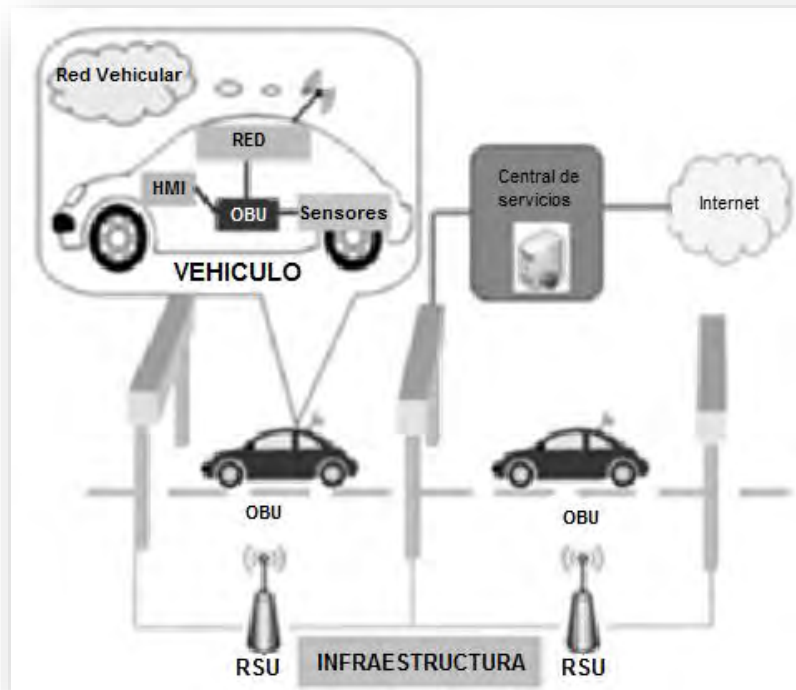


Figura 1 Sistema ITS en Carretera.

Dentro de este elemento se encuentran todo un conjunto de dispositivos que ayudan a monitorear el vehículo y el entorno en el que se mueve, entre ellos están: Unidad de a bordo (OBU, On Board Unit), interfaz de usuario (HMI, Human Machine Interface), módulo de comunicaciones y sensores.

En dichos sistemas de abordó, es posible incluir el software necesario para ofrecer una arquitectura escalable, así como para ofrecer servicios que requieran de las comunicaciones con el exterior. Esta computadora está ligada a un componente hardware/software de interfaz con el usuario, de forma que el usuario pueda interactuar debidamente con las aplicaciones de la OBU. Las comunicaciones en ambientes vehiculares y la viabilidad de la transmisión de servicios como los de voz y video IP, son elementos fundamentales.

- 2) **Infraestructura:** está formada tanto por el hardware distribuido a lo largo de las carreteras, como por el hardware centralizado en los nodos de comunicación. El componente fundamental de este elemento es la unidad a un lado de la carretera (RSU, Road Side Unit), como su nombre lo indica, se sitúa a un lado de la carretera, y principalmente, está formado por sensores de diversa índole, tales como: detectores de paso de vehículos, de temperatura, sistemas de reconocimiento de imágenes, radares de velocidad, etc. No obstante, el hardware instalado en la carretera que más está ganando interés en los últimos años es el relacionado con las comunicaciones.
- 3) **Central de Servicios:** la finalidad de la central de servicios es disponer de las aplicaciones finales. Los servicios que se encuentran en este nivel pueden estar orientados a la gestión centralizada, como es el caso de los sistemas de monitorización y seguimiento, o destinados a la provisión de funcionalidades a los vehículos, como serán los servicios de información de tráfico o de gestión de reservas de parqueaderos, etc. [1]

## 1.1. Uso de los ITS

Las construcciones o mejoras en las vías, los accidentes en las principales calles y la falta de sincronización en los semáforos y cruces importantes de las ciudades, son factores que influyen de manera directa y muy notoria sobre el tráfico de las grandes ciudades. En este sentido podemos generar los siguientes cuestionamientos: ¿Cómo disminuir el caos vehicular?, ¿Qué tecnología puede ser empleada para mejorar el tráfico en las grandes ciudades e incluso en las carreteras?

La tecnología inalámbrica tiene muchas aplicaciones industriales y una gran flexibilidad que se basa principalmente en la escasa necesidad de despliegue de infraestructura para su funcionamiento, convirtiéndose en una tecnología bastante atractiva en el caso de la comunicación entre vehículos y entre vehículos e infraestructura vial. Así, que la mejor manera de evitar congestiones y ayudar con el tráfico de la ciudad, es dotando a los vehículos con la capacidad de comunicarse entre sí. [2]

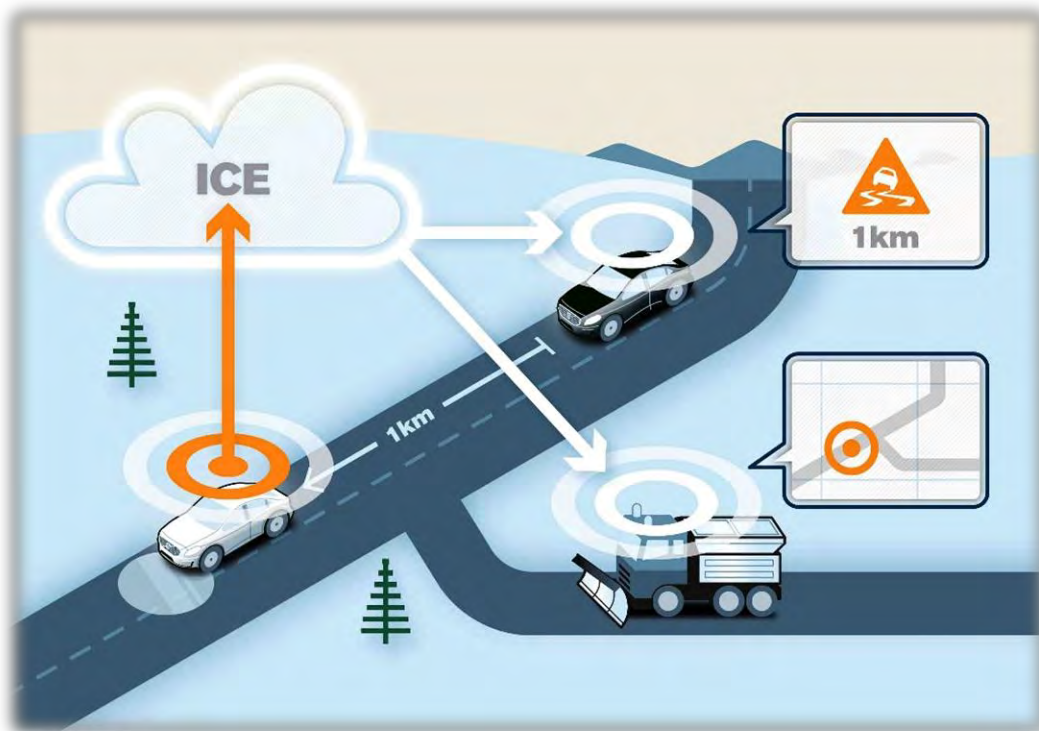


Figura 2 ITS en entorno abierto



Como podemos observar en la figura 2, el uso de ITS en áreas abiertas, como es el caso de las autopistas, nos pueden ayudar a prevenir un accidente. Por ejemplo de la figura 2, se puede apreciar un escenario típico vehicular donde un automóvil pasa sobre una zona donde la autopista está congelada (automóvil blanco), y en este sentido el automóvil envía una señal hacia los vehículos cercanos a éste, donde se advierte al automóvil negro que tome precaución ya que a un kilómetro de distancia la autopista está congelada. De manera similar, el automóvil blanco envía una señal al vehículo removedor de hielo indicándole el área exacta donde se encuentra el problema.

En otro caso los ITS nos ayudan a evitar posibles colisiones entre vehículos, como podemos observar en la figura 3 el automóvil rojo envía una señal para advertir a los vehículos cercanos que se ha tenido que frenar de emergencia, esta advertencia tiene como fin prevenir a los automóviles y con ello disminuir su velocidad, ya que en autopistas y carreteras los vehículos viajan a altas velocidades por lo que el riesgo de colisión es mayor.

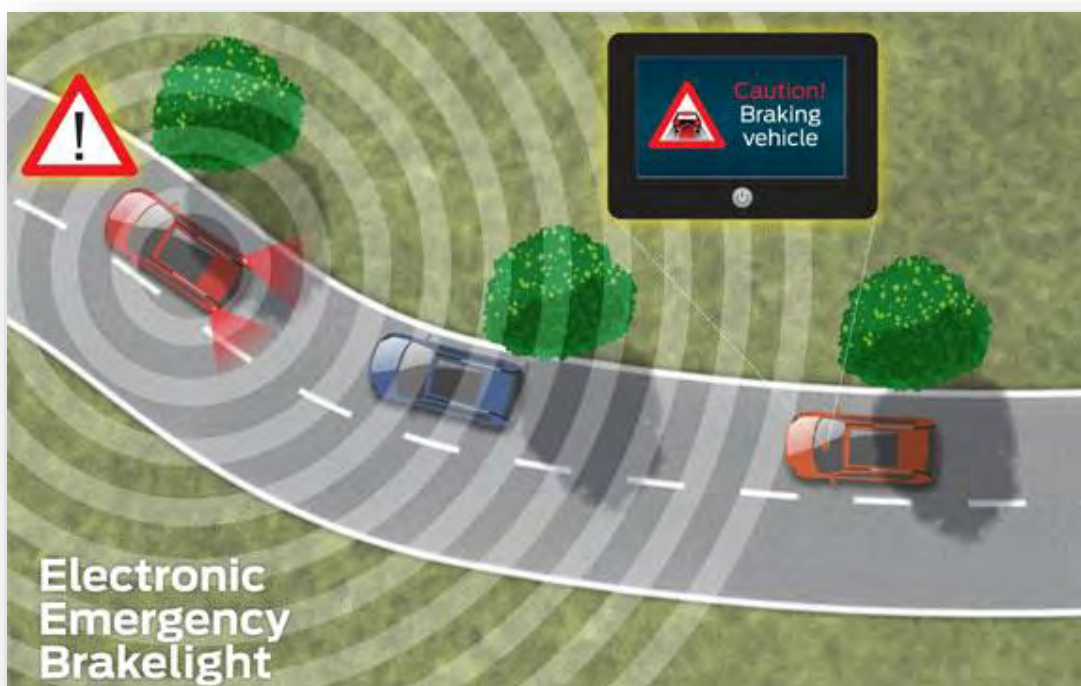


Figura 3 Sistema ITS prevención en Carretera.

Como hemos mencionado los ITS nos ayudan a prevenir accidentes y nos ayudan a obtener información crucial para el conductor sobre el entorno donde maneja, no obstante los ITS también se están implementando en los ambientes urbanos, en la figura 4 nos muestra una comunicación vehículo a vehículo, esta comunicación permite a los vehículos guardar distancia entre si respetando la velocidad, al igual que nos proporciona información más detallada por ejemplo en el caso de la imagen podemos observar que los ITS nos proporcionan la información del carril donde están transitando, esto con el fin de saber si podemos adelantarnos al otro vehículo de manera segura.

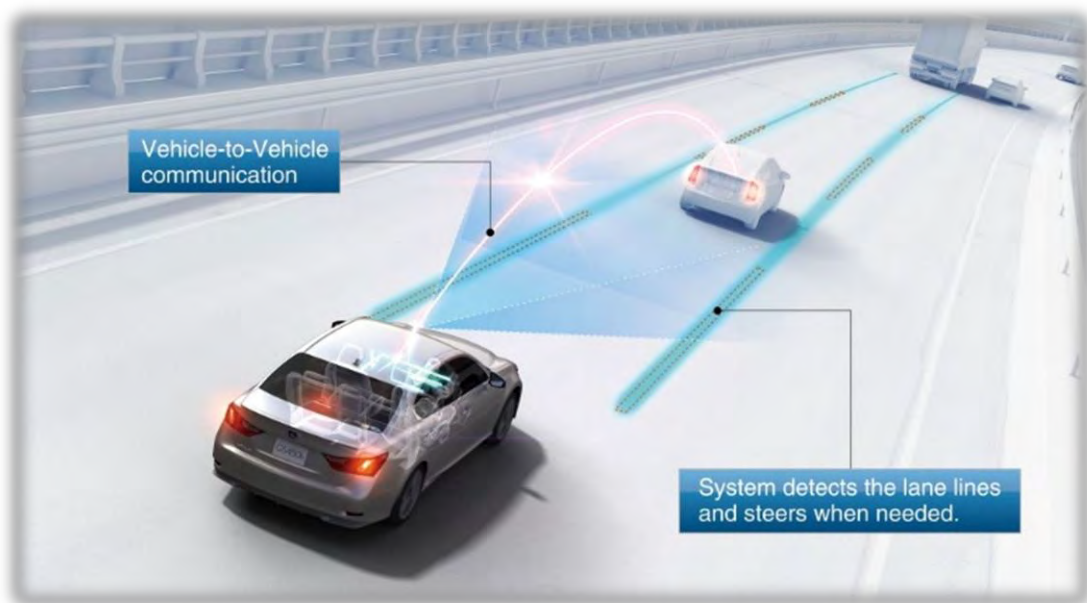


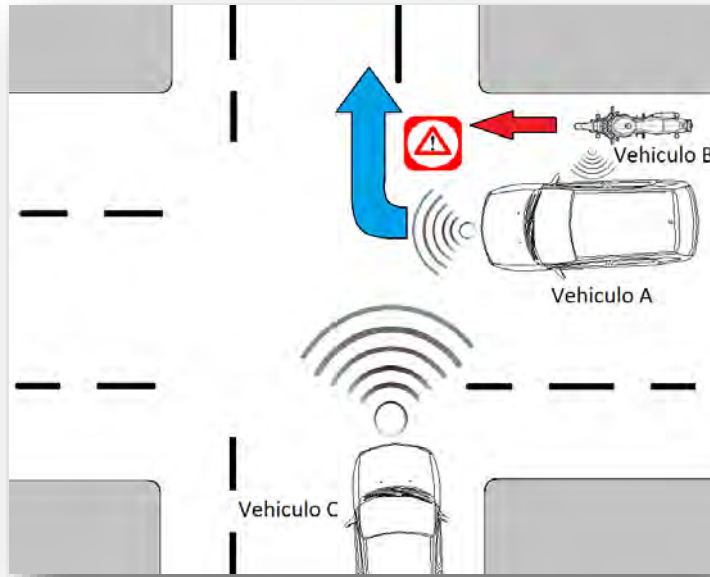
Figura 4 Sistema ITS prevención en autopista.

Otro escenario existente en el entorno urbano, y para ser más específico en los cruces importantes, los ITS funcionan para mantener el orden en el flujo de tráfico además de que proporcionan datos importantes a los agentes de tránsito con ayuda de sensores y cámaras instaladas en los semáforos con el fin de capturar datos de importancia como la velocidad a la que va un vehículo y en la toma de imágenes de las matrículas de los vehículos como podemos observar en la figura 5.



*Figura 5 Sistema ITS prevención en semáforos.*

Otra aplicación de los ITS es para ser utilizado para prevenir colisiones, en la figura 6 se muestra un escenario donde un automóvil (vehículo A) desea hacer una vuelta sin percatarse previamente que a un costado se encuentra una motocicleta (vehículo B). El uso de los ITS en este tipo de escenarios permite intercambiar información entre vehículos con el fin de evitar la posible colisión y generar un accidente de mayor dimensión. Así mismo, de la misma figura 6, puede adicionarse la inclusión de un tercer involucrado en el accidente, este es el caso del vehículo C, que al indicarle de la posible colisión, éste puede reducir su velocidad o detenerse en su totalidad, antes de colisionar y ser parte del posible accidente.



*Figura 6 Sistema ITS prevención en cruces.*

Hablar de los ITS es un tema extenso, por lo que en este trabajo monográfico, y de manera adicional, mencionaremos algunos de los entornos donde los ITS se están aplicando con éxito de manera convencional.

## 1.2.El uso de los ITS en diversos entornos.

Los ITS al ser una tecnología muy versátil pueden implementarse en diversos entornos con el fin de proporcionar información necesaria para cumplir con las necesidades de los usuarios, en este trabajo monográfico describiremos algunos entornos donde los ITS son empleados con el fin de resolver o facilitar ciertos aspectos que el usuario requiere.

A continuación se describen las aplicaciones en las cuales los ITS están siendo utilizados:

### 1.2.1. Información al viajero

Esta es una de las áreas en que se están dando mayores pasos. Los proveedores de servicios ITS pueden ofrecer información a los viajeros a través de muchos y diferentes canales antes y durante los viajes, por ejemplo, en dispositivos de a bordo, servicios basados en web, paneles de mensajes, quioscos especiales, teléfonos móviles, etc., dando apoyo en la elección del mejor modo y vía, así como información sobre los costos de viaje.

Los ITS están avanzando hacia la prestación de “servicios de viaje” completos: desde la planificación de viajes, guías de ruta y plazas de aparcamiento. Enlaces con los servicios turísticos que ofrecen servicios adicionales, como reserva de hoteles, información sobre lugares para visitar, etc.

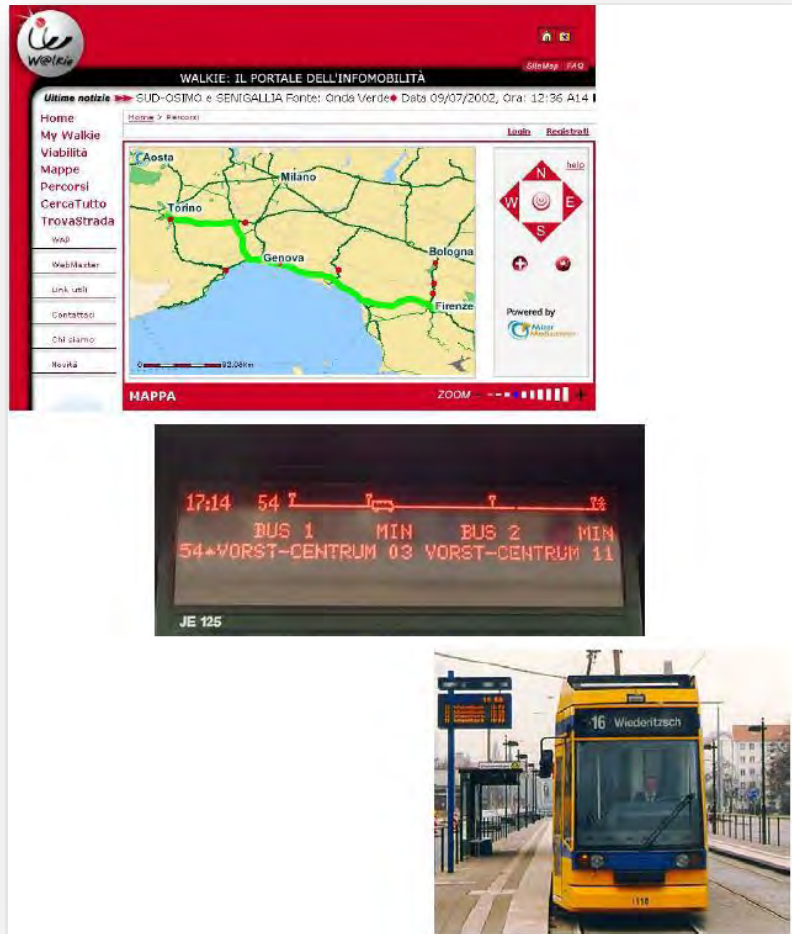


Figura 7 Información del viajero.

## Ejemplos

- El control automático del tráfico, el clima y las condiciones del camino permiten ofrecer a los viajeros información sobre cambio de ruta o modo. Por ejemplo, puede advertirse a los conductores de la congestión del tráfico e informarles de las rutas alternativas.
- Los pasajeros del transporte público pueden informarse del tiempo de llegada previsto a bordo de los vehículos, en las paradas, por teléfono móvil o incluso en Internet antes de comenzar su viaje.

Ahora que es común realizar viajes internacionales, es importante ser capaz de planificar y recibir apoyo para los viajes transfronterizos. Esto significa que los sistemas de información en los distintos países deben ser compatibles e interoperables. [3]

### 1.2.2. Tráfico urbano

La mayoría de las principales zonas urbanas de Europa ya están utilizando diversos tipos de ITS con el fin de apoyar el control y la gestión del tráfico y las operaciones de transporte público, así como para la aplicación de la legislación y el control de acceso.

Un número creciente de departamentos de transporte de la ciudad están tratando de tomar ventaja de los beneficios que se obtendrían mediante la integración de dichos sistemas.



Figura 8 Tráfico urbano.

## Ejemplos

La integración de los sistemas de control de tráfico, gestión del transporte público e información al viajero hace posible:

- Regularizar los servicios de autobús, dando prioridad a las señales de tráfico.
- Permitir a los conductores evitar la congestión y rápidamente llegar a una plaza de aparcamiento libre a través de enrutamiento automático.
- Permitir a los viajeros comparar la información de viajes por diferentes medios antes de iniciar su viaje.
- Proporcionar información que permita a los viajeros cambiar sus planes de viaje cuando se producen incidentes y averías.

La interoperabilidad de los sistemas electrónicos permite el control de acceso a las zonas urbanas mediante diversas formas de uso de las carreteras. [3]

### 1.2.3. Tráfico interurbano

La congestión puede ser tan mala fuera de los pueblos y ciudades, como dentro de ellas. Hay muchas aplicaciones de ITS diseñadas para ayudar a controlar el tráfico, y proporcionar apoyo a los conductores en las autopistas y otras carreteras.

## Ejemplos

- Medición automática para regular el acceso de congestiones de autopistas o carreteras.
- Provisión de información sobre el tráfico y el asesoramiento a los conductores a través de mensajes o dispositivos de a bordo.
- Control de la velocidad del tráfico en las autopistas congestionadas para suavizar el flujo total de vehículos (evitando el efecto "acordeón").



- Sistemas de detección de incidentes que automáticamente envían los mensajes a los centros de control de tráfico y emiten alertas inmediatas a los conductores.
- Adaptación Inteligente de Velocidad (ISA), sistemas que garantizan que la velocidad límite se mantiene en todo momento e incluso modifican los límites dinámicamente de acuerdo a las condiciones del camino, el tráfico o el clima.



Figura 9 Tráfico interurbano.

Dada la cantidad cada vez mayor de las fronteras de larga distancia y el cruce de interoperabilidades en viajes internacionales es necesario garantizar que los dispositivos de a bordo puedan comunicarse con el equipo de la carretera en cualquier lugar a lo largo de la ruta y recibir información de viajes en cualquier país. [3]

#### 1.2.4. Transporte de mercancías

Numerosas aplicaciones ITS están disponibles para apoyar a los conductores y a los operadores de flota en el funcionamiento de los servicios de transporte público o comercio en transporte de mercancías, que abarca tanto el transporte de mercancías de larga distancia como las entregas de bienes urbanos. Las aplicaciones de los ITS pueden aumentar la eficiencia de las operaciones, fomentar el uso de los diferentes modos de transporte, y también mejorar el nivel de seguridad.



*Figura 10 Transporte de mercancía.*

## Ejemplos

- Sistemas para la programación y la "coincidencia" de los vehículos, cargas, conductores y la elaboración automática de informes de viajes.
- Óptimo enrutamiento para transportes normales y "anormales", tales como vehículos de gran tamaño o de mercancías peligrosas.
- Monitoreo de las operaciones relacionadas con la seguridad del vehículo, almacenamiento de datos para responder a los interrogatorios en carretera.
- El seguimiento y rastreo de vehículos comerciales, los contenedores o las cargas durante todo el viaje, junto con el seguimiento de su estado físico, por ejemplo, para productos alimenticios o peligrosos.
- Automatización de la documentación comerciales y de regulación que acompaña a los vehículos industriales y bienes.
- Provisión de una "oficina en la cabina" para los propietarios de vehículos y conductores. [3]

### 1.2.5. Servicios de apoyo

Hay una serie de aplicaciones de los ITS diseñadas para complementar las aplicaciones y servicios que se describen en las páginas anteriores. Estos incluyen el pago de efectivo para los servicios, el manejo de incidentes y apoyo a las actividades de aplicación de la ley.



Figura 11 Servicios de apoyo.

## Ejemplos

- Un sistema de pago en una sola "tarjeta inteligente", que permite a un viajero pagar por el estacionamiento, información de viajes, peajes, el uso de sistemas de transporte público, etc. Esta tarjeta también puede almacenar información personal y preferencias, por ejemplo, disponibilidad y precio de los hoteles. Con este sistema cada proveedor de servicios recibe el pago correcto por el servicio que se ha utilizado.
- Los sistemas de peaje automático permiten a los vehículos calcular la cantidad correcta sin necesidad de detenerse en las cabinas de pago.
- Un sistema de a bordo puede generar una llamada automática en caso de un accidente. El centro de llamadas le da la situación de la emergencia y la ubicación precisa, y los guía a la escena con el apoyo del sistema de gestión del tráfico.
- Los ITS pueden ayudar en la gestión del transporte por carretera en condiciones excepcionales; por ejemplo, en el transporte de mercancías peligrosas, y la gestión de los puentes y túneles.
- Los ITS pueden ser utilizados para detectar violaciones de tráfico automáticamente; por ejemplo, manejo del vehículo en exceso de velocidad, obedecer las señales de tráfico, así como el de ofrecer detalles específicos de un determinado vehículo. Esto facilita el seguimiento y libera al personal para otras tareas. [3]

### 1.3.Particularidades y limitaciones de los ITS.

Las características de propagación de canales V2V (del inglés “Vehicle to vehicle” Vehículo a Vehículo) en diferentes escenarios, como en el urbano, suburbano, y la carretera, son muy diferentes de las de los canales celulares tradicionales. Las características de los canales V2V contienen (a) tanto en el transmisor y el receptor movimiento, (b) los dispersores importantes / reflectores también están cambiando continuamente, (c) las antenas omnidireccionales, tanto para Tx y Rx están a baja altura, y (d) el entorno en general del ambiente de propagación cambia dinámicamente a medida de que los vehículos se mueven.

A continuación se describen los fenómenos físicos que impactan en los ITS. Estos fenómenos afectan el canal de comunicaciones inalámbrico, lo cual repercute en la señal recibida por el sistema de comunicaciones. En este caso, el sistema de comunicaciones son los dispositivos V2V que son utilizados para implementar ITS. Podemos decir que el canal real de comunicaciones puede verse afectado por el efecto Doppler y el fenómeno de la multitrayectoria.

#### 1.3.1. Impacto del efecto doppler en el sistema de comunicaciones.

El efecto Doppler es un fenómeno físico cuyas manifestaciones han permitido avances importantes en un número considerable de dominios. Citemos por ejemplo, la comprensión de la expansión del universo a través de lo que el uso científico ha consagrado bajo el término de “corrimiento al rojo”, la medición de excesos de velocidad por medio del “radar”, las ecografías médicas que miden la velocidad de los glóbulos rojos en el interior de una arteria o visualizan la estructura del corazón y en tantas otras situaciones donde la frecuencia de la señal recibida está afectada por el movimiento de la fuente y/o del receptor respecto del medio de propagación.

Las investigaciones didácticas sobre la enseñanza y aprendizaje muestran que en el caso de la propagación de ondas, su discusión basada exclusivamente en ondas armónicas, en el dominio del tiempo o en el dominio de las frecuencias, puede ocultar una de las propiedades más características de un fenómeno ondulatorio, su dependencia tanto del espacio como del tiempo. Por este motivo, desde hace algunos años, los textos de enseñanza han ido incorporando, en el estudio de la propagación de ondas, pulsos de extensión finita, que se analizan tanto en el dominio del tiempo como del espacio. Casi todos los fenómenos básicos de la propagación de una onda, incluida la transmisión y reflexión, se estudian primero utilizando pulsos de formas arbitrarias y a continuación el caso particular de una onda armónica. Sin embargo, hasta ahora, el efecto Doppler, se

mantiene inalterable, como un fenómeno exclusivo de las ondas armónicas. En efecto, en la mayoría de los textos, se lo presenta como un fenómeno relacionado con una señal periódica que es emitida por una fuente, con el periodo  $TF$ , y recibida por un receptor con el periodo  $TR$ . Este último periodo difiere de  $TF$  si la velocidad relativa, de la fuente y/o el receptor, con respecto al medio (en caso de que haya uno) son distinta de cero, o, en el espacio vacío, si hay una velocidad relativa de la fuente con respecto al receptor. Expuesto de esta manera el efecto Doppler es un tema que vincula el periodo o frecuencia de una onda armónica con la velocidad de la fuente y/o del receptor. Sin embargo, en términos más amplios, este efecto está vinculado a compresiones y expansiones de un pulso cualquiera en el dominio del tiempo y del espacio.

En resumen el efecto Doppler se trata del cambio aparente en la frecuencia de una onda emitida por una fuente en movimiento. El efecto Doppler aplica tanto para las ondas mecánicas como para las ondas electromagnéticas. Además se utiliza para determinar el movimiento de las estrellas. La luz de una estrella puede mostrar corrimiento hacia un extremo u otro del espectro de luz visible. Este corrimiento evidencia si la estrella o galaxia se está acercando o alejando de nosotros. En esta lección nos enfocaremos en el efecto Doppler aplicado al sonido.

Cuando un objeto vibra a razón de 20 Hz a 20kHz en un medio, produce ondas sónicas. Estas ondas se propagan simétricamente en todas direcciones a través del medio y con rapidez constante. Como los frentes de onda se desplazan con igual rapidez, el largo de onda, al igual que la frecuencia son iguales en todas direcciones. Así que para cualquier observador alrededor de la fuente el sonido emitido será el mismo.

En pocas palabras tomando como ejemplo la Figura 12 donde podemos observar a una persona que se encuentra escuchando el sonido de la sirena de la ambulancia, se puede apreciar que cuando la ambulancia se acerca a la persona, el sonido que propaga es aparentemente más fuerte mientras más cerca de la persona esté, y en caso contrario se puede apreciar que cuando la ambulancia se aleja el sonido propagado es más tenue mientras se aleja de la persona. [4]

Dicho en otras palabras mientras la ambulancia se acerque a la persona la frecuencia del sonido se vuelve mayor por lo que da el efecto de que el sonido sea más agudo, y mientras se aleja la frecuencia cambia inversamente proporcional por lo que el sonido se vuelve más grave.



*Figura 12 Efecto doppler en el caso de la ambulancia.*

Se hace mención de este efecto en este trabajo monográfico ya que el efecto doppler impacta de igual manera en señales de comunicaciones de datos inalámbricos. Es decir, en telefonía celular o más específicamente en sistemas de transportes inteligentes, ya que las fuentes de datos como son los vehículos, u otros, estarán en constante movimiento.

### 1.3.2. Impacto de la multitrayectoria en el sistema de comunicaciones.

Una de las características fundamentales de las comunicaciones radio en enlaces terrestres es el de la propagación multitrayecto. Este tipo de propagación consiste en que entre el transmisor y receptor existe más de un camino de propagación, ya que la señal de radio que se propaga no es un rayo estrecho que va directamente de la antena transmisora a la receptora, sino un frente de onda amplio que se va difractando y reflejando a medida que encuentra obstáculos en su camino, como edificios altos o irregularidades del terreno. El estudio y modelado del fenómeno de la propagación multitrayecto se puede resumir diciendo que al receptor llegan varias réplicas de la misma señal, con diferentes retardos entre ellas. Las primeras, tres o cuatro (dependiendo del entorno), pueden contener valores significativos de energía, mientras que las restantes suelen llegar muy atenuadas y se pueden despreciar. Se plantean dos escenarios posibles en función del valor máximo del retardo diferencial entre las réplicas significativas (requiriendo cada escenario un receptor diferente), los cuales tienen lugar cuando:

1. El retardo diferencial máximo no supera en dos o tres veces el periodo de símbolo de modulación. La señal temporal que se obtiene a la salida del demodulador del receptor es un pulso muy distorsionado, que interfiere de forma significativa a los pulsos adyacentes. Para devolver el pulso a su forma original en el receptor se requiere un ecualizador, tanto más complejo cuanto mayor sea el cociente entre el retardo diferencial máximo y la anchura de símbolo. Por lo general, el ecualizador es un filtro FIR de siete coeficientes que se suele implementar mediante un algoritmo de Viterbi.
2. El retardo diferencial es mucho mayor que el periodo de símbolo. En este caso, a la salida del demodulador lo que se obtiene no es un pulso, sino varios pulsos independientes, cada uno de ellos correspondiente a una réplica. Se puede considerar que la señal transmitida se ha “roto” en varias réplicas iguales, las cuales se encuentran bien separadas entre ellas.

A medida que se aumenta el ancho de banda de transmisión el periodo de símbolo disminuye, y llega un momento en que la complejidad del receptor RAKE se vuelve excesiva, siendo más ventajoso desde un punto de vista de implementación, utilizar otro sistema de modulación como lo es la multiplexación por división ortogonal en frecuencia u OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Este sistema de modulación consiste en enviar la información no sobre una única portadora, sino sobre un múltiplex de muchas portadoras “adecuadamente espaciadas” en frecuencia, repartiendo la información entre todas ellas, de forma de que aunque la velocidad de modulación del conjunto sea muy elevada, la de cada portadora individual es pequeña, simplificando el problema de propagación multitrayecto.

Lo que diferencia al OFDM de otros procedimientos de multiplexación en frecuencia es la ortogonalidad, pues el “espaciamiento adecuado” entre portadoras es un espaciamiento óptimo. Este espaciamiento consiste en que la separación espectral entre portadoras



consecutivas es siempre la misma e igual al inverso del periodo de símbolo, de forma que la señal OFDM se puede expresar, en notación compleja, como:

$$s(t) = \sum_{i=N/2}^{N/(2-1)} d_i \exp[j2\pi(f_c + i/T)t]$$

donde:

- $f_c$  es la frecuencia central.
- $T$  es el periodo de símbolo.
- $d_i$  es el símbolo que lleva la información
- $s(t)$  es la señal OFDM en el tiempo.

En la Figura 13 se muestra una representación de tres portadoras ortogonales.

Viendo una señal OFDM en el tiempo se aprecia que en el periodo de la portadora más baja caben varios periodos de las otras portadoras, alineadas todas en fase, mientras que en la representación espectral el máximo de cada portadora coincide con un nulo de las demás.

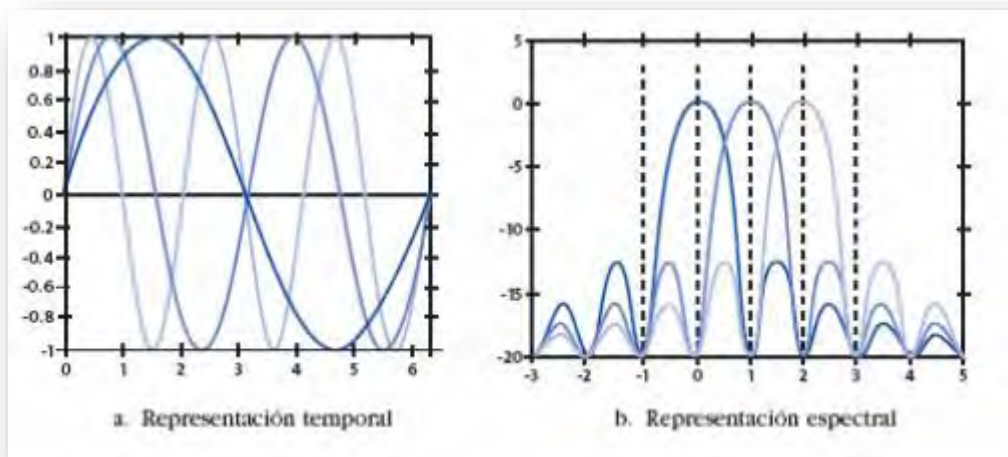


Figura 13 Señal OFDM

En principio, podría parecer que modular y demodular una señal OFDM requeriría tantas cadenas transmisoras y receptoras como portadoras tuviese el múltiplex. Si esto fuese así, el sistema sería inviable, pues un múltiplex de decenas o centenares de portadoras implicaría equipos terminales con decenas o centenares de cadenas transceptoras.

Afortunadamente, solo se requiere una cadena en cada sentido de transmisión, que modula o de-modula todas las portadoras a la vez.

Si se examina la ecuación anterior, se comprueba que una señal OFDM es la transformada inversa de Fourier de los coeficientes  $d_i$ , y, en consecuencia, los coeficientes son la transformada directa de  $s(t)$ . Por consiguiente, la acción de modular y de-modular todas las portadoras a la vez de una señal OFDM consiste básicamente en aplicar los algoritmos de la transformada rápida de Fourier, muy conocidos y fáciles de implementar en los procesadores digitales.

La ortogonalidad proporciona otra ventaja añadida: un mecanismo para eliminar, o reducir tanto como se quiera, el problema de la interferencia por propagación multitrayecto. Este mecanismo consiste en ampliar la duración correspondiente al periodo símbolo mediante un tiempo de guarda superior al máximo retardo diferencial entre los trayectos significativos. Durante la ampliación temporal se repite, o amplía, parte del propio símbolo, por lo cual se conoce a la ampliación como extensión cíclica. La justificación de por qué esta extensión elimina el problema de la propagación multitrayecto, la veremos en capítulos posteriores.

En lo que se refiere a la modulación de las portadoras, el símbolo  $d_i$  en un múltiplex OFDM en cada portadora se modula con una información diferente, aunque, por facilidad de implementación, el sistema de modulación suele ser el mismo para todas ellas, como QPSK o n2-QAM. Además, se suelen reservar algunas portadoras para transmitir información de sincronismo y ecualización espectral, o bien para establecer canales de servicio.

Lo anterior es indicativo de que los estándares actuales tengan que ser adaptados, o incluso propuestos, con la finalidad de contemplar en su capa física las nuevas condiciones impuestas por los ITS. En este sentido la siguiente subsección aborda de manera breve los estándares actuales que son utilizados en ITS. [5]

## 1.4. Los estándares en ITS

Todo sistema de comunicación sigue un conjunto de estándares con el fin de poder comunicarse entre dispositivos para poder solucionar algo en concreto, los ITS no son la excepción, ya que para un mejor uso entre sus dispositivos se crearon diferentes estándares.

A continuación mencionaremos los estándares que más se utilizan para implementar ITS.

### 1.4.1. Estándar IEEE 802.11p

IEEE 802.11p, actualiza y expande el estándar IEEE 802.11a con modificaciones a nivel físico y MAC para mejorar su comportamiento en el entorno cambiante como lo es el vehicular. Al igual que IEEE 802.11a, IEEE802.11p utiliza la Multiplexación por División en Frecuencias Ortogonales (OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing) pero con tasas de transmisión de 3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24, y 27 Mbps en canales de 10 MHz, aunque puede alcanzar tasas hasta de 54 Mbps con canales de 20 MHz. Utiliza 52 sub-portadoras moduladas utilizando BPSK, QPSK, 16-QAM o 64-QAM, así como codificaciones con tasas de 1/2, 2/3, o 3/4.

La frecuencia de 5,9 GHz dedicada para comunicaciones inalámbricas de corto alcance en el acceso en entornos vehiculares de comunicaciones dedicadas de corto alcance (DSRC/WAVE Dedicated short-range communications/Wireless Access in Vehicular Environment, en adelante simplemente WAVE), permite comunicaciones inalámbricas vehículo a vehículo (V2V), y vehículo a infraestructura (V2I). Las entidades principales que interactúan dentro de las comunicaciones y de la red en sí misma, son [1]:

- 1) **Unidad Abordo (OBU):** las OBU están inmersas en los vehículos y por lo general son las que reciben los servicios provistos por las RSUs, pero pueden ser proveedoras de servicios en determinados casos.
- 2) **Unidad al Lado de la Carretera (RSU):** las RSUs están inmersos en los elementos de infraestructura tales como señales de tráfico y postes de alumbrado público. Los proveedores de información usualmente están en las RSU. Estos se encuentran en sitios específicos, con su respectiva licencia y pueden prestar servicios en uno o más canales de servicio.

Respecto al manejo de canales, la norma define 7 canales no traslapados de 10 MHz en la banda de los 5.9 GHz: 6 canales de servicio (SCH, Service Channel) y uno de control (CCH, Control Channel). Para una mejor comprensión obsérvese el diagrama según la Fig. 14.

El CCH se utiliza como canal de referencia para realizar una primera detección de los vehículos cercanos como paso previo al establecimiento de las comunicaciones. Al mismo tiempo, dicho canal permite anunciar los servicios disponibles en los canales SCH (acceso a Internet, descarga de contenidos, etc.). Teniendo en cuenta que el canal CCH es el canal de referencia, IEEE802.11p lo emplea para la transmisión en modo broadcast de mensajes de seguridad vial. SCH permite la transmisión de datos de información relacionada con seguridad, entretenimiento, administración remota y también se podría usar para transferir voz y video a través de paquetes IP.

A partir de las diferencias expuestas resalta una que es fundamental entre CCH y SCH, la cual radica en que el primero no usa IP para la transmisión de paquetes. Por lo cual recurre a un protocolo de propósito específico que opera al mismo nivel que IP y que se representa con el acrónimo WSMP (WAVE Short Message Protocol). WSMP permite una mensajería que toma en consideración las particularidades especiales que define a los entornos de tránsito vehicular y disminuye sustancialmente la carga de los paquetes (reduciendo las cabeceras) para mejorar el flujo en las transmisiones. [1]

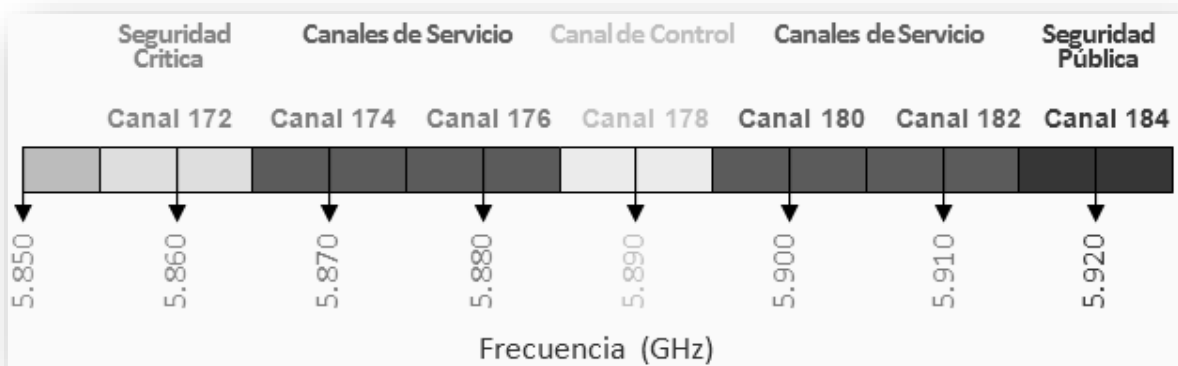


Figura 14 Estructura del Espectro en 802.11p.

## Capa Mac en 802.11p

El estándar básico de acceso que utiliza WAVE se denomina IEEE 802.11p y se basa en el acceso múltiple por detección de portadora con prevención de colisiones, (CSMA/CA), el cual, se basa también en el modo de priorización de tramas de Acceso al Canal Distribuido Mejorado (EDCA, Enhanced Distributed Channel Access) inicialmente previsto por el estándar IEEE 802.11e, y se utiliza tanto para el acceso en comunicaciones V2I como para V2V, en esquemas de acceso distribuidos y cliente-servidor.

En la actualidad el estándar IEEE 802.11p recomienda valores predeterminados para EDCA, donde 3 representa el más alto nivel de prioridad y 0 el más bajo. Aunque, en el documento oficial se sugiere modificar sus valores de ventana de contención mínima y máxima (aCW min y aCW max) para adaptar el funcionamiento al entorno de operación en concreto.

Las redes inalámbricas basadas en 802.11 se componen de zonas determinadas por el alcance de las comunicaciones fijas de un AP (Access point). El AP y todos los nodos móviles (MNs, Mobile Nodes) asociados a la zona, constituyen un conjunto básico de servicios (BSS, Basic Service Set), donde el AP actúa como un puente para las comunicaciones que establecen todos los MNs en el BSS. Entonces cuando un MN deja un BSS para unirse a otro, se establece un proceso que conduce a la ejecución de un protocolo que se divide en tres fases, este proceso se denomina handover y a continuación se describen sus fases:

- 1) **Fase de Detección:** la necesidad de un handover debe ser conocido primero por el MN. La forma de hacerlo no se especifica en la norma, pero por lo general, se lleva a cabo un control de la cantidad de paquetes de datos consecutivos no-reconocidos o cuando se detecta que la intensidad de la señal o la relación señal-ruido pasa por debajo de un umbral determinado.
- 2) **Fase de Búsqueda:** en la fase de búsqueda un MN intenta encontrar un nuevo punto de acceso. Esto se puede hacer pasivamente, escuchando el beacon<sup>2</sup> (Las tramas *beacon* contienen la información necesaria para identificar las características de la red y poder conectar con el punto de acceso deseado) de un AP. Dependiendo del período del beacon y del número de canales de frecuencia, que el MN tiene para sintonizar en su búsqueda, esta fase puede tardar hasta 1 segundo.
- 3) **Fase de Ejecución:** aquí, el handover se realiza efectivamente a través del intercambio de solicitudes de autenticación, asociación y respuestas del MN y el nuevo punto de acceso.

La mejora que hace la enmienda IEEE 802.11p se encuentra en la rápida adaptación a los continuos cambios que ocurren en una red de vehículos de gran movilidad, sacrificando procedimientos de identificación y autenticación que suelen ser parte del estándar WLAN 802.11. Para hacer más eficiente el intercambio de datos entre los vehículos de alta velocidad o entre un vehículo y una RSU, IEEE 802.11p especifica un proceso con el ánimo de reducir al mínimo los parámetros para la fase de ejecución del proceso de handover. [1]

### Funcionamiento de 802.11p

Para el correcto funcionamiento del protocolo 802.11p, es decir, para la fiabilidad del WAVE, se utilizará como base la comunicación dedicada a corta distancia DSRC, el cual será el encargado de gestionar la red ad-hoc en una frecuencia de 5.9 Ghz y con una velocidad de transmisión de 18 a 27 Mbps.

El DSRC es una tecnología que proporciona una tasa elevada de transferencia de datos donde sea necesario reducir la latencia de comunicaciones y/o aislar pequeñas zonas.

Sus características más importantes:

- Ancho de banda de 75 Mhz
- Frecuencia de 5,8 Ghz
- Alcance de 100 a 1000 metros (en función de las condiciones del tiempo)
- Tiempo de latencia de 200  $\mu$ seg
- Tasa de transmisión de 18 Mbps
- Comunicaciones broadcast y punto a punto

Esta tecnología está pensada para proporcionar servicios de comunicación a media-corta distancia dentro de carreteras entre vehículos y vehículos e infraestructuras con fines de seguridad.

DSRC (Dedicated short-range communications) tiene dos usos principales:

- **Seguridad vial:** sistema de alertas de emergencia para vehículos, prevención de colisiones en intersecciones, alertas de aproximación de vehículos de emergencias, inspecciones de seguridad de vehículos, señalización de prioridad de vehículos, etc.
- **Transacciones comerciales e información de viaje:** pago automático de servicios, pago de autopistas, estacionamiento, así como información en ruta sobre tráfico, restaurantes, etc. [1]

## VANET, análisis bajo 802.11P

Las Redes Ad Hoc Vehiculares (VANET, *Vehicular Ad hoc Networks*), también llamadas Redes de Comunicaciones Vehículo a Vehículo (V2V, *Vehicle to Vehicle Communication*), se pueden considerar como un caso específico de las MANET tradicionales. En las VANET, los nodos móviles son los vehículos, y debido a su alta movilidad y velocidad, las principales complicaciones provienen de los cambios frecuentes y rápidos de topología de red; pero, también existen algunos aspectos que contribuyen a facilitar la implantación de estas redes, ya que los vehículos en una VANET sólo se mueven en carreteras predeterminadas, además no se tiene el problema de la limitación de recursos en términos de almacenamiento de datos y potencia. Por otra parte, se puede asumir que siempre es posible obtener la posición geográfica del vehículo mediante el uso de GPS, que puede proporcionar sincronización a través de la red.

Por los cambios rápidos de topología en las VANET se necesitan protocolos MAC que subsanen los problemas existentes, igualmente es necesario tener en cuenta los diferentes tipos de servicios y las limitaciones de potencia inherentes y problemas de sincronización. Por otra parte, los protocolos MAC deben reducir el tiempo de retardo de acceso al medio, lo cual es importante en aplicaciones de seguridad y emergencias.

En general, la cantidad de información a transmitir es relativamente pequeña, pero la fiabilidad de la transmisión, así como el retardo y la difusión de paquetes son fundamentales.

En este sentido se puede comentar que la IEEE (definir que es IEEE) ha definido un sistema estándar de comunicación vehicular. WAVE (*Wireless Access in Vehicular Environment*) es una pila de protocolos que tiene soporte para tráfico TCP/IP, así como protocolos de transporte, red y de aplicación, ver Fig. 15. Este estándar es definido a más detalle en subcapítulos posteriores. [1]

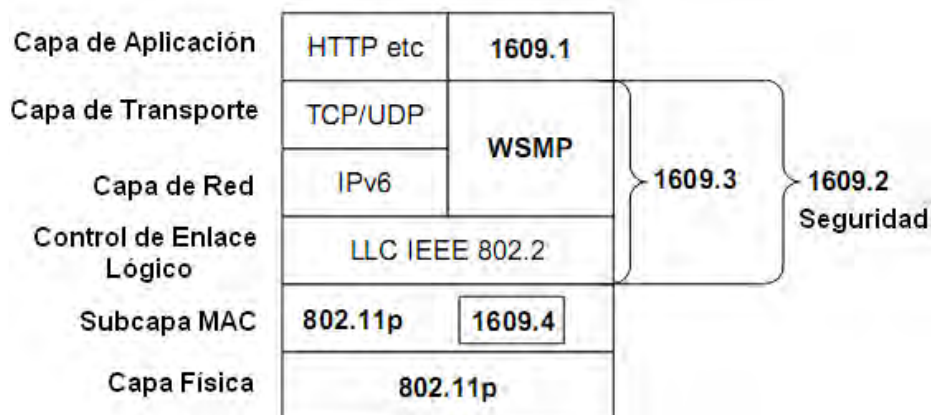


Figura 15 Visión General de la Pila de Protocolos WAVE.

#### 1.4.2. Estándar 1609.x

Los estándares WiFi (norma IEEE 802.11) se subdividen en categorías desarrollados por grupos de trabajo. Estas se diferencian entre ellas por la letra agregada al final del estándar. Así podemos diferenciar el estándar 802.11 k: medida de rendimiento, r: roaming entre puntos de acceso, s: redes mesh,..., y p: movilidad en vehículos, entre otros. En junio del 2006 se aprueba el primer estándar IEEE 1609.2 extensión del 802.11p, el cual intentaba cubrir necesidades de seguridad y protección contra algunos ataques como por ejemplo el spoofing (términos de seguridad de redes hace referencia al uso de técnicas a través de las cuales un atacante, generalmente con usos maliciosos o de investigación, se hace pasar por una entidad distinta a través de la falsificación de los datos en una comunicación). En octubre salió una segunda versión, el 1609.1, la cual trata sobre el manejo de varias conexiones simultáneas de datos, el uso de la memoria y otros recursos del sistema. El IEEE 1609.4 aprobado en noviembre de 2006 regula la operación de varios canales (control y servicios) simultáneos. Por último, queda una cuarta versión todavía sin aprobar, la 1609.3, cubre la definición de los protocolos y servicios, y es una extensión (la 802.11p) del estándar de comunicación wireless. [6]

#### Características del estándar 1609

El WAVE (*Wireless Access in Vehicular Environment*) describe las capas PHY y MAC del nuevo sistema de comunicaciones para entorno vehicular. Asimismo, la norma define 7 canales no solapados de 10MHz, en la banda de los 5.9 GHz: 6 canales de servicio (SCH) y uno de control (CCH). El CCH es utilizado como canal de referencia donde se realiza una primera detección de los vehículos cercanos, como paso previo al establecimiento de las comunicaciones, al mismo tiempo que es utilizado para anunciar los servicios disponibles en los canales SCH (acceso a Internet, descarga de mapas, etc.). [6]

De esta forma los sistemas de comunicaciones móviles entre vehículos (IVC) están adquiriendo un importante peso. Su objetivo prioritario es el intercambio de información relativa a la seguridad vial. Con ello, se pretenden proporcionar a cada conductor datos referentes a los vehículos que se encuentren en su zona de influencia, especialmente de los que no estén en su campo visual. Así, uno de los principales retos que se plantea en el diseño de este tipo de redes es la necesidad de mecanismos robustos que garanticen la fiabilidad de los intercambios de dicha información. De hecho, se prevé crucial el correcto dimensionado de los sistemas IVC para que puedan soportar aplicaciones de seguridad críticas. [6]



### 1.4.3. 802.16e

El 7 de diciembre de 2005 se aprobó el IEEE 802.16e-2005, este nuevo estándar ofrece la característica clave de la movilidad que no poseía el estándar 802.16-2004. Este estándar requiere una nueva solución de hardware/software ya que no es compatible con el anterior 802.16-2004.

La razón principal de esta incompatibilidad es que el 802.16e usa S-OFDMA (“Scalable-OFDMA”) tanto en el enlace ascendente como en el descendente. S-OFDMA significa que el número de sub portadoras OFDM aumenta, o escala (de 128 subportadoras hasta 2.048 subportadoras), según sea la señal de radio frecuencia recibida por el usuario, los requerimientos del usuario y el ancho banda del canal de radio que se esté usando.

Mientras que el 802.16-2004 solo permite la utilización 256 sub portadoras para OFDM el 802.16e-2005 utiliza S-OFDMA con un esquema escalable de 128, 512, 1024, 2048 sub portadoras.

Además se tiene el inconveniente de que la capa MAC (Media Access Control) es diferente en ambos estándares ya que, para efecto de soportar la movilidad se agregó un encabezado con información de control. [7]

## El estándar para WiMAX móvil

### *Capa Física.*

La Multiplexación por División de Ortogonal de Frecuencia (OFDM) es una técnica de multiplexación que subdivide el ancho de banda en subportadoras de frecuencia múltiple, como se ve en la figura 16.

OFDM es básicamente una combinación entre la modulación y multiplexación, la multiplexación generalmente se refiere a señales independientes que son producidas por fuentes independientes, en el contexto de OFDM la multiplexación es aplicada a señales independientes donde éstas, son un sub grupo de señales de una señal principal. Inicialmente la señal principal es dividida en subportadoras independientes para luego ser modulada y entonces es re multiplexada para crear una portadora OFDM.

En un sistema OFDM la entrada de flujo de datos es dividido en varios sub flujos paralelos de una menor tasa de datos (de esta forma se incrementa la duración del símbolo) y cada subflujo es modulado y transmitido en una subportadora ortogonal separada. El incremento en la duración del símbolo mejora la robustez contra la extensión del retraso.

OFDM explota la diversidad de frecuencias del canal multitrayecto mediante la codificación y el intercalamiento de la información a través de subportadoras. La modulación OFDM puede ser realizada de forma eficiente mediante la transformada rápida inversa de Fourier (IFFT), la cual permite tener un gran número de subportadoras (arriba de 2048) con una baja complejidad. En un sistema OFDM los recursos están disponibles en el dominio del tiempo mediante símbolos OFDM y en el dominio de la frecuencia por medio de subportadoras. Los recursos de tiempo y frecuencia pueden ser organizados en subportadoras para localizar a usuarios individuales. OFDMA es un esquema de multiacceso multiplexado que permite la multiplexación de los flujos de datos para múltiples usuarios. [7]

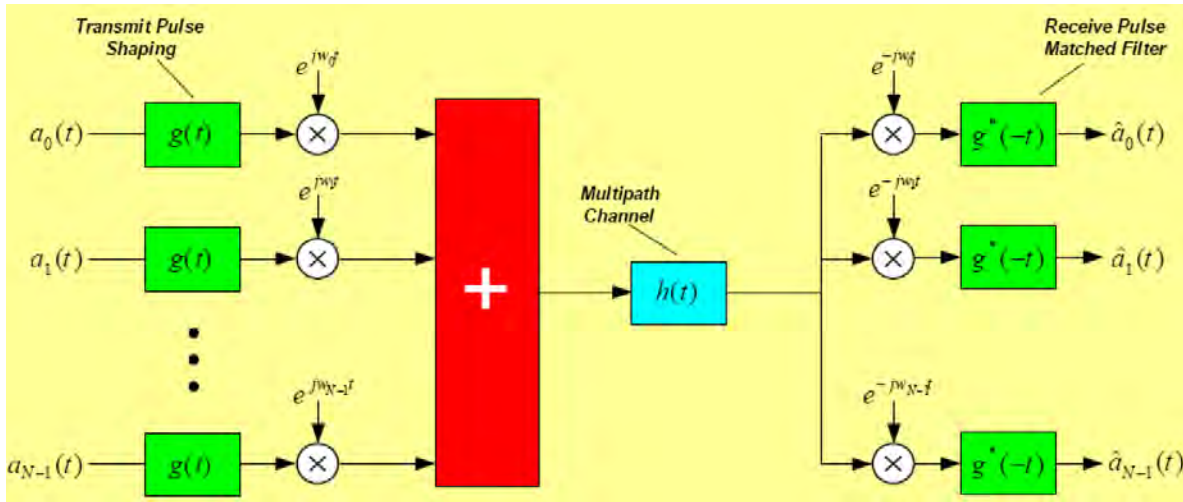


Figura 16 Arquitectura básica de un sistema OFDM.

### Ortogonalidad

OFDM es un caso especial de Multiplexación por División de Frecuencia (FDM), conceptualmente la diferencia entre estos dos sistemas está en que: en un canal FDM los datos viajan en un gran flujo y no pueden ser subdivididos, mientras que un canal OFDM los datos viajan en pequeños grupos individuales.

Esta diferencia hace que ambos sistemas respondan de manera diferente a la interferencia, así entonces un flujo FDM es más grande y contiene más información que un flujo OFDM, por lo tanto en caso de que la interferencia destruyera un flujo FDM toda la información útil se perdería, mientras que si esta información se transmitiera por un canal OFDM se dividiría en pequeños flujos, de forma tal que si la interferencia afectara uno de estos flujos, solo se perdería una fracción de la información y no toda ella.

En los sistemas OFDM estos flujos son llamados subportadoras y tienen la característica de que deben ser ortogonales e independientes entre sí.

El concepto fundamental en OFDM es la ortogonalidad de las subportadoras, tenemos entonces que las portadoras son ondas senoidales o cosenoidales y por lo tanto el área bajo la curva de estas es siempre cero. Si se tiene una onda senoidal de frecuencia  $m$  y se multiplica por una senoide de frecuencia  $n$ , con  $m$  y  $n$  enteros se tiene que

$$f(t) = \text{sen}(m\omega t) * \text{sen}(n\omega t)$$

Utilizando la siguiente relación trigonométrica:

$$\text{sen}(A)\text{sen}(B) = 1/2(\cos(A - B) - \cos(A + B))$$

Se llega a una expresión que es igual a la suma de dos sinusoides de frecuencia  $(n - m)$  y  $(n + m)$ .

$$f(t) = 1/2 \cos(m - n) - 1/2 \cos(n + m)$$

Estas dos componentes por ser sinusoidales tienen el área bajo la curva igual a cero en un periodo.

$$f(t) = \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} \cos(m - n) \omega t - \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} \cos(m + n) \omega t = 0 - 0$$

Se puede aclarar que cuando, se multiplica un senoide de frecuencia  $n$  por un senoide de frecuencia  $m$ , el área bajo el producto es cero. En general para cualquier entero  $n$  y  $m$  se tiene que  $\sin mx$ ,  $\cos mx$ ,  $\cos nx$ ,  $\sin nx$  son todos ortogonales unos con otros. Estas frecuencias son llamadas armónicas.

Esta ortogonalidad en OFDM permite la transmisión simultánea de muchas subportadoras en un estrecho ancho de frecuencias sin que interfieran unas con otras.

En forma matemática cada una de las portadoras puede ser descrita como una onda compleja:

$$S_c(t) = A_c(t)e^{j[\omega_c t + \phi_c(t)]}$$

Tanto  $A_c(t)$  y  $\phi_c(t)$ , la amplitud y la fase de las portadoras, pueden variar de un símbolo a otro. Los valores de los parámetros son constantes durante la duración de un período  $T$  de un símbolo.

OFDM consiste de muchas sub portadoras por lo tanto la señal compleja  $S_c(t)$  está representada por:

$$S_s(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} A_N(t)e^{j[\omega_c t + \phi_c(t)]}$$

En donde  $N$  representa al número de muestras. Esta ecuación representa a una señal continua en el tiempo.

En el transmisor la señal es definida en el dominio de la frecuencia. Cada portadora de OFDM corresponde a un elemento del espectro de la transformada de Fourier. Las

amplitudes y las fases de las portadoras dependen del dato que es transmitido. Las transmisiones de los datos son sincronizadas en las portadoras y pueden ser procesadas todas juntas, símbolo a símbolo.

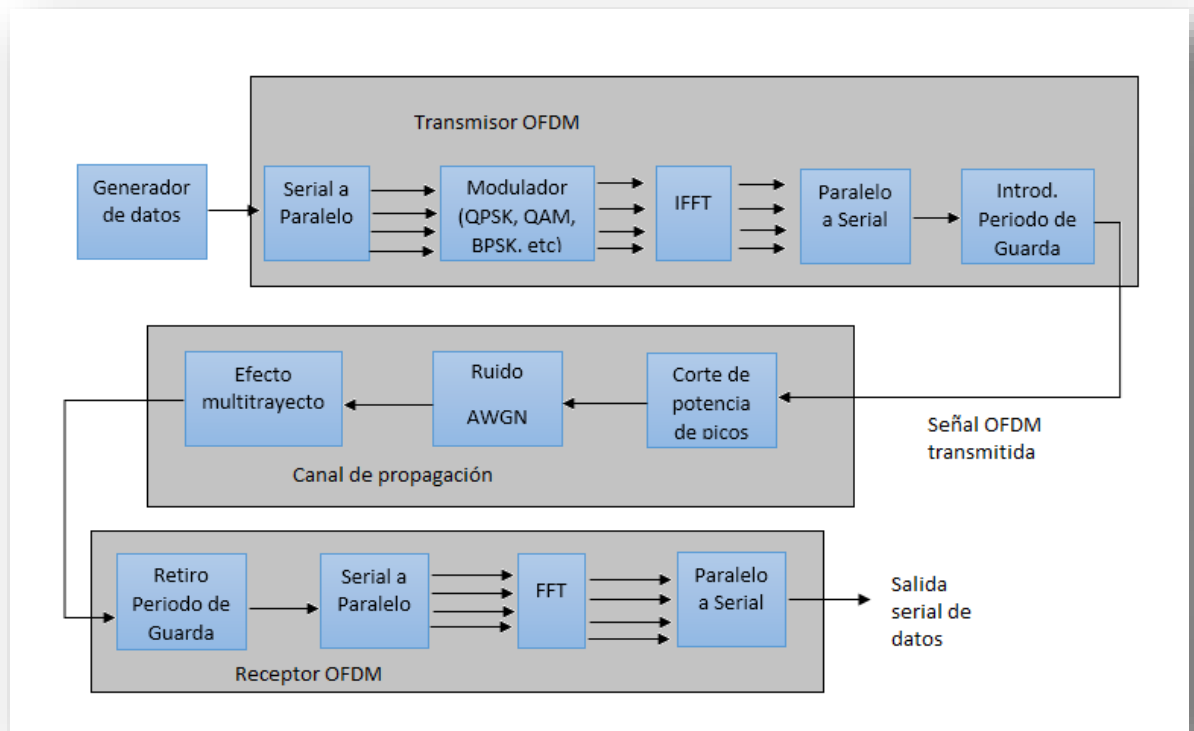


Figura 17 Diagrama de bloques de una comunicación en un sistema OFDM.

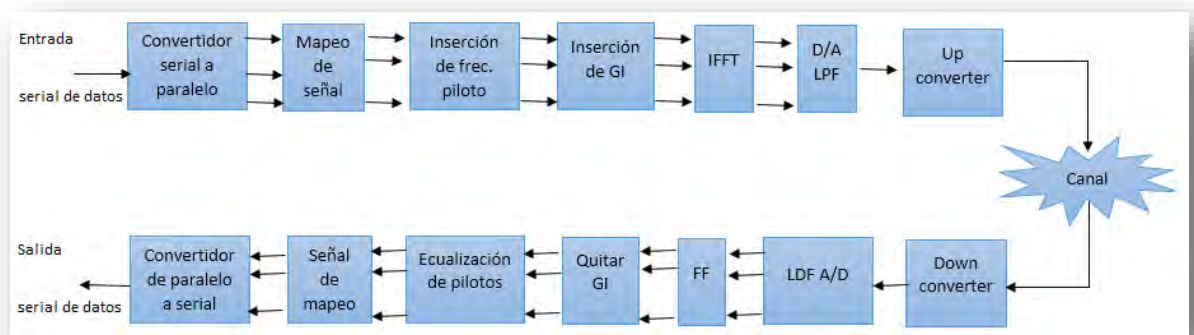


Figura 18 Diagrama de bloques de un sistema OFDM.

La definición de una transformada discreta de Fourier DFT de  $N$  puntos es

$$X_p[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x_p[n] e^{-j(2\pi/N)kn}$$

Y la transformada discreta inversa de Fourier IDFT de  $N$  puntos es:

$$x_p[k] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_p[k] e^{-j(2\pi/N)kn}$$

Una consecuencia natural de este método es que permite generar portadoras que son ortogonales y por lo tanto el concepto de Ortogonalidad le da la calidad de linealidad independiente.

Considerando una secuencia de datos ( $d_0, d_1, d_2$ ) donde cada  $d_n$  es un número complejo de la forma:  $d_n = a_n + jb_n$

$$D_n = \sum_{k=0}^{N-1} d_n e^{-j\left(\frac{2\pi nm}{N}\right)} = \sum_{k=0}^{N-1} d_n e^{-j(2\pi f_n t_m)}$$

La serie de datos que llega, primero se convierte de serial a paralelo y luego es agrupada a  $x$  bits hasta llegar a un número complejo. El número  $x$  determina la constelación de la señal que le corresponde a cada sub portadora, como lo son QAM-16, QAM-24, etc. Los números complejos son modulados en banda base con la transformada rápida inversa de Fourier (IFFT) y convirtiéndolos de nuevo a transmisión de datos en serie como lo muestra la figura 18. Un intervalo de guarda es introducido entre símbolos para evitar interferencia entre símbolos (ISI) causada por la distorsión multitrayecto. Los símbolos discretos son convertidos a analógicos y filtrados con un filtro pasa bajas para su preparación de radiofrecuencia (RF). El receptor desarrolla el proceso inverso al transmisor. Un ecualizador es utilizado para corregir la distorsión de los canales. Por último los coeficientes son filtrados y calculados basados en la información del canal. Ver figura 17.

#### *Acceso al medio*

En las comunicaciones bidireccionales que comparten un mismo medio de propagación es necesario establecer algún mecanismo para el control del acceso. Los métodos principales son FDD (basado en reparto de la frecuencia) y TDD (reparto temporal).

La técnica "Frequency Division Duplex", o transmisión bidireccional por división en frecuencia. Se basa en la utilización de dos bandas diferentes de frecuencia para la transmisión, una para el envío y otra para la recepción. Esta técnica es la utilizada en telefonía móvil de segunda generación (GSM) y tercera generación. Posee la característica tener un retardo mínimo por lo que se utiliza para el tráfico de voz. [7]

La técnica “Time División Duplex”, o transmisión bidireccional por división en tiempo. A diferencia de la técnica FDD, se utiliza una única banda de frecuencia para envío y recibo de la información, compartiendo los periodos de transmisión. Es una técnica muy eficiente para tráfico asimétrico, ya que se adapta al perfil del tráfico, por lo que se considera más adecuado para perfiles con descargas masivas de Internet como el caso de WiMAX móvil.

El estándar para WiMAX móvil 802.16e soporta FDD y TDD como esquemas acceso al medio sin embargo los perfiles de certificación no incluyen FDD.

Las razones para utilizar TDD como esquema de transmisión bidireccional son:

- TDD permite ajustar la relación entre DL (download –bajada-) y UL (upload – subida-) para poder soportar eficientemente los tráficos asimétricos ya que generalmente en FDD el DL y UL tienen anchos de banda fijos y simétricos.
- TDD asegura la reciprocidad para un mejor soporte de MIMO y otras tecnologías de antenas avanzadas.
- FDD requiere de un par de canales para la transmisión, mientras que TDD únicamente requiere de un único canal para la DL (download –bajada-) y UL (upload –subida-), dando una gran flexibilidad en la adaptación de una gran variedad de espectros globales.
- Los diseños de transmisores para TDD son menos complejos lo que implica un abaratamiento de los costos.

En la figura 19 se muestra una trama OFDM en un esquema de TDD, cada trama es subdividida en dos sub tramas, una para el UL y otra para el DL. [7]

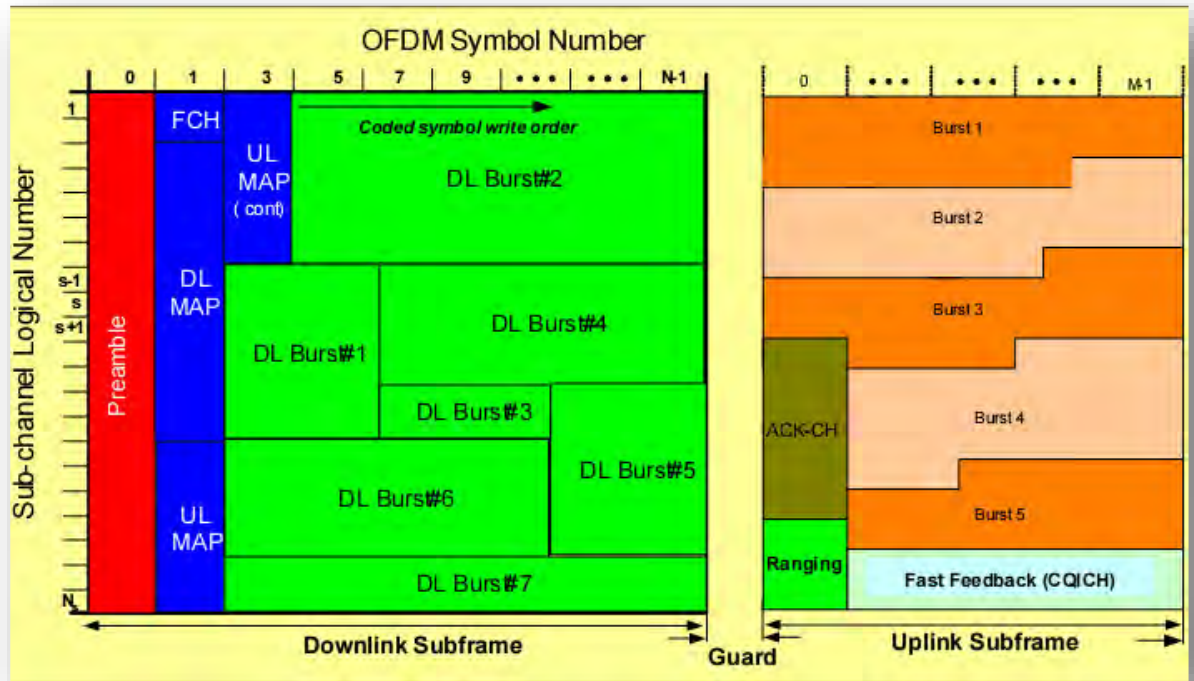


Figura 19 Trama OFDM.

En la trama se incluye la siguiente información de control:

- El preámbulo, se utiliza para la sincronización, es el primer símbolo OFDM de la trama.
- El encabezado de control de la trama (FCH): le sigue al preámbulo contiene la información de configuración tal como el mensaje MAP, el tamaño y el esquema de codificación y los sub canales utilizables.
- DL MAP (Mapas de multiacceso de bajada) y UL MAP (Mapas de multiacceso de subida), protocolo de acceso al medio, provee la localización de los sub canales e información de control.
- “UL Ranging” el sub canal "ranging" se utiliza para que las estaciones móviles ajusten el tiempo de cerrado de lazo, la frecuencia y potencia tal como el ancho de banda lo requiera.
- El canal UL CQICH sirve para que la estación móvil retroalimente información sobre el estado del canal

UL ACK sirve para que la MS retroalimente la información del DL HARQ. Con el ánimo de mejorar la capacidad de cobertura en las aplicaciones móviles en WiMAX móvil se



introdujeron algunas características como “Adaptive modulation and coding” (AMC), “Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ)”.

En WiMAX móvil las principales modulaciones para el DL son QPSK, 16 QAM y 64 QAM mientras que en el UL la modulación 64QAM es opcional, además soporta codificaciones de códigos convolucionales y turbo códigos.

Las combinaciones de varios esquemas de modulación y tasas de codificación (code rates) provee ciertas velocidades que se resumen en la tabla 1, en la cual se muestran las tasas de datos para canales de 5 y 10 MHz, la duración de la trama es de 5 milisegundos, cada trama tiene 48 símbolos OFDM, con 44 símbolos para la transmisión, se puede observar que las tasas de datos más grandes se consiguen con 64QAM [7]

Tabla 1 Velocidades alcanzadas por WiMAX móvil.

| Modulación | Code Rate | Canal de 5 MHz    |                   | Canal de 10 MHz   |                   |
|------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|            |           | Velocidad DL Mbps | Velocidad DL Mbps | Velocidad DL Mbps | Velocidad UL Mbps |
| QPSK       | ½ CTC,6x  | 0.53              | 0.38              | 1.06              | 0.78              |
|            | ½ CTC,4x  | 0.79              | 0.57              | 1.58              | 1.18              |
|            | ½ CTC,2x  | 1.58              | 1.14              | 3.17              | 2.35              |
|            | ½ CTC,1x  | 3.17              | 2.28              | 6.34              | 4.7               |
|            | ¾ CTC     | 4.75              | 3.43              | 9.5               | 7.06              |
| 16 QAM     | ½ CTC     | 6.34              | 4.57              | 12.67             | 9.41              |
|            | 3/2 CTC   | 9.5               | 6.85              | 19.01             | 14.11             |
| 64 QAM     | ½ CTC     | 9.5               | 6.85              | 19.01             | 14.11             |
|            | 2/3 CTC   | 12.67             | 9.14              | 25.51             | 18.82             |
|            | ¾ CTC     | 14.26             | 10.28             | 28.51             | 21.17             |
|            | 5/6 CTC   | 15.84             | 11.42             | 31.68             | 23.52             |

## Aplicaciones y diseño de redes móviles WiMAX

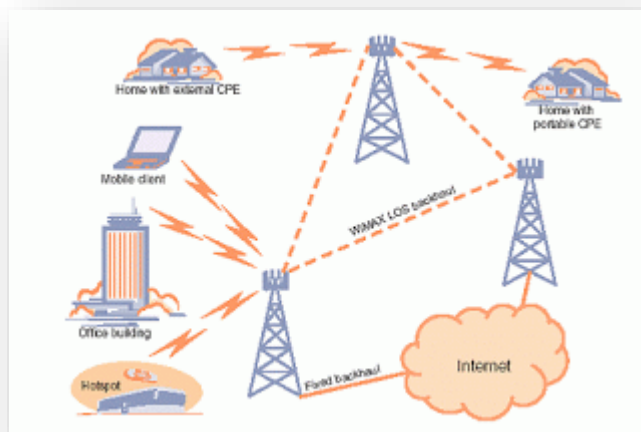


Figura 20 Red WiMAX.

IEEE 802.16e es una enmienda al standard 802.16 para WiMAX fijo, añadiendo atributos y características necesarias para la movilidad. La IEEE 802.16e-2005 forma la base para las soluciones WiMAX para aplicaciones móviles y nomádicas, y es denominado mobile WiMAX, que trabaja bajo el espectro licenciado distribuido en las bandas de frecuencia 2.2, 2.5, 3.3 y 3.5 GHz. Las especificaciones de la IEEE 802.16e-2005 definen tanto una capa física – physical (PHY) layer - como una capa de control de acceso medio – Medium Access Control (MAC) – para sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha.

La interface por aire Mobile WiMAX adopta el esquema de modulación OFDMA (Acceso Múltiple de División de Frecuencia) para rendimiento multi trayectoria mejorado en ambientes no de línea de vista. OFDMA asigna una serie de sub-transportadores que son ortogonales a otros usuarios. Más de un subtransportador puede ser asignado a un usuario para soportar altas tasas de transmisión de datos. El uso simultáneo por múltiples usuarios da como resultado una mejor eficiencia espectral.

WiMAX soporta una variedad de esquemas de modulación y código y permite al esquema cambiar a una base ráfaga a ráfaga por link, dependiendo de las condiciones del canal.

WiMAX para móviles soporta un amplio rango de tecnologías de antenas inteligentes. Las tecnologías de antena inteligente soportadas incluyen:

- **MIMO:** La eficiencia espectral en WiMAX móvil se incrementa usando múltiples antenas en el transmisor y en el receptor. Tal sistema se llama MIMO (Entrada Múltiple Salida Múltiple). Las antenas múltiples inherentes a los sistemas MIMO pueden ser explotadas de varias formas para mejorar el rendimiento. El uso de

MIMO en estándares inalámbricos, incluyendo WiMAX, está principalmente motivado por el incremento de las tasas obtenidas a través de la multiplexión espacial de múltiples antenas. En particular, con  $N$  antenas en el transmisor y  $M$  antenas en el receptor puede soportarse un flujo de datos independiente min ( $N, M$ ), generando un incremento de datos  $N$ -veces o  $M$ -veces la del transmisor respecto a un sistema con antena única.

- **Beamforming:** Beamforming es una variante de MIMO en la que el sistema usa múltiples antenas para transmitir señales ponderadas para mejorar cobertura y capacidad del sistema y reducir la probabilidad de cortes.
- **Multiplexión espacial (Spatial Multiplexing SM):** La multiplexión espacial permite tomar ventaja de tasas de transmisión de datos alta para mejorar el rendimiento. Con multiplexión espacial, múltiples flujos de datos se transmiten sobre múltiples antenas. Si el receptor tiene también múltiples antenas, puede separar los diferentes flujos para alcanzar un mayor rendimiento en comparación con los sistemas de antena simples.

### ¿Por qué WiMAX móvil?

Mobile WiMAX tiene muchos competidores en el mercado, incluyendo las especificaciones LTE y 3G. Aunque cada una de estas tecnologías tiene sus propias ventajas y desventajas, las WiMAX móviles tienen una ventaja debido a que los paquetes basados en IP conmutan a la red diseñada por tráfico de datos de una forma similar a las tecnologías 3G existentes, que primariamente soportan voz y permiten datos. Con interoperabilidad mundial en las bandas de frecuencia 2,3-2,4GHz, 2,496-2,69GHz and 3,4-3,6 GHz, los suscriptores pueden usar el mismo dispositivo en todo el mundo. Como hemos discutido, WiMAX móvil tiene la ventaja de mayor transmisión de datos usando OFDMA y MIMO. Con OFDMA, WiMAX móvil puede soportar múltiples usuarios simultáneamente. OFDMA lleva a una extensión significativa del rango de células en el uplink (desde la estación de móviles a la estación base), debido a que la potencia de transmisión se concentra en un número pequeño de transportadores y la relación de señal a ruido (signal-to noise ratio SNR) a la entrada del receptor se incrementa. La extensión del rango de células también es alcanzable en el downlink (desde la estación base a la estación de móviles), distribuyendo más potencia a los grupos de transportadores asignados a usuarios distantes. Otra característica interesante de OFDMA es que facilita el despliegue de redes con un factor de reutilización de la frecuencia de 1, eliminándose así la necesidad de planificación de la frecuencia. Ya que los recursos de radio son escasos y los requerimientos de tasa de dato se mantienen incrementándose, la eficiencia espectral es un requerimiento exigente en los sistemas de comunicación inalámbricos presentes y futuros (MIMO).

Otro factor a considerar al desplegar WiMAX de móviles es la disponibilidad del espectro. Ya que la mayoría de los operadores de telecomunicaciones invierten significativamente en el espectro 3G, invertir más para obtener licencias WiMAX de móviles parece arriesgado para las compañías, especialmente porque la tecnología es todavía nueva. Además, los transportadores están todavía invirtiendo en expandir la cobertura 3G en todo el país debido a que no es tan penetrante como redes más antiguas, tal como EDGE.

Un número de factores deben evaluarse antes de construir una red WiMAX, el más significativo es el ratio costo/rendimiento. Ya que WiMAX es bastante nuevo, el costo implicado en desplegar transmisores y receptores es todavía relativamente alto.

En un estudio de viabilidad económica de desplegar una red WiMAX móvil en Bélgica se describió que en un radio de 2 – 2,5 millas en la nueva red pública pueden soportarse 512 kbps – 3 Mbps de velocidad de bajada y 128 kbps – 256 kbps de velocidad de subida. Aunque el estándar WiMAX puede proporcionar hasta 70 Mbps por usuario en un radio de milla, el costo asociado desplegando WiMAX con contrato de nivel de servicio limitó su capacidad de oferta. [8]

#### 1.4.4. 802.16m

El estándar IEEE 802.16m fue pensado para asegurar la competitividad entre sistemas emergentes de cuarta generación, a la vez que se mejoraba las capacidades y cualidades del sistema anterior. Para ello, se tomaron en cuenta las mejoras en los mecanismos de control/señalización, reducción del *overhead*, control del tráfico y cobertura en el límite de las celdas, retardos en la interface de aire, consumo de potencia en los terminales, cabeceras MAC, soporte para FDD, técnicas avanzadas MIMO para un sólo usuario o para múltiples usuarios, mejoras en los servicios basados en localización, auto configuración de redes, etc.

Los requerimientos para IMT-Advanced (Internacional Mobile Telecommunications Advanced [Telecomunicaciones Móviles Internacionales-Avanzadas]) fueron publicados en el reporte ITU-R M.2134, y fueron la meta a seguir para el estándar IEEE 802.16m. Estos requerimientos son el subconjunto establecido para IEEE 802m, esto hace que dichos requerimientos establecidos por la ITU-R se vuelvan menos restrictivos con respecto a la línea base que se planteó para el desarrollo de este estándar, además permite que cualquier pequeña mejora que se haga en el proceso cumpla de forma indirecta con los requerimientos establecidos por ITU-R y ser catalogada como una tecnología IMT-Advanced [2].

De esta manera, la propuesta candidata entregada a la ITU-R (802.16m) probó cumplir y exceder los requerimientos para sistemas IMT-Advanced y por ello ser calificada como una tecnología IMT-Advanced.

Una de las diferencias notables con respecto a las enmiendas anteriores, es que para el desarrollo de este estándar se estableció un método unificado para la selección de criterios que inevitablemente convergían siguiendo una línea guía. Se desarrolló, a groso modo, una descripción de la arquitectura RAN y las entidades IEEE 802.16m, lo que estableció un marco para la especificación del estándar.

Para asegurar una suave transición desde el *Release 1.0* de *mobile WiMAX* a la especificación del estándar IEEE 802.16m se tuvo como objetivo una compatibilidad hacia atrás, tal como se hizo en otras tecnologías que siguieron un camino como cdma2000 o WCDMA. En ambos casos, se utilizaron los anteriores protocolos base y se hicieron algunas añadiduras con nuevos protocolos. De esta manera se tienen sistemas que siguen estrictamente los requerimientos necesarios para tener compatibilidad hacia atrás.

Sin embargo, la visión de una compatibilidad hacia atrás y la nueva enmienda resultaron ser totalmente diferentes. A partir de este momento se crea un nuevo sistema que fue desarrollado más o menos desde cero. Un gran número de protocolos heredados de capa física y protocolos MAC fueron reemplazados con nuevos protocolos y funciones que no tienen compatibilidad hacia atrás.

Para que ambas tecnologías (la nueva y la anterior) puedan convivir juntas en una misma portadora de radio frecuencia se necesita multiplicación por división de tiempo o frecuencia en el sistema anterior así como nuevos protocolos en las zonas operando con ambas.

Aunque IEEE 802.16m especifica mecanismos de handover desde y hacia sistemas heredados, los protocolos de handover, mensajes MAC, y *triggers* (*Es un paradigma de programación que usa los objetos en sus interacciones, para diseñar aplicaciones y programas informáticos*) son diferentes y requieren una pila de protocolos distinto para una implementación dual de ambos sistemas.

### Modelo del estándar 802.16m

El estándar IEEE 802.16-2009 define un modelo de referencia genérico en el que se especifica los mayores bloques funcionales (es decir, la capa física, la subcapa de seguridad, la sub capa MAC de parte común, y la sub capa de cobertura de servicio específico) sus interfaces, las premisas de la entidad IEEE 802.16, y un control general de red y administración del sistema.

IEEE 802.16m ha modificado este modelo de referencia al clasificar aún más las funciones de la sub capa MAC de parte común en dos grupos funcionales, resultando en una aproximación más estructurada para caracterizar las funciones de la capa de enlace de datos y sus interoperaciones. Las revisiones y/o enmiendas anteriores del estándar IEEE 802.16 no definían explícitamente una estructura de protocolos detallada; más bien, los elementos funcionales en la especificación fueron clasificados implícitamente como sub capa de convergencia, sub capa MAC de parte común, sub capa de seguridad, y capa física.

Aunque cada una de estas capas o sub capas comprenden un conjunto de funciones y protocolos, no se dio una perspectiva de la forma en la cual varios componentes se interconectaban e inter-operaban desde un punto de vista del sistema. De hecho, IEEE 802.16 nunca ha sido desarrollado con un punto de vista de ingeniería del sistema; más bien, especificó componentes y bloques constituyentes que pueden ser integrados para construir un sistema que trabaje. Un ejemplo son los perfiles del sistema WiMAX móvil, en el que se seleccionaron un conjunto específico de características IEEE 802.16-2009 para formar un sistema de acceso de banda ancha móvil. En un intento por mejorar la claridad de los estándares IEEE 802.16 anteriores y tomar un acercamiento sistemático en el desarrollo de una interfaz avanzada de aire, IEEE 802.16m ha definido una estructura de protocolos y los componentes funcionales se clasifican en diferentes capas y sub capas, y así mismo, diferenciados en base a las categorías de plano de datos o del plano de control.

Los protocolos y elementos funcionales definidos por IEEE 802.16 corresponden a la capa física y la de enlace de datos del modelo de referencia de siete capas de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI) como se muestra en la Figura 21: [9]

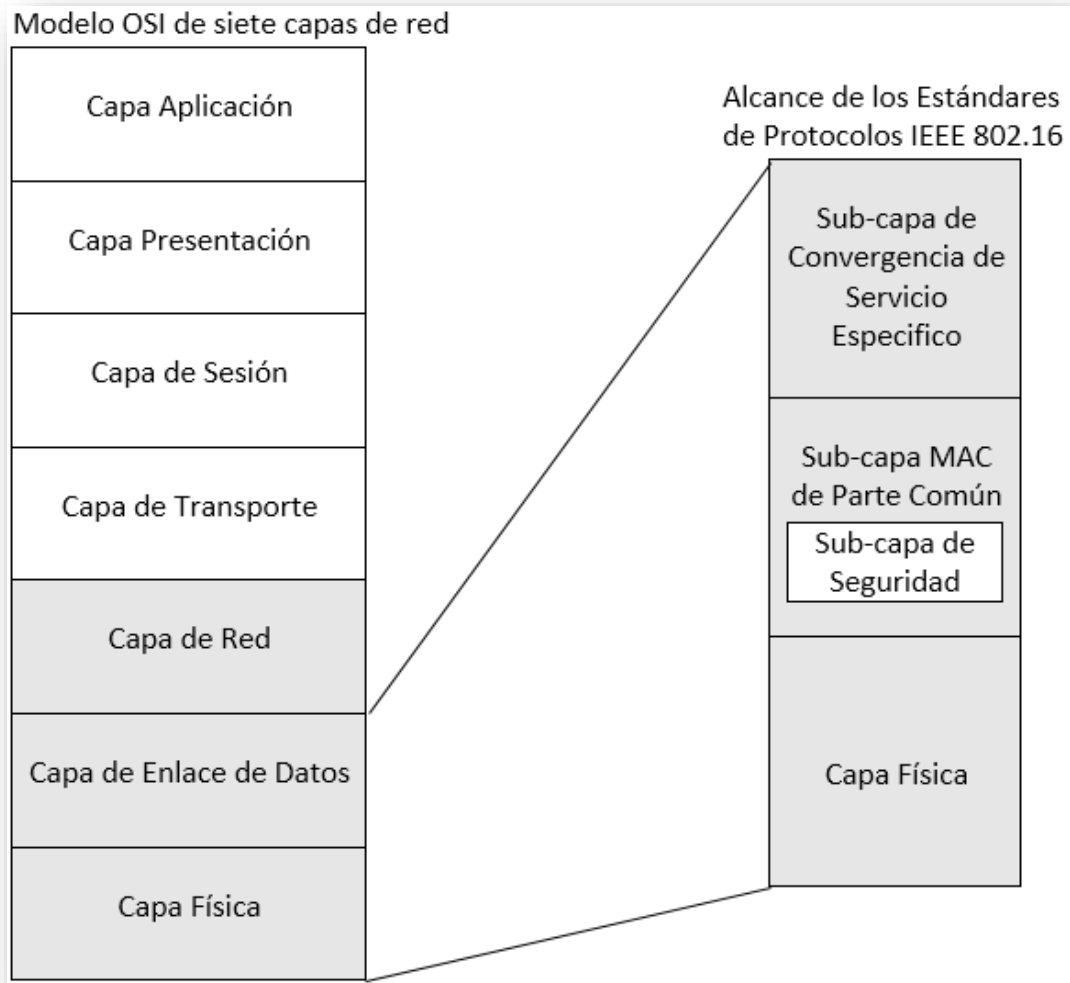


Figura 21 Mapeado de las capas de protocolos para un modelo de red OSI.

## El modelo de referencia IEEE 802.16m

La Figura 22 ilustra el modelo de referencia IEEE 802.16. La capa de enlace de datos del estándar IEEE 802.16 consta de tres sub capas: Sub capa de convergencia de servicio específico (CS), Sub capa MAC de parte común (MAC CPS) y Sub capa de seguridad.

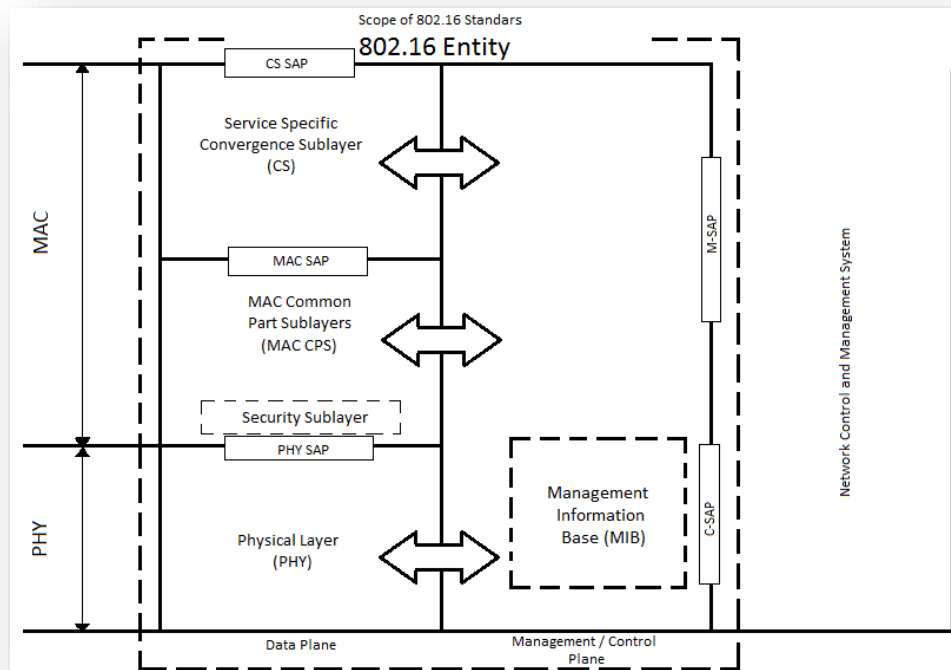


Figura 22 Modelo de referencia IEEE 802.16.

La sub capa de convergencia de servicio específico provee cualquier transformación o mapeo de los paquetes de datos de capa de red en SDUs MAC.

También incluye la función de eliminación de cabecera para comprimir las cabeceras de protocolos de capas superiores. Además se proveen múltiples especificaciones para la conexión con varios protocolos de capa de red como Modo de Transferencia Asíncrona (ATM) y protocolos de conmutación de paquetes tales como IP o Ethernet. El formato interno del área de datos es único para la CS, y la MAC CPS no necesita conocer el formato o analizar cualquier información de payload CS. La MAC CPS provee el núcleo de funcionalidad MAC de acceso al sistema, asignación de ancho de banda, establecimiento de la conexión, y mantenimiento de conexión. Puede recibir datos de varias sub capas de convergencia, a través del punto de acceso al servicio MAC (MAC SAP) clasificados en conexiones MAC particulares. La calidad de servicio (QoS) se aplica para la transmisión y programación de los datos sobre la capa física.



La subcapa de seguridad provee autenticación, intercambio seguro de claves, y encriptación. Los datos de usuario, control de capa física y estadísticas se transfieren entre la MAC CPS y la capa física (PHY) a través del PHY SAP, el cual es de implementación específica.

Los protocolos de capa física IEEE 802.16 incluyen múltiples especificaciones, definidas a través de varias enmiendas y revisiones, cada una apropiada para un rango de frecuencia y aplicación particular.

La enmienda IEEE 802-16f (actualmente parte del estándar IEEE 802.16-2009) provee las mejoras al estándar IEEE 802.16-2004 definiendo una base de administración de información (MIB) para las capas física y de control de acceso al medio, a los procedimientos de administración asociados.

El estándar 802.16 describe el uso del Protocolo Simple de Administración de Red (SNMP) es decir, una suite de protocolos IETF como modelo de referencia de administración de red. El estándar consiste de un Sistema de Administración de Red (NMS), nodos administrados, y una base de datos de flujo de servicio. Los nodos administrados de la BS y MS recolectan y guardan los objetos administrados en la forma de la Interfaz MIB WirelessMAN y Device MIB que se vuelven disponibles para el sistema de administración de red a través de protocolos de administración, tales como SNMP. Un Sistema de Control de Red contiene el flujo de servicio asociado a la información de Calidad de Servicio que ha sido provista a la BS cuando una MS entra a la red. El SAP de Control (CSAP) y el SAP de Administración (M-SAP) conectan a las funciones del plano de control y administración con las capas superiores.

La entidad NCMS (Sistema de Administración y Control de Red) se presenta dentro de cada MS. El NCMS es una entidad independiente de las capas que puede ser vista como una entidad de administración o de control. Las entidades de administración del sistema genérico pueden ejecutar funciones a través del NCMS y los protocolos estándar de administración pueden ser implementados en el NCMS. Si la conexión secundaria de administración no existe, los mensajes SNMP, u otros mensajes de protocolo de administración, podrían ir a través de otra interfaz en la premisa del usuario o en una conexión de transporte sobre la interfaz de aire.

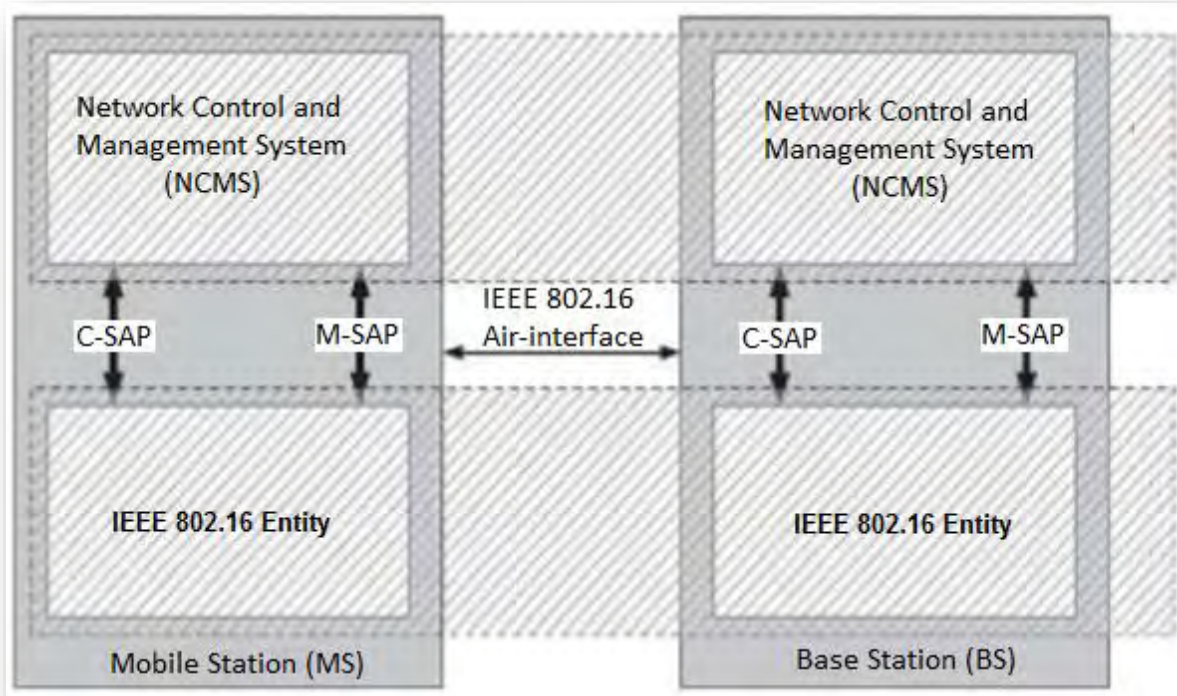


Figura 23 Modelo de referencia de red genérico IEEE 802.16.

La Figura 23 ilustra un modelo de referencia de red simplificado IEEE 802.16.

Múltiples estaciones podrían estar enlazadas a una BS, una de las MS se comunica con la BS a través de la interfaz de aire usando una conexión primaria de administración, y una conexión básica o una conexión secundaria de administración. Los últimos tipos de conexión han sido reemplazados con nuevos tipos de conexión en el estándar 802.16m. [9]

#### Estructura de protocolos IEEE 802.16m

En este punto se examinará más a fondo los elementos funcionales de cada capa de protocolos y sus interacciones.

Las funciones de parte común de la sub capa MAC 802.16m se clasifican en grupo de control y administración del recurso de radio y grupo funcional de control de acceso al medio. Las funciones de plano de control y plano de datos también se clasifican de forma separada, permitiendo un método más organizado, eficiente y estructurado para la especificación de los servicios MAC en la especificación del estándar IEEE802.16m.

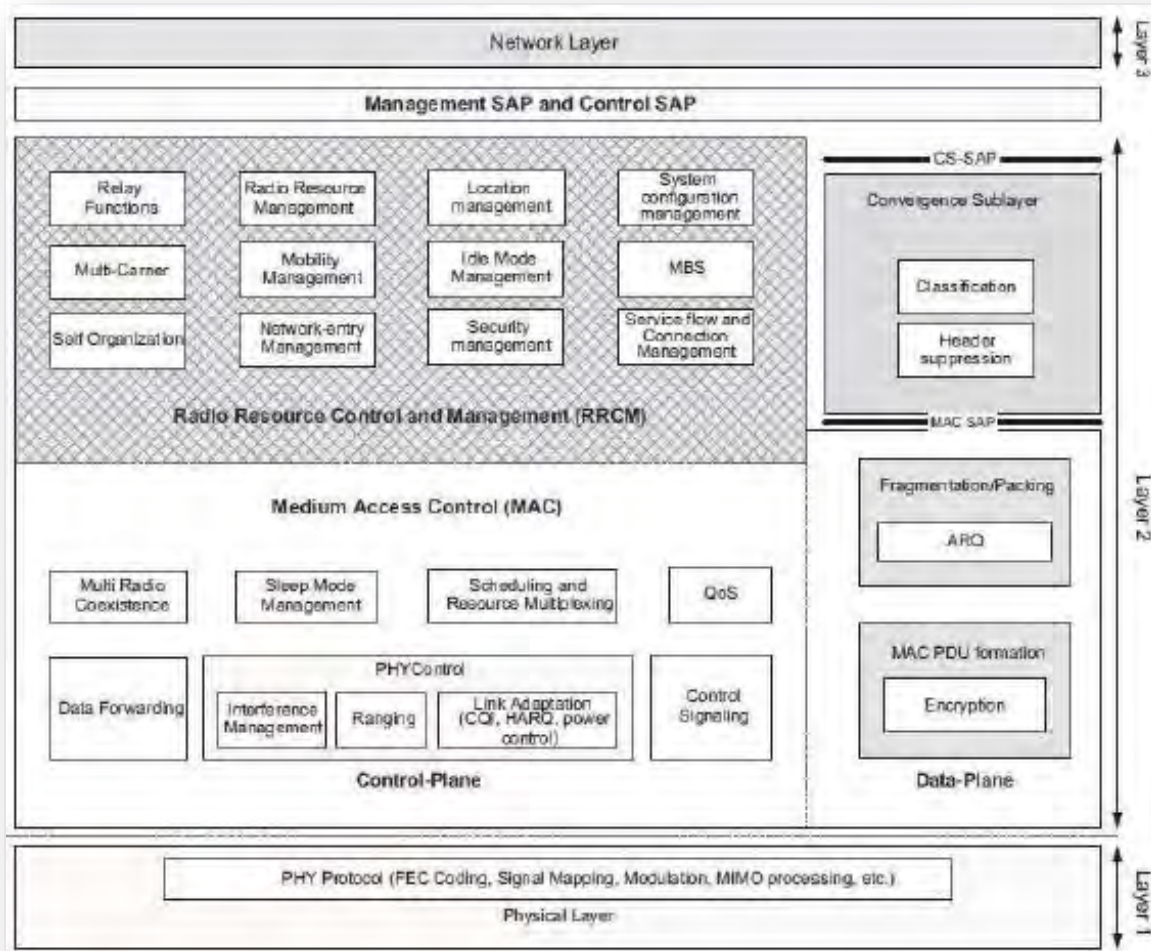


Figura 24 Stack de protocolos general IEEE 802.16m.

Como se muestra en la Figura 24, el grupo funcional de control y administración del recurso de radio comprende varios bloques funcionales que incluye:

1. El bloque de control del recurso de radio, que ajusta los parámetros de red relacionados con la carga de tráfico y también incluye las funciones de control de carga (balanceo de carga), control de admisión y control de interferencia;
2. El bloque de administración de movilidad escanea las BSs vecinas y decide si la MS debe o no ejecutar la operación del handover;
3. El bloque de gestión de entrada a la red controla la inicialización y los procedimientos de acceso, y genera mensajes de control durante dichas fases;

4. Bloque de administración de la ubicación soporta los servicios basados en la localización (LBS), genera mensajes incluyendo la información LBS y gestiona la operación de la actualización de la ubicación durante el modo inactivo;
5. Bloque de control de modo inactivo, que controla la operación en modo pasivo, y genera el mensaje de aviso de paging desde el controlador de paging en el núcleo de red;
6. El bloque de administración de seguridad ejecuta la gestión de las claves para proteger la comunicación;
7. Bloque de administración de configuración del sistema administra los parámetros de configuración del sistema, y genera mensajes broadcast de control tales como cabeceras súper trama;
8. El bloque de servicio Multicast y Broadcast (MBS) controla y genera mensajes y datos de control asociados con MBS;
9. El bloque de Flujo de Servicio y Gestión de Conexión asigna el Identificador de Estación (STID) y los Indicadores de Flujo (FIDs) durante los procedimientos de acceso/handover en la creación del flujo de servicio.

El grupo funcional de control de acceso al medio, sobre el plano de control, incluye bloques funcionales relacionados a la capa física y controles de enlace tales como:

1. Bloque de control PHY (de Capa Física), el cual ejecuta la señalización PHY como el timbrado, medida de la calidad del canal/la retroalimentación (CQI), y señalización HARQ ACK o NACK;
2. El bloque de señalización de control que genera los mensajes de ubicación de los recursos, tales como protocolo avanzado de acceso al medio, y puede comunicarse con el bloque de planificación para poder operar apropiadamente de acuerdo al período de hibernación;
3. Bloque de Calidad de Servicio, que realiza el control de velocidad basado en los parámetros de entrada del QoS desde la función de gestión para cada conexión;
4. Bloque de Planificación y recurso de Multiplexación, programa y multiplexa los paquetes en base a las propiedades de las conexiones.

El grupo funcional MAC en el plano de datos incluyen bloques funcionales tales como:

1. Bloque de Fragmentación/empaquetamiento, que realiza la fragmentación o empaquetamiento de las MAC SDUs (MSDU) en base a la entrada desde el bloque de planificación y recurso de multiplexación;
2. El bloque de Petición de Repetición Automática ejecuta la función MAC ARQ. Para conexiones ARQ-habilitadas, un bloque ARQ se genera a partir de un MSDU fragmentado o empaquetado del mismo flujo y secuencialmente numerado;
3. Bloque de protocolo MAC de formación de la unidad de datos construye MAC PDU (MPDU) de tal forma que la BS/MS pueda transmitir tráfico de usuario o mensajes de control dentro de canales PHY.

La estructura de protocolos IEEE 802.16m es similar a la de IEEE 802.16, con algunos bloques funcionales adicionales en el plano de control para nuevas características incluyendo las siguientes:

1. Funciones de repetición que habilitan las funcionalidades de repetición y enrutamiento de paquetes en redes relay;
2. Funciones de auto-organización y auto-optimización;
3. Las funciones multi-portadora habilitan el control y operación de un número de portadoras RF adyacentes y no-adyacentes (es decir, operación virtual en banda ancha) en el que las portadoras RF pueden ser asignadas a servicios unicast y/o multicast y broadcast. Una instanciación MAC será usada para controlar varias capas físicas. El terminal móvil no tiene que soportar la operación multi-portadora. Sin embargo, si el dispositivo soporta la operación multi-portadora, podría recibir los canales de control, señalización, broadcast y sincronización a través de una portadora primaria, y asignaciones (o servicios) de tráfico a través de portadoras secundarias;
4. Funciones de coexistencia multi-radio en IEEE802.16m habilitan la MS para generar mensajes de control MAC para poder reportar información en sus actividades de radio combinadas, y habilitar la BS para generar mensajes de control MAC para responder con las acciones apropiadas para soportar la operación de coexistencia multi-radio. Además, el bloque de coexistencia multi-radio en la BS se comunica con el bloque funcional de planificación para asistir apropiadamente con la programación de la MS de acuerdo a las actividades de coexistencia reportadas. La Figura 25 muestra un modelo genérico de coexistencia multi-radio para IEEE 802.16m.

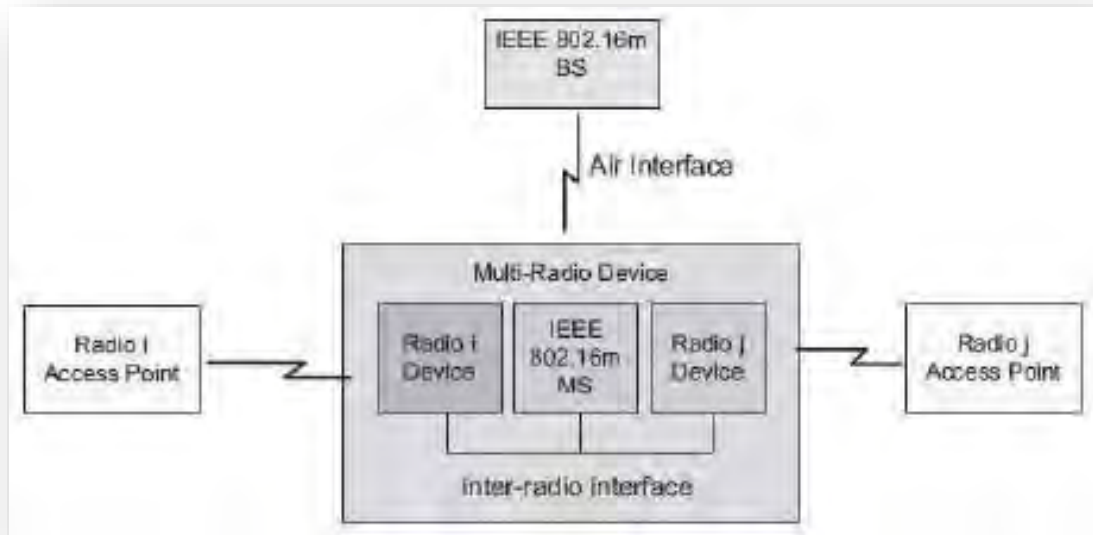


Figura 25 Un modelo genérico de coexistencia multi-radio.

La función de coexistencia multi-radio es independiente del modo de operación de hibernación, para habilitar la eficiencia de potencia óptima con un nivel alto de soporte de coexistencia. Sin embargo, cuando el modo de hibernación provee suficiente soporte de coexistencia combinado, la función de coexistencia multi-radio podría no ser usada;

5. Las funciones de gestión de la interferencia son utilizadas para administrar los efectos de interferencia inter-celda/sector. Los procedimientos incluyen funciones de capa MAC (como los reportes de medida/valoración de la interferencia a través de señalización MAC y mitigación de interferencia con el reúso de programación y flexibilidad de frecuencia), y funciones PHY (control de potencia de transmisión, randomización de inferencia, cancelación de interferencia, medición de la interferencia). Las funciones de coordinación inter-BS coordinan la operación de múltiples estaciones base al intercambiar información acerca de las estadísticas de interferencia entre estaciones base a través de señalización del núcleo de red. [9]

## Estructura de protocolos para soporte de operación multi-portadora

La estructura genérica de protocolos para el soporte de operación multi-portadora se ilustra en la Figura 26.

Una instancia MAC controla un número de capas físicas a lo largo de múltiples bandas de frecuencia. Algunos mensajes MAC que se transmiten sobre una portadora RF también pueden aplicar para otras portadoras RF.

Los canales RF podrían ser de diferentes anchos de banda (como 5, 10 y 20 MHz), y ser contiguos o no en frecuencia. Los canales RF podrían soportar diferentes esquemas de duplexación, como el modo por duplexación por división de frecuencia (FDD), por duplexación por división de tiempo (TDD) o una combinación de portadoras RF multicast y/o unicast.

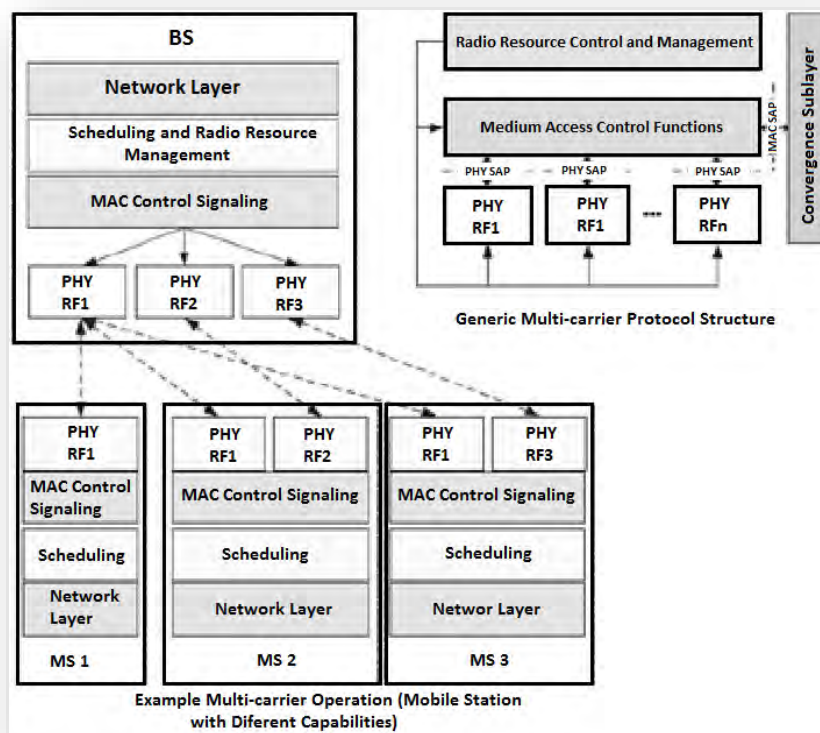


Figura 26 Operación multi-portadora utilizando una instancia MAC simple.

Como se muestra en la Figura 26, la entidad MAC puede proveer servicios simultáneos a estaciones móviles con diferentes capacidades de ancho de banda; tales como operación sobre un canal RF en un tiempo, o combinación a lo largo de bandas contiguas o no contiguas de frecuencia. [9]

## 2. Dispositivos para implementar ITS

A continuación se detallan los principales dispositivos que actualmente han sido diseñados para implementar ITS. Actualmente existen diversas compañías que buscan entrar en el ramo automotriz, de seguridad de transporte, etc. Los productos han sido elegidos en base a la siguiente metodología:

1. Investigación de los productos más utilizados para implementar sistemas ITS.
2. Se realizó una clasificación de productos y sus compañías que los desarrollan.
3. Se eligió a las 3 compañías más sobresalientes, se procedió a elegir los productos como más impacto comercial que cada empresa proporciona productos que actualmente estén siendo altamente utilizados.
4. Se describieron las principales características de los dispositivos encontrados.



## 2.1 El TS3304 transponder (vendedor Kapsch)

El TS3304 transponder es un ligero y compacto modelo de la serie TS3300 de transpondedores (transponder). Exhibe capacidades de lectura/escritura, completa seguridad AES 128 de bits, 4 Kb de datos de usuario protegida y una estructura flexible de comandos, con facilidades de aplicación en un ambiente interoperable. Está diseñado para una variedad de sistemas en línea incluyendo tolling (peaje) de alta velocidad. El TS3304 es compatible con IEEE 802.11p y estándares 1609 para WAVE y ETC. El TS3304 funciona mediante una batería de litio interna, la cual tiene un tiempo de vida máximo de 6 años bajo uso en condiciones normales. [10]

Detalles:

- Compatible con especificaciones IEEE 802.11p
- Compatible con especificaciones 1609-0, -2, -3, -4 y -11
- Autenticación mutua de AES 128 bits para resistir spoofing
- Declaración automática usando botones y LEDs
- Feedback al usuario mediante tonos configurables
- Batería de 6 años



*Figura 27 Diseño TS3304 transponder.*

Tabla 2 Datos técnicos del TS3304 transponder

|                        |   |
|------------------------|---|
| Comunicación Wave      | IEEE 802.11p<br>IEEE 1609-0, -2, -3, -4 y -11           |
| Memoria de usuario     | 4 Kbytes, acceso protegido por seguridad de AES 128 bit |
| Dimensión              | 70mm x 45mm x 25mm                                      |
| Peso                   | 45g   |
| Fuente de alimentación | Batería de lithium de 3V, 6 años de vida                |

## 2.2 TS3306 V2X (vendedor Kapsch)

El TS3306 está diseñado para los DSRC (Dedicated Short Range Communication /Comunicación de Corta Distancia Dedicada) de 5.9 GHz. Soporta tanto comunicación vehículo a vehículo como comunicación vehículo a RSU.

Este dispositivo es de fácil instalación y tiene una fácil interfaz de usuario cómoda ya que puede conectarse a una tableta o smartphone vía bluetooth. Proporciona mensajes de seguridad sobre el recorrido, consejos de viaje, e información de consulta adicional pueden ser vistos desde una aplicación corriendo en la tableta.

### *Estándares*

TS3306 implementa protocolos estándar incluyendo IEEE 802.11, SAE J2735, ETSI ITS-G5 y IEEE WAVE.

### *Posicionamiento GPS*

Cuenta con un GPS incorporado que permite un posicionamiento preciso del vehículo. Información de posicionamiento es transmitida a otros vehículos vía 5.9 GHz de conexión inalámbrica. Mensajes de seguridad y tráfico son recibidos por el usuario solo en áreas donde son relevantes/de importancia a éste.

### *Seguridad de datos*

TS3306 soporta over-the-air security incluyendo encriptación y mensaje de signos digitales. Esta seguridad es aplicable en caso de requisición por el usuario.

### *Interfaz flexible*

Además del bluetooth, el TS3306 también soporta USB y opcionalmente puede expandir la versatilidad de los dispositivos. [10]

### *Detalles*

- Compatible con estándares ETSI ITS-G5 y IEEE WZVE
- Interfaz bluetooth con smartphones
- GPS interno
- Objetivos de seguridad y uso móvil de V2X

### Europa

- Advertencias en camino/trabajo en carretera
- Señales de luz de tráfico en velocidad y tiempos óptimos
- Información al vehículo
- Advertencias de clima
- Mensajes de estado y actualizaciones de rutina
- Información de retraso de vuelo

### América del norte

- Inspección de vehículos comerciales
- Pago electrónico y control de acceso
- Señales de tránsito prioritarias
- Información de viajeros (formato SAE J2735)
- Aplicaciones para seguridad del piloto US DoT



*Figura 28 Diseño del TS3306.*

Tabla 3 Datos técnicos del TS3306 V2X

|                        |   |
|------------------------|---|
| Ficha Técnica          |   |
| Estándar de protocolos | IEEE 802.11p, SAE J2735, estándares ETSI ITS-G5, estándares IEEE WAVE.                                  |
| Dimensiones            | 3.15 x 2.36 x 1.18 pulgadas   |
| Peso                   | 2.82 oz   |
| Interfaces             | DSRC interno y antenas GPS, antenas DSRC externas opcionales, bluetooth, tarjeta MicroSD, interface USB |
| Comunicación           | GPS integrado   |

## 2.3 OPS-1995 On board unit programming station (vendedor Kapsch)

### *Vista general del sistema*

Un OBU (On Board Unit) necesita ser programado con datos técnicos específicos para usarse en un sistema de recaudación de peaje.

El OPS-1995 es un dispositivo compacto de comunicación para intercambio de datos entre la PC del punto de distribución y un OBU, mediante el estándar DSRC TC 276, los datos entre el OPS-1995 y el OBU son intercambiados mediante una interfaz DSRC, que cumple con los estándares CEN para DSRC y EFC, así como las especificaciones GSS usadas por las antena dedicada DSRC.

La comunicación DSRC es optimizada en dos modos de operación: el modo personalizado en el cual el OPS-1995 recibe la información de la computadora y en un link DSRC, el cual trasmite la información a un nuevo o previo OBU personalizado. Si no hay comunicación, el OPS cambia a modo de espera, en el cual el link DSRC permanece inactivo y cerrado (sin transmisión de radio frecuencia).

Diseñado para ser usado en un ambiente de oficina, el OPS 1995 es un dispositivo compacto que usa conexión USB de alta velocidad para intercambio de datos y fuente de poder. También puede ser conectado a una fuente de poder externa.

En un intento de facilitar el uso, el OPS-1995 cuenta con un LED arriba indicando las diferentes etapas funcionales mediante diferentes colores: listo, personalización y error; y un defecto de presencia de objetos colocado arriba del dispositivo, el cual permite facilitar la colocación del OBU para su detección.

Para su seguridad y decodificación, manipulación de contraseñas es realizada mediante una red o lector de tarjetas SAM conectada a la PC o punto de distribución. [10]

### Detalles

- Dispositivo de fácil uso; puede ser usado con una mano
- Suficientemente pequeño para ser colocado en escritorios
- No cuenta con partes móviles
- Fácil de limpiar
- Conexión USB para intercambio de datos y fuente de poder
- Tamaño máximo del OBUs 75 x 120 mm (ancho x largo)
- Detector de objetos en su cima

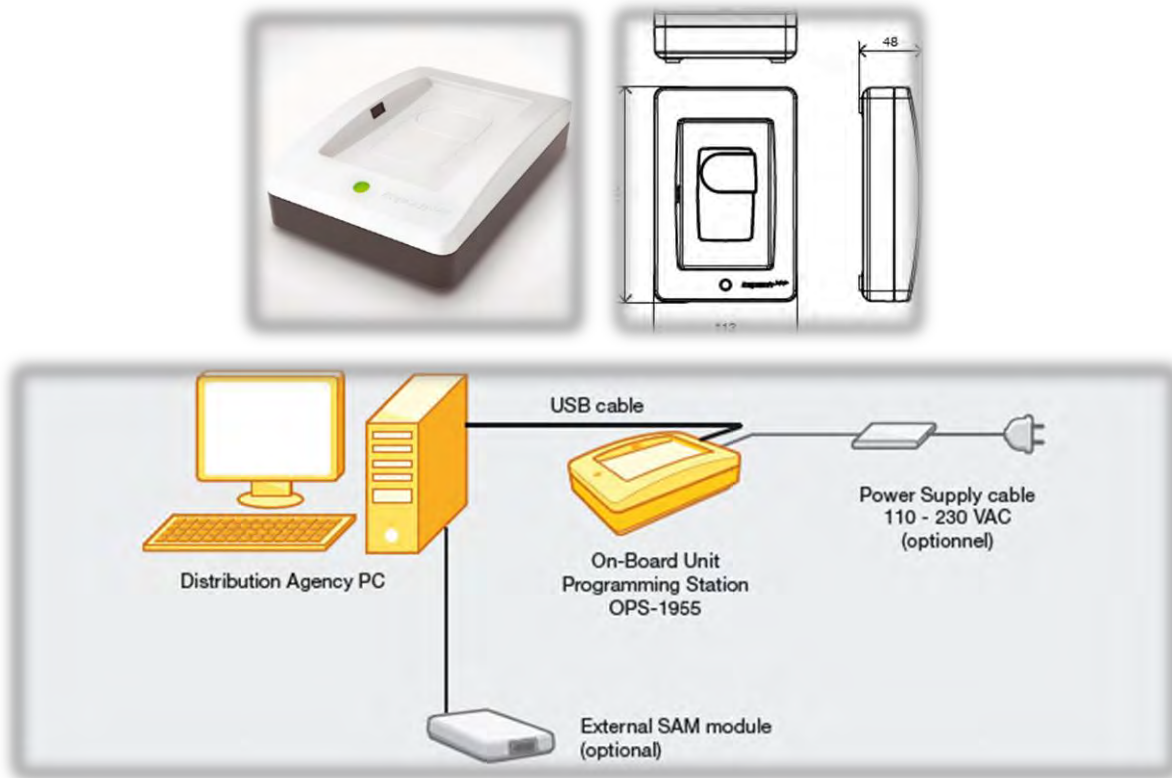


Figura 29 Diseño e infraestructura del On Board Unit.

Tabla 4 Datos técnicos del OPS-1995 On board unit programming station

|                     |  |
|---------------------|--|
| Comunicación DSRC   | 12253 en capa física (clase C), 12795 en capa de enlace de datos, 12834 en capa de aplicación, 13372 perfil DSRC, GSS (especificación global para corto alcance de comunicación) |
| Frecuencia          | 5.7975 GHz – 5.8025 GHz, 5.8075 GHz – 5.8125 GHz.  |
| Interface USB       | USB 2.0 máxima velocidad.  |
| Driver de interface | Windows XP, Windows 2000   |
| Peso                | 500g   |
| Dimensiones         | 170 x 113 x 48 mm  |

## 2.4 Access transceiver estacionamiento y acceso (Parking and Access) (vendedor Kapsch)

Kapsch access transceiver TRX-1x21-A funciona como un dispositivo estacionario de comunicación entre los transpondedores DSRC de los vehículos y un sistema de control de acceso. Su función principal es la identificación automática y reporta la identidad y contenido del OBU o transpondedor (TRP) hacia la computadora host. Este host (computadora) es parte del sistema de control de acceso y controla todos los periféricos, aso como barreras, sensores de detección de vehículos así como los access transceiver.

La interfaz estándar y parámetros configurables aseguran una instalación segura con nuevos y ya existentes sistemas de seguridad.

### *Detalles*

- Fácil implementación de diferentes sistemas de acceso
- Software abierto para fácil adaptación de parte del usuario
- Software configurable para parámetros DSRC
- Ethernet e interfaz RS485/RS422 (RS232 con un convertidor externo)
- Resistente al clima, robusto y compacto adjunto IP67
- Seguridad de alto nivel
- Estándares compatibles a DSRC de acuerdo a CEN TC278
- Inter operatividad con CEN/DSRC compatible con equipo de diferentes manufacturación
- Múltiples aplicaciones DSRC y soporte de vendedores OBU/TRP

### *Zona de comunicación*

El Kapsch transceiver realiza una transacción con el OBU/TRP en la zona de comunicación. El tamaño de la zona depende de la altura de la instalación, la posición del transceiver, las características de la antena y del OBU/TSP, así como los parámetros DSRC configurados mediante el software. Dos diferentes zonas de comunicación son designadas para garantizar un ambiente de instalación óptimo y los requisitos del sistema. [10]

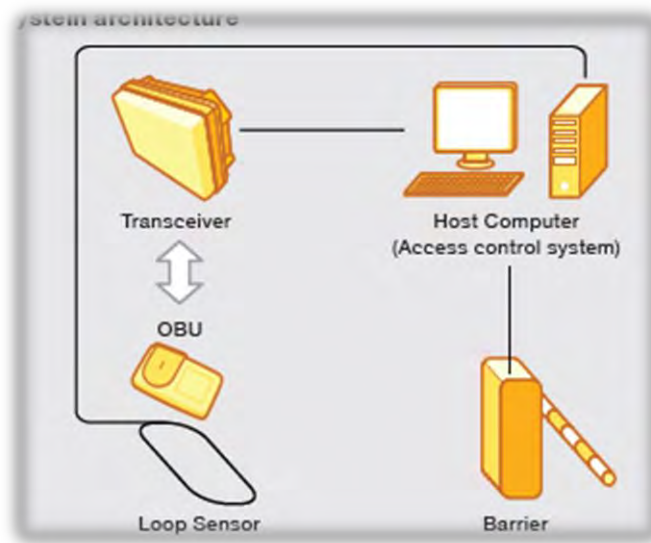
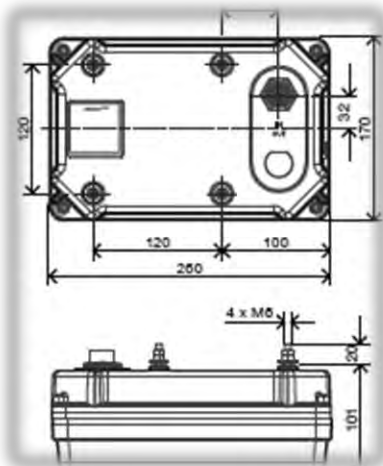


Figura 30 Diseño e infraestructura del access transceiver.



Tabla 5 Datos técnicos del access transceiver

|                              |  |
|------------------------------|--|
| Dimensiones                  | TRX-1221-A: 260 x 170 x 88 mm<br>TRX-1321-A: 260 x 170 x 101 mm  |
| Peso                         | 3 kg   |
| Interface humano-máquina     | TRX-1321-A/1221-A, interface serial RS422/RS485 y Ethernet/TCP/IP.<br>Protocolos soportados: TCP/IP, BLL4, WIEGAND, EMI.   |
| Características de la antena | Polarización de la antena: left hand circular.<br>OBU Truck: TRX-1221-A anchura 3 m, longitud 3 m (elíptica), TRX-1321-A anchura 3 m, longitud 3 m (elíptica).<br><br>OBU Car: TRX-1221-A anchura 4 m, longitud 3 m (elíptica), TRX-1321-A anchura 3 m, longitud 3 m (elíptica). |

## 2.5 TRX-9450 5.9 GHz WAVE tolling transceiver (vendedor Kapsch)

El concepto de diseño y de tecnologías básicas deriva de extensas experiencias en desarrollo y producción de productos microwave dedicados a aplicaciones tolling en single-lane (LS), así como en ambientes de tolling en línea abierta, basado en conceptos de flujo libre en multi línea.

TRX-9450 transceivers son parte de la serie de dispositivos de comunicación Kapsch TrafficComs 9000 destinados para aplicaciones DSRC 5.9 GHz. Son diseñados y optimizados para ambientes pesados/rudos en carretera.



*Figura 31 Diseño del TRX-9450 transceivers.*

### *Radio WAVE y Antena Array*

La unidad de radio se encuentra con la emisión de máscara de espectro Clase C. Arrays de antena internos proveen cobertura en una zona de aplicación específica.

La sección de radio permite flexibilidad de parámetros para adaptarse a las condiciones de sitios en específico. Una antena de diseño patentada kapsch permite localización en doble dimensión de fuentes radio en la zona de comunicación.

### *Control del host*

El poderoso controlador micro maneja la comunicación con el dispositivo a bordo del vehículo utilizando comunicación IEEE 1609 WAVE e intercambia transacciones con el sistema host. A si mismo maneja autenticación y encriptación de seguridad requerida para aplicaciones toll.

### *Interfaz y protección de circuitos*

Toda comunicación de señal recibida y enviada es protegidas por un circuito de protección multinivel que provee supresión de tensión, protección de voltaje y protección de polaridad reversa.

### *Suministro de poder DC/DC*

El convertidor DC/DC de alta eficiencia suministra al dispositivo de cualquier fuente industrial 24/48VCD. [10]

*Tabla 6 Datos técnicos del TRX-9450*

|                     |  |
|---------------------|--|
| Dimensiones         | 10.3 x 6.7 x 3.4 pulgadas                              |
| Banda de frecuencia | 5.850-5.925 GHz, canales 172, 174, 178, 180, 182, 184. |
| Seguridad           | 3DES, AES, ECC (opcional)                              |
| Interface           | Multi canal RS485 IBB – Inter Beacon Bus               |
| Bus                 | 10/100 Ethernet opcional                               |
| Protocolo estándar  | IEEE 802.11p, IEEE 1609                                |

## 2.6 MTX-9450 V2X DSRC RTS ITS (Roadside ITS Station) (vendedor Kapsch)

El concepto de diseño y de tecnologías básicas deriva de extensas experiencias en desarrollo y producción de productos microwave dedicados a aplicaciones tolling. MTX-9450 transceivers son parte de la serie de dispositivos de comunicación Kapsch TrafficComs 9000 destinados para aplicaciones DSRC 5.9 GHz. Son diseñados y optimizados para ambientes pesados/rudos en carretera.

### *Selección de radio 5.9 GHz y antena Array*

MTX-9450 provee dos conexiones de antena para la conexión de antenas omnidireccionales externas. Estas serían normalmente usadas para aplicaciones estándar C-ITS requiriendo cobertura de radio en todas direcciones. En adición el array de antena incorporado provee cobertura de radio en una zona de comunicación específica. Esta sección de radio permite parámetros flexibles para adaptarse a las condiciones de algún sitio en específico.

### *Control del Host*

El poderoso controlador micro maneja comunicaciones con estaciones ITS vehiculares y cambia transacciones con el sistema host. A si mismo maneja autenticación y encriptación de seguridad en cooperación a un SAM interno. El sistema operativo del transceiver está basado en Linux.

### *Diseño mecánico*

Todos los componentes antes mencionados son integrados con una capa de aluminio estable.

El acabado exterior de todas las partes metálicas resiste todo estrés ambiental definido es los estándares relacionados. [10]

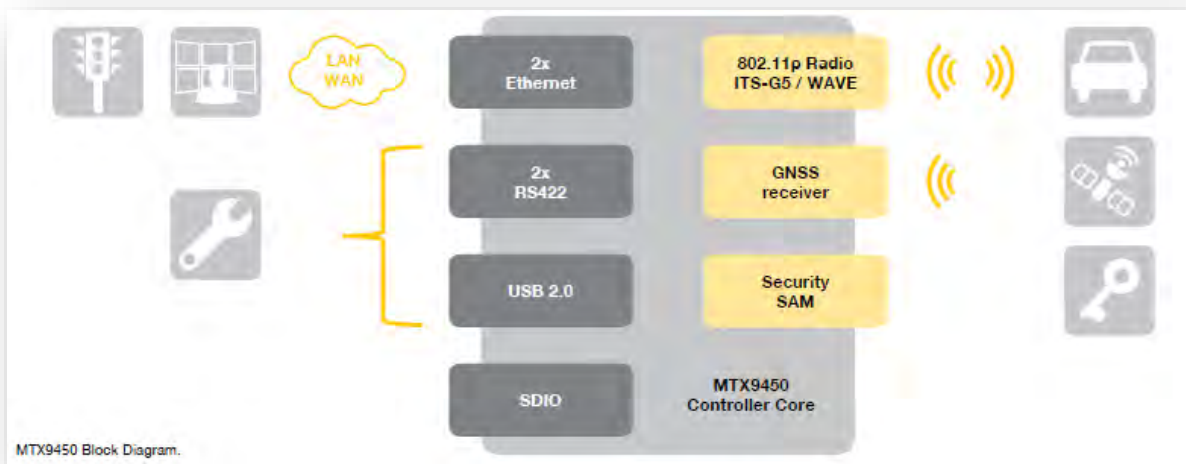


Figura 32 Diseño del MTX-9450 V2X DSRC RTS ITS.

Tabla 7 Datos técnicos del MTX-9450 V2X DSRC RTS ITS

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Estándares de protocolo | <ul style="list-style-type: none"> <li>• IEEE 802.11p</li> <li>• SAE J2735</li> <li>• Estándar ETSI ITS-G5</li> <li>• Estándar IEEE WAVE</li> </ul>  |
| Dimensión               | 420 x 200 x 86 mm  |
| Peso                    | 7 kg   |
| Antena                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Direccionada</li> <li>• Conector tipo N vía externa</li> </ul>  |
| Interface               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 x 10/100 Ethernet</li> <li>• 2 x serial RS422</li> <li>• 2 x conectores de antena externos tipo hembra</li> <li>• 1 x GPS externo con conector tipo hembra</li> <li>• USB 2.0</li> <li>• Módulo de acceso seguro</li> </ul> |
| Seguridad               | 3DES, AES, ECC (en respuesta)  |

## 2.7 OMR-9734 on board unit mobile reader (vendedor Kapsch)

El OMR-9734 es un dispositivo de mano compacto que se comunica inalámbricamente con protocolos de transpondedor DSRC 5.9 GHz hasta un rango de 10 pies. El protocolo 5.9 GHz permite grados de seguridad y encriptación de comunicación entre el lector de mano y el transpondedor.

El lector de mano es usado para leer datos del transpondedor, y puede ser usado para revisar la información almacenada en el transpondedor.

El OMR-9734 tiene una pantalla a color estable y sensible al tacto, con HVGA y resolución de 640 por 240 pixeles y ratio de 2.67:1.

Códigos de barras también pueden ser leídos mediante el lector incorporado y mostrados en la interfaz hombre-máquina (HMI). El formato de código de barras puede ser definido específicamente para un soporte lector multi producto. El lector móvil también provee un menú simple de usar permitiendo al operador del dispositivo el realizar pruebas en los transpondedores. El lector puede realizar ciertas funciones sin la necesidad de conectarse a algún sistema host o base de datos.

Independientemente, el operador de sistema pudiera considerar integrar la interfaz GSM/GPRS del lector móvil con su oficina, con el fin de tener acceso de datos recientes y en vivo. [10]

### Detalles

- Acceso estable y portátil a los datos del transpondedor
- Lector de barras incorporado
- Lee señales de transpondedores hasta una distancia máxima de 10 pies
- Seguridad sobre 5.9 GHz
- Simple y GUI amigable al usuario
- Inter operatividad con equipo basado en WAVE 5.9 GHz DSRC de otras manufactureras
- Software con interfaz de sencillo manejo para la personalización del usuario
- Resistente a la lluvia



Figura 33 Diseño del OMR-9734.

Tabla 8 Datos técnicos del OMR-9734

|                   |   |
|-------------------|---|
| Protocolos        | IEEE 802.11p<br>IEEE 1609                               |
| Memoria           | 1 Gb de memoria de almacenamiento<br>128 de memoria RAM |
| Seguridad         | Encriptación DES, 3DES, AES                             |
| Dimensión         | 230 x 94 x 70 mm  |
| Peso              | 730 g   |
| Sistema Operativo | Windows CE Pro 5.0                                      |



## 2.8 Cameleon ITS advanced transportation management (vendedor FLIR)

### *Funciones clave*

- Escritorio configurable para espacios de trabajo personalizado
- Puntos personalizables permite a los iconos representar dispositivos instalados, alarmas y eventos automáticos.
- Control automático avanzado para tareas comunes asegura que las condiciones correctas existan antes de que la acción tome lugar.
- TRENDING permite al usuario analizar patrones de actividad sobre el tiempo y hacer decisiones acorde a estas.
- Seguridad del operador es asegurada mediante una jerarquía de permisos granular.
- Prioridades son enlistadas mediante una arbitrariedad construida. [11]



*Figura 34 Interface de Cameleon ITS.*

Tabla 9 Datos técnicos de Cameleon ITS

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| VIDEO                                 |   |
| IP Híbrida/Video Análogo              | Vista y control simultaneo tanto del IP y del video análogo mediante una simple interfaz.   |
| Ventanas multipropósito               | Ventanas son herramientas de control en vivo y controlan video, sitios de mapa, pc remotas o exploradores de internet.  |
| Control PTZ fluido                    | El video es cargado mediando una interfaz arrastra-y-suelta, las funciones de la cámara son controladas mediante el mouse.  |
| Video archivado                       | Interfaz común que permite la extracción de archivos de video desde grabadores de video en la red, DVRs y VCRs.   |
| Asociación de cámaras                 | Automáticamente carga videos archivados asociados con una alarma.   |
| Captura de imagen FTP                 | Encriptable, permite cargas automáticas a la red.   |
| Control externo de pantalla           | Sencillo acceso drag-and-drop a pantallas externas y pantallas en muro.   |
| ITS                                   |   |
| Control dinámico de mensajes en signo | Interfaces con signos de diferentes fabricantes. Controla el nivel de mensajes, librerías, broadcast a multiples signos, permite/excluye listas de palabras, grupos de signos y una interfaz XML a sistemas externos. |
| Control de sistemas en línea          | Construye soporte reversible para líneas HOV, sistemas de contraflujo, sistemas de manejo de eventos, y peligros de   |

|                            |  |
|----------------------------|--|
|                            | congestión de sistema.   |
| Centro a centro            | Funcionalidad para compartir recursos con otras jurisdicciones, mantiene completo control sobre el sistema local.                        |
| Soporte NTCIP              | Soporte completo para el control de cámaras y signos NTCIP.  |
| Drivers de dispositivo ITS | Disponible para detectar estaciones, puertas de control de tráfico, señales, signos en blanco y más.                                     |
| Positional Awareness       | Monitorea los movimientos de recursos activados con GPS en tiempo real, activo la cámara cuando entra en zonas definidas por el usuario. |

## 2.9 LocoMate Me (vendedor ARADA SYSTEM)

Puntos novedosos del producto – El primer dispositivo móvil DSRC

Una integración de GPS, DSRC, y bluetooth, LocoMate ME es ideal para telemática y aplicaciones V2X permitiendo a vehículos en carretera hablar entre sí o con otros en otra unidad en el camino. Es totalmente compatible con el certificado Omni-Airs y es usado mundialmente incluyendo el Department of transportation safety pilot en Ann Arbor Michigan.

Las aplicaciones del producto incluyen: Evitar colisiones, manejo de emergencia del vehículo, cruce de trenes, aplicaciones de comercio.

Viene integrado con un GPS , bluetooth y 802.11p. [12]



Figura 35 Diseño del LocoMATE Me.

Tabla 10 Datos técnicos del LocoMATE Me

|                     |   |
|---------------------|---|
| Protocolos WAVE     | 802.11p (WAVE), IEEE 1609.2, IEEE 1609.3, IEEE 1609.4, SAE J2735, VAD/CAMP                        |
| Frecuencia          | 5.85-5.925 GHz, 5.7-5.8 GHz (Europa)  |
| Bluetooth           | Comunicación con el smartphone vía bluetooth.   |
| Plataforma          | Compatible con Linux/Unix, SDK con librerías C, soporte en aplicaciones Android para Smartphones. |
| Memoria Flash       | 16 mb de memoria Flash, 64 mb SDRAM   |
| Comunicación de Red | Wired y DSRC, configuración con IPV4, configuración con IPV6, soporte Sit Tunnel                  |

## 2.10 LocoMate OBU (vendedor ARADA SYSTEM)

### *Puntos fuertes*

Una integración de GPS y wifi, LocoMate OBU es ideal para aplicaciones de telemática permitiendo a los vehículos en carretera el hablar entre sí o con otra unidad en el camino. Es totalmente funcional con la certificación Omni-Air's.

Las aplicaciones del producto incluyen Evitar colisiones, manejo de emergencia del vehículo, cruce de trenes, aplicaciones de comercio.

LocoMate OBU viene con un compacto diseño y con un completo DSRC WAVE software y aplicaciones de integración para Smartphone para facilitar interfaz con las persona. Este viene integrando con un GPS y bluetooth. [12]



*Figura 36 Diseño del LocoMate OBU.*

Tabla 11 Datos técnicos del LocoMate OBU

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| Protocolos WAVE                  | 802.11p (WAVE), IEEE 1609.2, IEEE 1609.3, IEEE 1609.4, SAE J2735, VAD/CAMP  |
| Frecuencia                       | 5.85-5.925 GHz, 5.7-5.8 GHz (Europa)  |
| Bluetooth                        | OBU - Comunicación con el Smartphone vía bluetooth.   |
| Plataforma                       | Compatible con Linux/Unix, SDK con librerías C, soporte en aplicaciones Android para Smartphones.   |
| Memoria fash                     | 16 mb de memoria Flash, 64 mb SDRAM   |
| Comunicación de red              | Wired y DSRC, configuración con IPV4, configuración con IPV6, soporte Sit Tunnel  |
| Kit de software de configuración | Herramientas basadas en Linux, librería de aplicaciones, guía del programador, guía del usuario, librería SAE J2735 ASN, incluye extracción de datos GPS con una sencilla aplicación. |

## 2.11 Road Side Unit con adjunto NEMA (vendedor ARADA SYSTEM)

### *Puntos*

Un conjunto de GPS y WI FI, LocoMate RSU es ideal para aplicaciones telemáticas, permitiendo a vehículos en carretera el hablar entre sí a algún otro RSU. El grado industrial especial NEMA provee un despliegue especial para las RSU en espacios exteriores.

Es totalmente compatible con la certificación Omni-Air's.

Las aplicaciones del producto incluyen: Coordinación de señales, manejo de vehículo de emergencia, cruce de trenes, tolling, MESH y CLOUD.

LocoMate RSU viene en un adjunto NEMA para exteriores industriales, permitiendo despliegue completo con un software DSRC WAVE. Este viene integrado con GPS, bluetooth, y 802.11 radios de alto poder. [12]



*Figura 37 Diseño del LocoMate RSU.*



Tabla 12 Datos técnicos del LocoMate RSU

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| Protocolos WAVE                  | 802.11p (WAVE), IEEE 1609.2, IEEE 1609.3, IEEE 1609.4, SAE J2735, VAD/CAMP  |
| Frecuencia                       | 5.85-5.925 GHz, 5.7-5.8 GHz (Europa)  |
| Configuración de base de datos   | CLI, respaldo de archivos de base de datos, restauración.   |
| Plataforma                       | Compatible con Linux/Unix, SDK con librerías C, soporte en aplicaciones Android para Smartphones.   |
| Memoria flash                    | 16 mb de memoria Flash, 64 mb SDRAM   |
| Comunicación de red              | Wired y DSRC, configuración con IPV4, configuración con IPV6, soporte Sit Tunnel  |
| Kit de software de configuración | Herramientas basadas en Linux, librería de aplicaciones, guía del programador, guía del usuario, librería SAE J2735 ASN, incluye extracción de datos GPS con una sencilla aplicación. |

### 3. Comentarios finales

Podemos concluir que los sistemas de transporte inteligente son el futuro de las comunicaciones inalámbricas entre vehículos. Con la información recopilada se logró comprender de una manera general el funcionamiento de los ITS a grandes rasgos ya que se obtuvo información necesaria sobre los diversos entornos en los que esta tecnología trabaja y en que situaciones es muy conveniente implementarla.

Hoy en día las personas buscamos formas de hacer que nuestro traslado en vehículos sea más seguro por lo que gracias a esta investigación pudimos conocer nuevas tecnologías que nos permiten trasladarnos de manera segura o con menos riesgo de que ocurra un desperfecto, esto gracias a que existen productos que podemos adquirir para poder tener una experiencia de manejo más segura y fiable; además de que se logró conocer los nuevos protocolos utilizados en estos productos y todo aquello que permite establecer una mejor comunicación entre estos.

Para finalizar este trabajo monográfico podemos asegurar que los sistemas de transporte inteligente son una realidad y están al alcance de todos, lo único es que el usuario del siguiente paso para adquirir esta tecnología e implementarla en su vida diaria.

Desafortunadamente en México solamente tenemos información proveniente de los dispositivos GPS y con ayuda de otras aplicaciones disponibles en teléfonos celulares, es posible tener algunos de los beneficios de los ITS. Actualmente no se cuenta con una infraestructura completa que permita a dispositivos portables o incluidos en vehículos establecer comunicación al nivel de lo planteado por los ITS. Sin embargo, algunos vehículos como los creados por la compañía Volvo permiten establecer comunicación entre ellos y tener un cierto nivel de inteligencia para realizar la prevención de accidentes.

“Recuerden la seguridad depende de uno y con estas tecnologías emergentes esto es posible.”

## Referencias

- [1] J. M. M. O. y. G. A. M. Antoni Gabriel Caicedo Bastidas, «Evaluación del desempeño de redes 802.11p/WAVE en la transmisión de datos, voz y video IP,» *Revista Universitaria en Telecomunicaciones, Informática y Control*, vol. 1, nº 1, p. 11, Marzo 2012.
- [2] R. C. H. Juliana Andrea Gálvez Serna, Escritor, *Las Redes Inalámbricas Ad-Hoc En La Comunicación Vehicular*. [Performance].
- [3] I. ESPAÑA, «Los proyectos FRAME,» Sociedad de la Información de la Dirección General de la Comisión Europea, Febrero 2009. [En línea]. Available: [www.frame-online.net](http://www.frame-online.net). [Último acceso: 3 Abril 2015].
- [4] A. R. y. R. Welti, «Efecto Doppler para pulsos y su representación en el plano (x, t),» *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 31, nº 1, p. 7, 2009.
- [5] «Superación de los problemas asociados a la propagación multitrayecto: la modulación OFDM,» de *Proyecto de fin de carrera: estudios de un sistema CDMA-OFDM*.
- [6] M. A. V. S. Eduardo Ramón Cerdá, «¿Que es WAVE?».
- [7] J. M. S. Solórzano, «WiMAX Móvil,» Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Octubre del 2006.
- [8] M. W. D. & A. C. f. I. a. C. Sciences, «Aplicaciones y diseño de redes móviles WiMAX,» Ball State University. [En línea]. [Último acceso: 21 Marzo 2015].
- [9] F. A. T. Portero, «Estudio de WiMAX2 (IEEE 802.16m) y la factibilidad de implementación en el Ecuador,» Ecuador.
- [10] «Kapsch.net - Products,» [En línea]. Available: <http://www.kapsch.net/ktc/products>. [Último acceso: 16 Junio 2015].
- [11] «Intelligent Transportation Systems | FLIR Systems,» [En línea]. Available: <http://www.flir.com/traffic/content/?id=66601>. [Último acceso: 15 Junio 2015].
- [12] «Aradasystems,» [En línea]. Available: <http://www.aradasystems.com>. [Último acceso: 15 Junio 2015].

