

# Sistemas De Transporte Inteligentes

## Manual sobre comunicaciones móviles terrestres (incluido el acceso inalámbrico)

Volumen 4

Edición 2021





# SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTES

Manual sobre  
comunicaciones  
móviles terrestres  
(incluido el acceso inalámbrico)

Volumen 4  
(Edición 2021)



## EL SECTOR DE RADIOCOMUNICACIONES DE LA UIT

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

### **Para toda información sobre asuntos de radiocomunicaciones**

*Póngase en contacto con:*

UIT  
Oficina de Radiocomunicaciones  
Place des Nations  
CH-1211 Ginebra 20  
Suiza

Teléfono: +41 22 730 5800  
Fax: +41 22 730 5785  
Correo-e: [brmail@itu.int](mailto:brmail@itu.int)  
Web: [www.itu.int/itu-r](http://www.itu.int/itu-r)

### **Para solicitar las publicaciones de la UIT**

*No se admiten pedidos por teléfono. Sírvase enviarlos por fax o correo electrónico (e-mail).*

UIT  
División de Ventas y Comercialización  
Place des Nations  
CH-1211 Ginebra 20  
Suiza

**Fax: +41 22 730 5194**  
**Correo-e: [sales@itu.int](mailto:sales@itu.int)**

**La Librería electrónica de la UIT: [www.itu.int/publications](http://www.itu.int/publications)**

© UIT 2021

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

## Prefacio

Los sistemas de transporte inteligente (STI) se definen como sistemas que utilizan la combinación de ordenadores, comunicaciones, dispositivos de determinación de la posición y tecnologías de automatización para mejorar la seguridad, la gestión y la eficacia del transporte terrenal.

La edición de 2021 del cuarto volumen del Manual del UIT-R sobre comunicaciones móviles terrestres (incluido el acceso inalámbrico) sustituye a la edición de 2006.

La elaboración de este Manual en varios volúmenes se inició en el seno del UIT-R a finales de los años 90 para satisfacer la demanda cada vez mayor de los países en desarrollo de un manual sobre el estado actual de las tecnologías que cubren los diversos aspectos del servicio móvil terrestre; incluidas las tecnologías propiamente dichas y los sistemas.

Hasta la fecha se han publicado cinco volúmenes, a saber:

- Volumen 1 – Acceso inalámbrico fijo.
- Volumen 2 – Principios y enfoques de la evolución hacia las IMT-2000.
- Volumen 3 – Sistemas de despacho y de mensajería avanzados.
- Volumen 4 – Sistemas de transporte inteligentes.
- Volumen 5 – Despliegue de sistemas de acceso inalámbrico en banda ancha.

El objeto del Manual es ayudar en el proceso de adopción de decisiones en cuanto a la planificación, diseño e instalación de sistemas móviles terrestres inalámbricos, especialmente en los países en desarrollo. También se proporciona información adecuada que ayudará a formar a ingenieros y planificadores en los diferentes aspectos de la reglamentación, la planificación, el diseño y la instalación de estos sistemas.

En este volumen del Manual figura un resumen de la utilización de las comunicaciones inalámbricas en los STI, actuales y en desarrollo, en todo el mundo, incluida la arquitectura, los sistemas y las aplicaciones. Se trata de un sector en rápida evolución que aún se encuentra parcialmente en fase embrionaria. Este volumen es representativo del instante en que se elaboró y, por consiguiente, proporciona una descripción de las comunicaciones inalámbricas utilizadas en los STI en 2020.

El Volumen 4 (edición 2021) ha sido preparado por un grupo de expertos del Grupo de Trabajo 5A de Radiocomunicaciones. Deseo expresar mi sincero agradecimiento al Dr. Takahiro Yamazaki (Japón), Relator del Manual sobre comunicaciones móviles terrestres, al Dr. Hitoshi Yoshino (Japón), Presidente del GT 5A-5, al Dr. Satoshi (Sam) Oyama (Japón), Presidente del SGT-STI y al Dr. HyunSeo Oh (República de Corea) por su inestimable labor como editor de este volumen, así como a todos los expertos que han contribuido en la elaboración del Manual.

José M. Costa  
Presidente del Grupo de Trabajo 5A  
de Radiocomunicaciones  
Canadá



# ÍNDICE

	<i>Página</i>
Prefacio .....	iii
Capítulo 1 – Introducción .....	1
1.1 Objetivo y alcance del Manual sobre comunicaciones móviles terrestres .....	1
1.2 Organización y utilización del Volumen 4 .....	1
Capítulo 2 – Aplicaciones De Los STI .....	3
2.1 Introducción.....	3
2.2 Tipos de servicios STI.....	6
2.2.1 Recaudación electrónica de peajes .....	7
2.2.2 Seguridad vial y de vehículos .....	8
2.2.3 Llamada de emergencia .....	9
2.2.4 Servicio de información de tráfico .....	9
2.2.5 Conducción automatizada.....	10
2.3 Servicio STI cooperativo .....	11
2.3.1 Servicios P2X .....	11
2.3.2 Servicios V2X.....	12
Capítulo 3 – Arquitectura de comunicación y sistema STI .....	15
3.1 Arquitectura de sistema STI.....	15
3.1.1 Perspectiva empresarial .....	16
3.1.2 Perspectiva funcional.....	17
3.1.3 Perspectiva física .....	17
3.1.4 Perspectiva de comunicaciones .....	18
3.2 Arquitectura de comunicación STI.....	20
3.2.1 Sistema de comunicación STI .....	20
3.2.2 Red de comunicación STI.....	22

	<i>Página</i>
Capítulo 4 – Tecnologías radioeléctricas para sistemas STI.....	25
4.1 Comunicaciones de corto alcance especializadas (DSRC).....	25
4.1.1 Introducción.....	25
4.1.2 Configuración del sistema .....	25
4.1.3 Características técnicas .....	27
4.1.3.1 Antecedentes del sistema DSRC pasivo.....	27
4.1.3.2 DSRC en América .....	32
4.1.3.3 Antecedentes de la DSRC activa de Japón.....	32
4.1.3.4 DSRC en China .....	36
4.1.3.5 DSRC activa en Corea.....	37
4.1.4 Características de propagación radioeléctrica de DSRC .....	39
4.2 Radiocomunicación STI avanzada .....	40
4.2.1 Introducción.....	40
4.2.2 Configuración del sistema .....	42
4.2.3 Características técnicas .....	43
4.2.3.1 STI G5 en Europa.....	43
4.2.3.2 WAVE de América del Norte.....	46
4.2.3.3 ITS Connect de Japón.....	51
4.2.3.4 Tecnología de comunicación V2X en Corea.....	53
4.2.3.5 STI en Brasil.....	54
4.2.4 Características de propagación radioeléctrica .....	55
4.3 Comunicación V2X celular .....	56
4.3.1 Introducción.....	56
4.3.2 Configuración del sistema .....	56
4.3.3 Características técnicas .....	58
4.3.3.1 V2X LTE.....	61
4.3.3.2 V2X 5G .....	62
4.3.4 Características de la propagación radioeléctrica.....	62
4.4 Radiodifusión de zona amplia .....	62
4.4.1 Introducción.....	62
4.4.2 Configuración del sistema .....	63

	<i>Página</i>
4.4.3 Características técnicas .....	63
4.4.4 Características de la propagación radioeléctrica.....	63
4.5 Comunicación por ondas milimétricas .....	64
4.5.1 Introducción.....	64
4.5.2 Configuración del sistema .....	64
4.5.3 Características técnicas .....	64
4.5.4 Características de la propagación radioeléctrica.....	65
4.6 Radars de ondas milimétricas en vehículos y carreteras.....	66
4.6.1 Introducción.....	66
4.6.2 Configuración del sistema .....	67
4.6.3 Características técnicas .....	67
4.6.4 Características de la propagación radioeléctrica.....	72
Capítulo 5 – Normas .....	75
5.1 Norma DSRC.....	75
5.1.1 Norma mundial sobre DSRC .....	75
5.1.2 Norma DSRC en la Región 1 .....	75
5.1.3 Norma DSRC en la Región 2.....	76
5.1.4 Norma DSRC en la Región 3.....	76
5.2 Norma de radiocomunicaciones STI avanzadas .....	77
5.2.1 Norma G5 STI en la Región 1 .....	77
5.2.2 Norma WAVE en la Región 2 .....	79
5.2.3 Norma de radiocomunicaciones STI avanzadas en la Región 3 .....	79
5.3 Normas V2X celular.....	80
5.4 Normas de radiodifusión .....	82
5.5 Comunicación y radars en ondas milimétricas .....	83
5.5.1 Normas sobre radars en automóviles en ondas milimétricas de la UIT .....	83
5.5.2 Normas sobre radars en automóviles en ondas milimétricas en la Región 1 .....	83
5.5.3 Normas sobre radars en automóviles en ondas milimétricas en la Región 2 .....	84
5.5.4 Normas sobre radars en automóviles en ondas milimétricas en la Región 3 .....	84

	<i>Página</i>
Capítulo 6 – Utilización de frecuencias para aplicaciones STI .....	85
6.1 Utilización de frecuencias de DSRC .....	85
6.2 Utilización de frecuencias de las radiocomunicaciones STI avanzadas .....	86
6.3 Utilización de frecuencias de las redes celulares.....	87
6.4 Utilización de frecuencias de la radiodifusión .....	88
6.5 Utilización de frecuencias de radares en vehículos y en carretera en ondas milimétricas	88
Anexo A – Lista de acrónimos.....	89
Anexo B – Utilización de STI en algunos países.....	95
Anexo C – Publicaciones sobre STI .....	103
1 Generalidades .....	103
2 Publicaciones de la UIT.....	103
2.1 Recomendación de la CMR.....	103
2.2 Recomendaciones UIT-R.....	103
2.3 Informes UIT-R .....	103
3 Otras referencias de STI .....	104

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUCCIÓN**

#### **1.1 Objetivo y alcance del Manual sobre comunicaciones móviles terrestres**

El objetivo y alcance del Volumen 4 del Manual sobre comunicaciones móviles terrestres es proporcionar información general y actualizada sobre los sistemas de transporte inteligentes (STI). Básicamente, estos sistemas utilizan la combinación de ordenadores, comunicaciones, sistemas de determinación de la posición, y tecnologías de automatización para mejorar la seguridad, la gestión y la eficacia de los sistemas de transporte terrestres. Existen actualmente muchas aplicaciones de los STI que se discuten en este Manual, así como nuevas aplicaciones previstas para el futuro. La mayoría de las personas utilizan algún tipo de transporte en su vida diaria y, por consiguiente, una gran cantidad de usuarios se aprovechan de los beneficios aportados por los STI de manera cotidiana. Este volumen del Manual proporciona un resumen sobre la utilización de las comunicaciones inalámbricas en los sistemas de transporte inteligentes, actuales y en desarrollo, en todo el mundo. Se trata de un sector en rápida evolución. Esta versión del Volumen 4 representa el instante en que se elaboró y, en consecuencia, proporciona una descripción de las comunicaciones inalámbricas utilizadas en los STI a principios de 2020.

#### **1.2 Organización y utilización del Volumen 4**

El Volumen 4 se divide en varios capítulos que ofrecen información fundamental al lector y en los anexos aparece con más detalle la información técnica, de explotación y de reglamentación.

El Capítulo 1 de este Volumen contiene una introducción al mismo. El Capítulo 2 proporciona información sobre las aplicaciones de los STI. El Capítulo 3 abarca la arquitectura de comunicaciones y de sistema de los STI. En el Capítulo 4 se contemplan las tecnologías de los sistemas STI y en el Capítulo 5 se considera la normalización nacional e internacional. El Capítulo 6 trata de la utilización de frecuencias radioeléctricas para sistemas STI. El Anexo A contiene una lista de acrónimos. En el Anexo B se presenta la utilización de STI en algunos países, y en el Anexo C se consignan publicaciones sobre los STI.



## CAPÍTULO 2

### APLICACIONES DE LOS STI

#### 2.1 Introducción

A lo largo las últimas décadas en todo el mundo se ha visto un aumento de la motorización, la urbanización y la población, tendencia que causa congestiones de tráfico, problemas de seguridad y de contaminación atmosférica. Los STI ofrecen una serie de herramientas que contribuyen a paliar, y posiblemente reducir, la congestión vial y los accidentes gracias las comunicaciones inalámbricas, tecnologías de detección, tecnologías informáticas y de control, además de una amplia divulgación de la información. Los STI aprovechan las normas relativas a las comunicaciones para facilitar la interoperabilidad y la accesibilidad de los servicios.

FIGURA 1

Concepto de servicio STI



Land Mobile Handbook Vol.4 -01

En el Cuadro 1 se enumeran las grandes esferas de servicio STI para ilustrar su gran potencial de influencia social. En el Cuadro 2 se dan ejemplos concretos de los servicios de usuario que ofrecen los sistemas STI en las categorías seguridad V2I, seguridad V2V, datos oficiales, medio ambiente, meteorología vial, movilidad y carretera inteligente.

Los sistemas STI tienen tres grandes grupos de usuarios:

- operadores viales que gestionan eficazmente las carreteras, supervisan la situación vial y ofrecen información a los usuarios;
- conductores de vehículos para llegar a su destino sin accidentes;

- viajeros o peatones que necesitan información vial o asistencia de emergencia.

Los servicios STI pueden explicarse desde el punto de vista de cada grupo de usuarios. Los usuarios de los STI se pueden clasificar globalmente en tres grupos. En el primer grupo se encuentran los operadores viales, entidades que gestionan las carreteras de acuerdo a objetivos locales, normalmente para que el tráfico sea fluido y para responder a los incidentes de seguridad. Los operadores viales supervisan la situación vial e informan de la misma a los usuarios. El operador vial desempeña un papel primordial en la mayoría de servicios STI; sólo de las aplicaciones de seguridad vehículo a vehículo quedan fuera los representantes de las autoridades viales o de tránsito. El segundo grupo de usuarios está compuesto por los conductores de vehículos que desean llegar a su destino sin accidentes. A esta categoría están dirigidos muchos servicios STI y es indirectamente el principal proveedor de gran parte de los datos sobre el rendimiento vial (ya sea por detección a distancia o recabados por el vehículo y comunicados a un tercero). El tercer grupo de usuarios son los viajeros o peatones que utilizan los STI para obtener información sobre el tráfico, planificar trayectos, utilizar servicios de tránsito o solicitar asistencia de emergencia.

Es natural que cada región tenga sus propios objetivos a la hora de desplegar los STI, pero, en general, pueden definirse cinco grandes objetivos: seguridad, movilidad, medio ambiente, reglamentación y comodidad. Dentro de cada categoría pueden definirse objetivos más concretos, cuyos límites en ocasiones son difusos a causa de la tecnología o la arquitectura escogidas, que permiten definir grupos más concretos de servicios desplegables. A veces esos servicios satisfacen varios objetivos a la vez. Por ejemplo, en Estados Unidos de América, el Sistema de gestión de fronteras (*border management systems*) cumple objetivos reglamentarios, de movilidad y de seguridad. Así, muchos servicios pueden tener características múltiples, en función de los objetivos que contribuyen a satisfacer y de las características tecnológicas o arquitectónicas inherentes al servicio. Los servicios se pueden clasificar en función de los objetivos que contribuyen a alcanzar en las esferas de servicio que se muestran en el Cuadro 1.

CUADRO 1

**Esferas de servicio de los STI**

Operaciones de vehículos comerciales	Gestión de datos	Mantenimiento y construcción
Gestión de aparcamiento	Seguridad pública	Transporte público
Apoyo	Viajes sostenibles	Gestión del tráfico
Información de viajeros	Seguridad de vehículos	Meteorología

En cada una de estas esferas hay definidos más de cien servicios. Puede consultarse el listado completo de servicios definidos en Estados Unidos en la dirección:

<https://local.iteris.com/arc-it/html/servicepackages/servicepackages-areasport.html>.

En el § 2.2 se exponen más detalladamente algunos tipos de servicios comerciales, a saber, la recaudación electrónica de peajes, la seguridad vial y de vehículos, las llamadas de emergencia, el servicio de información de tráfico y la conducción automatizada. Se describen las funciones de servicio y las características técnicas de las tecnologías de radiocomunicaciones.

CUADRO 2

**Ejemplos de servicios de usuario de los sistemas STI**

Categoría	Ejemplo de servicios de usuario
Seguridad V2I	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alerta de infracción por paso en rojo</li> <li>- Alerta de velocidad en curvas</li> <li>- Asistente de frenado en señal Stop</li> <li>- Alerta meteorológica local</li> <li>- Alerta en zona en obras/con limitación de velocidad</li> <li>- Alerta de presencia de peatones en pasos de cebra señalizados (tránsito)</li> </ul>
Seguridad V2V	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Luz de freno electrónica de emergencia (EEBL)</li> <li>- Alerta de colisión frontal (FCW)</li> <li>- Asistencia en cruces (IMA)</li> <li>- Asistencia en giros a izquierda (LTA)</li> <li>- Alerta de puntos ciegos/cambio de carril (BSW/LCW)</li> <li>- Alerta «No pasar» (DNPW)</li> <li>- Alerta en giros a la derecha delante de un autobús (tránsito)</li> </ul>
Datos oficiales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mantenimiento del firme por sondas</li> <li>- Supervisión del tráfico por sondas</li> <li>- Estudios de tráfico basados en la clasificación de vehículos</li> <li>- Análisis de intersecciones y giros basado en CV</li> <li>- Estudios origen-destino basados en la CV</li> <li>- Información sobre zonas en obra para viajeros</li> </ul>
Medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aproximación y alejamiento ecológicos en intersecciones señalizadas</li> <li>- Temporización ecológica de señales de tráfico</li> <li>- Prioridad ecológica de señales de tráfico</li> <li>- Ecoconducción conectada</li> <li>- Carga por inducción/resonancia inalámbrica</li> <li>- Gestión ecológica de carriles</li> <li>- Armonización ecológica de la velocidad</li> <li>- Control de navegación adaptativo cooperativo ecológico</li> <li>- Información de viajeros ecológica</li> <li>- Medición de rampas ecológica</li> <li>- Gestión de zonas de bajas emisiones</li> <li>- Información sobre carga/repostaje de AFV</li> <li>- Aparcamiento inteligente ecológico</li> <li>- Itinerarios dinámicos ecológicos (vehículos ligeros, tránsito, mercancías)</li> <li>- Sistema de ayuda a la toma de decisiones ICM</li> </ul>
Meteorología en carretera	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avisos y alertas a motoristas (MAW)</li> <li>- MDSS mejorado</li> <li>- Traductor de datos de vehículos (VDT)</li> <li>- Información de tráfico en función de la meteorología (WxTINFO)</li> </ul>

CUADRO 2 (fin)

Categoría	Ejemplo de servicios de usuario
Movilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sistema de información de viajeros avanzado</li> <li>– Sistema de señales de tráfico inteligente (I-SIG)</li> <li>– Prioridad de señales (tránsito, mercancías)</li> <li>– Sistema de señalización para peatones accesible móvil (PED-SIG)</li> <li>– Prioridad de vehículos de emergencia (PREEMPT)</li> <li>– Armonización dinámica de la velocidad (SPD-HARM)</li> <li>– Alerta de atascos (Q-WARN)</li> <li>– Control de navegación adaptativo cooperativo (CACC)</li> <li>– Orientación situacional en caso de incidente para la intervención en caso de emergencia (RESP-STG)</li> <li>– Alertas de incidentes en zonas en obras para conductores y trabajadores (INC-ZONE)</li> <li>– Comunicaciones y evacuación de emergencia (EVAC)</li> <li>– Protección de conexiones (T-CONNECT)</li> <li>– Operaciones de tránsito dinámicas (T-DISP)</li> <li>– Desplazamiento compartido dinámico (D-RIDE)</li> <li>– Planificación y funcionamiento dinámicos del transporte de mercancías</li> <li>– Optimización del transporte</li> </ul>
Carretera inteligente	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Inspección inalámbrica</li> <li>– Aparcamiento de camiones inteligente</li> </ul>

## 2.2 Tipos de servicios STI

Se describen aquí las funciones de servicio y las características técnicas de las tecnologías de radiocomunicaciones. Los servicios STI pueden clasificarse en recaudación electrónica de peajes (ETC), seguridad vial y de vehículos, llamadas de emergencia, servicio de información de tráfico y conducción automatizada. Estos son los cinco servicios STI más ampliamente desplegados o comercializados.

Estos tipos de servicios STI se prestan mediante las tecnologías de radiocomunicaciones disponibles, como la comunicación de corto alcance especializada (DSRC) para ETC; la banda de 700 MHz o la banda de 5,9 GHz para la comunicación V2X en el marco de la seguridad vial y de vehículos; la comunicación celular en red para, por ejemplo, las llamadas de emergencia; la radiodifusión digital para el servicio de información de tráfico, y posiblemente la comunicación por redes V2X para la conducción automatizada. Estas cinco tecnologías de radiocomunicaciones convienen a los tipos de servicio correspondientes y tienen las características técnicas que se muestran en el Cuadro 3.

Por ejemplo, DSRC para ETC puede ofrecer datos en paquetes bidireccionales en distancias cortas (~100 m). la V2X en 5,9 GHz para la seguridad vial y de vehículos ofrece datos en paquetes bidireccionales y radiodifusión de datos en distancias inferiores a 1 km. La comunicación celular en red para llamadas de emergencia ofrece la transmisión bidireccional de voz y datos en un radio más amplio (~10 km). La radiodifusión digital para el servicio de información de tráfico facilita datos unidireccionales en un radio amplio (< 10 km). Para la seguridad vial y de vehículos o la conducción automatizada uno de los requisitos de comunicación más importantes es una baja latencia en la transmisión de la información posicional y kinemática de los vehículos, además de mensajes de control.

CUADRO 3

**Características técnicas de las tecnologías de radiocomunicación**

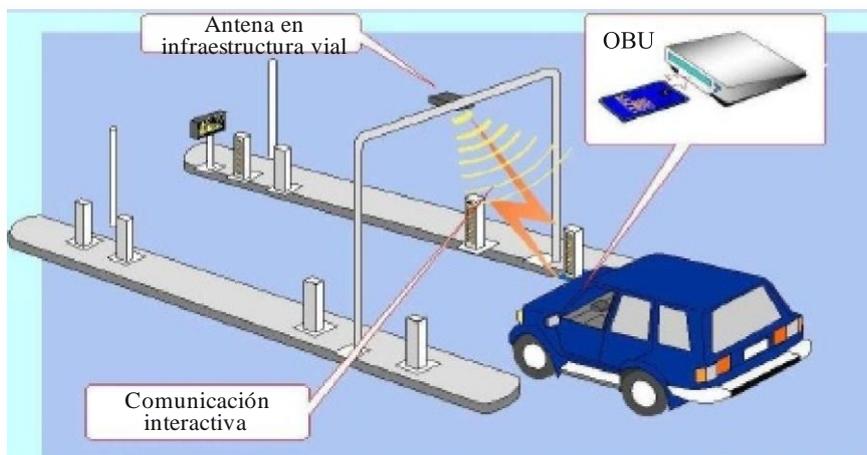
Tipo de servicio	Tecnología de radiocomunicación	Información	Cobertura radioeléctrica	Latencia de mensajes
ETC	DSRC	Datos bidireccionales	Pequeña (~100 m)	Baja (<100 ms)
Seguridad vial y de vehículos	Banda V2X de 700 MHz o 5,9 GHz	Datos bidireccionales, radiodifusión de datos	Media (~1000 m)	Baja (<100 ms)
Llamadas de emergencia	Celular	Voz y datos bidireccionales	Grande (~10 km)	Alta (~1 s)
Servicio de información de tráfico	TPEG	Radiodifusión de datos	Grande (~100 km)	Media (~1 s)
Conducción autónoma	V2X	Datos bidireccionales, radiodifusión de datos	Media (~1 000 m)	baja (<5 ms)

**2.2.1 Recaudación electrónica de peajes**

La recaudación electrónica de peajes es el servicio de tarificación vial aplicado cuando un vehículo pasa por una estación de peaje. Cuando un vehículo llega a esa estación, la OBU inicia una radiocomunicación con la RSU para ejecutar las transacciones de facturación y, posiblemente, una función de seguridad. Si un fallo de la radiocomunicación resulta en un error de facturación, se procede a la identificación del vehículo y a la emisión de la factura. En la Fig. 2 se muestra el concepto del servicio de recaudación electrónica de peajes.

FIGURA 2

**Concepto del servicio ETC**



Land Mobile Handbook Vol.4 -02

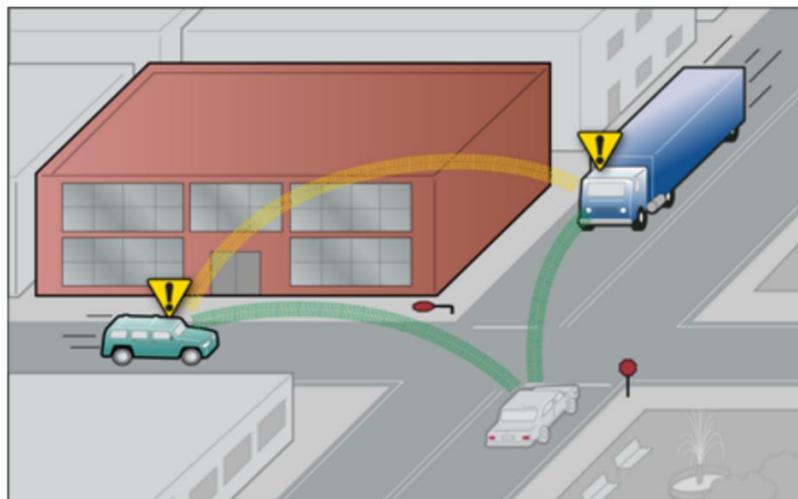
El pago electrónico exige una radiocomunicación con baja latencia y alta fiabilidad para garantizar la facturación segura. Para la ETC se puede utilizar DSRC, tecnologías de comunicaciones de corto a medio alcance o la tecnología celular de red. En la actualidad, la mayoría de sistemas ETC utilizan la comunicación DSRC.

### 2.2.2 Seguridad vial y de vehículos

La seguridad de vehículos emite alertas para evitar accidentes de tráfico. Cuando un vehículo llega a un cruce, puede no saber que hay otros vehículos acercándose a ese mismo cruce cuando hay edificios que bloquean la línea de visibilidad directa. Si los vehículos transmiten periódicamente su situación y ubicación, los vehículos podrán saber que hay otros en aproximación y tomar las medidas necesarias para evitar la colisión. Esto puede conseguirse con la comunicación vehículo a vehículo (V2V). Este servicio necesita una comunicación V2V directa con mensajes de baja latencia, una velocidad de datos media y una cobertura radioeléctrica mayor que la que se consigue con DSRC. Por ejemplo, IEEE 802.11p V2X e ITS G5 soportarán una velocidad máxima de 27 Mbit/s con una latencia de 100 ms en la capa de aplicación (5 ms en la capa de acceso radioeléctrico) y una cobertura de 1 km. La comunicación vehículo a infraestructura (V2I) puede contribuir a la seguridad vial enviando al vehículo información precisa sobre la configuración de las intersecciones, las fases y la temporización de la señalización vial, así como información sobre situaciones inesperadas. En casi todos los casos de uso se siguen paradigmas de comunicaciones similares. Por ejemplo, en un cruce con edificios altos, es posible que los vehículos estén ocultos por esos edificios. El servicio de seguridad de vehículos ha de emitir la alerta necesaria para evitar un accidente. En cruces sin visibilidad, los vehículos no podrán determinar que hay otros aproximándose al cruce en otra dirección. Las aplicaciones de seguridad de los vehículos funcionan gracias a la radiodifusión de la información posicional y cinemática de los vehículos: si un vehículo transmite su ubicación y situación periódicamente, los demás vehículos podrán saber, aunque no puedan verlo, que se está acercando y tomarán las medidas necesarias para evitar la colisión. Este tipo de aplicación de seguridad normalmente utiliza la comunicación V2V.

FIGURA 3

#### Alerta de seguridad en intersecciones



Land Mobile Handbook Vol.4-03

La eficiencia del tráfico es uno de los grandes objetivos de los STI y un componente importante del transporte inteligente utilizando, por ejemplo, un sistema V2X LTE, que contribuye en gran medida a aligerar los atascos urbanos, fomentar la conservación energética y reducir las emisiones. La reducción de los atascos también mejora la seguridad del transporte.

Una aplicación típica de eficiencia del tráfico es la orientación de velocidad. Para ello, la unidad en carretera (RSU) recaba información sobre la temporización de los semáforos y señales luminosas y transmite a los vehículos cercanos información sobre el estado de los semáforos y el tiempo que permanecerán en ese estado. A partir de la información recibida, tras combinarla con la velocidad y el emplazamiento del vehículo en ese momento, el vehículo calcula la velocidad recomendada y avisa al conductor a fin de aumentar las posibilidades de atravesar el cruce sin detenerse. Para ello es necesario que la RSU pueda recabar información sobre las señales viales y transmitir mensajes V2X a los vehículos. También es necesario que los vehículos circundantes puedan enviar y recibir mensajes V2X.

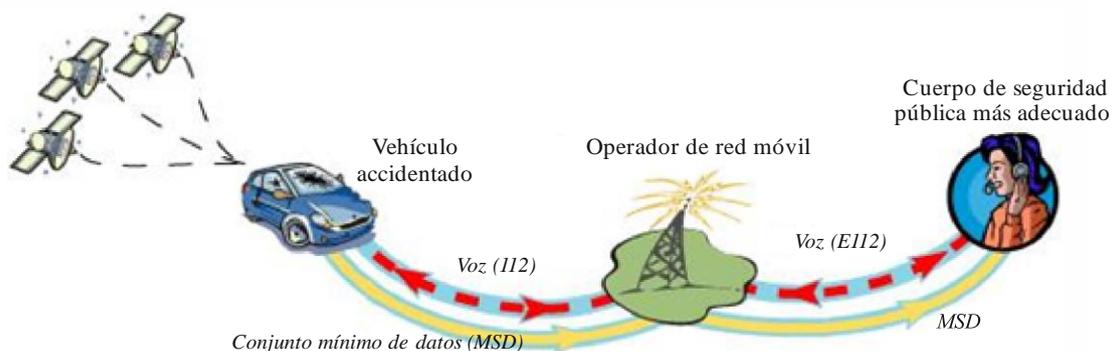
### 2.2.3 Llamada de emergencia

La llamada de emergencia es un servicio de voz y datos que se activa a petición del conductor del vehículo. En caso de accidente, se solicita una intervención de socorro por llamada de emergencia o transferencia de datos de emergencia. Los servicios de telemática y llamada de emergencia<sup>1</sup> consisten en la utilización de voz y datos bidireccionales por redes celulares. En la Fig. 4 se muestra el concepto del servicio de llamada de emergencia.

Este servicio necesita el soporte de voz y datos bidireccionales con una mayor latencia de datos y una amplia cobertura. La tecnología celular es la tecnología de radiocomunicaciones más adecuada para este servicio.

FIGURA 4

#### Servicio de llamada de emergencia



Land Mobile Handbook Vol.4 -04

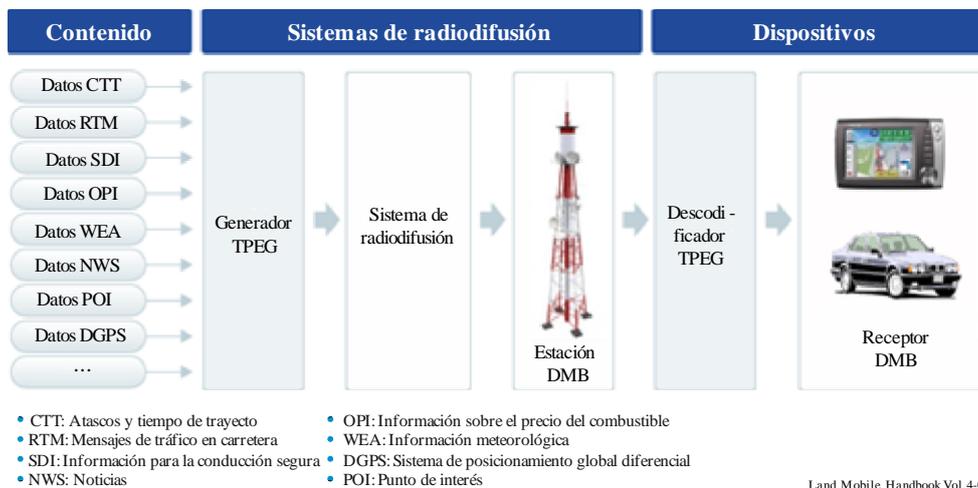
### 2.2.4 Servicio de información de tráfico

Es posible comunicar a los conductores información de tráfico a través de la radiodifusión digital. El Grupo de Expertos en Protocolos de Transporte (TPEG) creó normas mundiales para el servicio de información de tráfico y viajes (TTI). La TTI (por ejemplo, atascos, obras, accidentes, etc.) se ha convertido en una norma TPEG y se emite por un canal de radiodifusión digital. El conductor puede recibir la TTI como se muestra en la Fig. 5.

<sup>1</sup> Telemática es un término muy genérico que denota la fusión de las tecnologías informáticas y de telecomunicaciones, generalmente en el contexto de la automoción.

FIGURA 5

**Servicio de información de tráfico**



Este servicio soporta la radiodifusión de datos unidireccional con una amplia cobertura radioeléctrica y una latencia media.

**2.2.5 Conducción automatizada**

Al igual que las cámaras de reconocimiento de vídeo, los radares de ondas milimétricas y los radares de láser existentes, la V2X ofrece otro tipo de interacción para conocer el movimiento (velocidad, frenado y cambio de carril) de otros vehículos y peatones. Sin embargo, las comunicaciones V2X no están limitadas por los sensores a bordo y otros factores como las condiciones meteorológicas, los obstáculos y el alcance. Además, la V2X ofrece capacidades de percepción «extrasensorial» para la conducción automatizada, pues puede comunicar la intención del conductor y negociar maniobras cooperativas. Al mismo tiempo, la V2X contribuye a construir un sistema de servicio integral multipropiedad favorable a la industrialización de vehículos automatizados conectados (CAVs) al integrar a las personas, los vehículos, la infraestructura vial y la plataforma en la nube. En la actualidad, las funcionalidades típicas de conducción automatizada comprenden el apilotamiento de vehículos y la conducción a distancia. Por apilotamiento de vehículos se entiende la vinculación de los vehículos mediante la comunicación V2X. En un pelotón el vehículo líder puede estar conducido por una persona o ser autónomo. A ese vehículo le siguen los vehículos miembros del pelotón, que mantienen entre ellos una distancia estable a una determinada velocidad basándose en una interacción informativa en tiempo real. Esta aplicación soporta las funciones de mantenimiento y seguimiento en el carril, navegación adaptativa cooperativa, frenado de emergencia cooperativo, recordatorio de cambio de carril cooperativo e ingreso y egreso del pelotón.

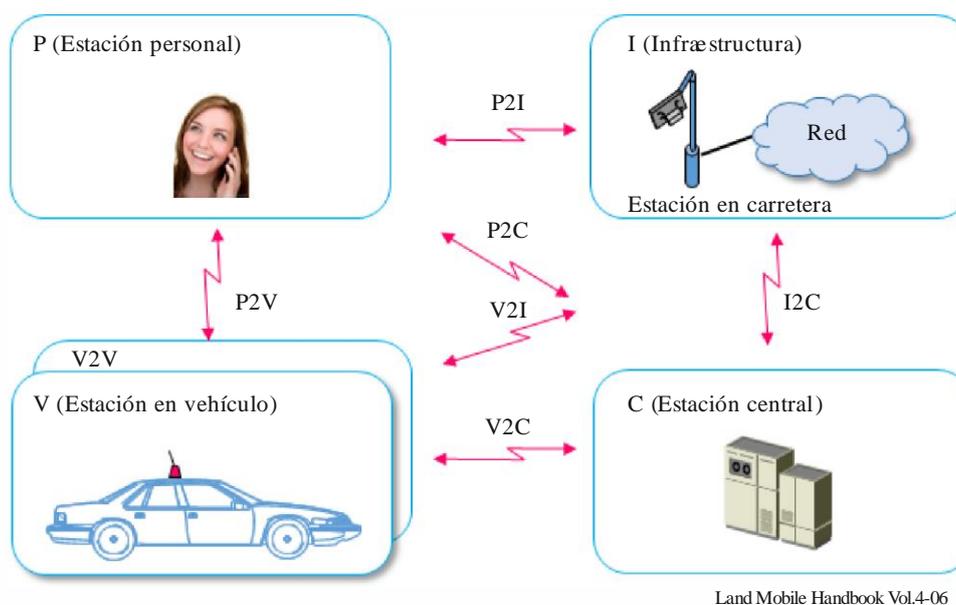
La conducción a distancia permite al conductor operar el vehículo a distancia mediante una consola. La cámara, el radar y otros sensores instalados en el vehículo transmiten información de detección multicanal en tiempo real a la consola de conducción a distancia. Se prevé que la comunicación para la conducción a distancia se efectúe por sistemas de red celular 5G de gran ancho de banda. Las señales de la consola de conducción a distancia envían instrucciones de control al volante, el acelerador y el freno, que también se transmitirán al vehículo en tiempo real por sistemas de red celular 5G de alta fiabilidad y baja latencia, permitiendo así conducir, acelerar, frenar, girar y hacer marcha atrás con facilidad y precisión.

### 2.3 Servicio STI cooperativo

Las tecnologías de radiocomunicación permiten configurar aplicaciones de STI y determinar los tipos de servicio y la calidad de servicio de las aplicaciones STI. De acuerdo con la norma ISO, el STI cooperativo (C-ITS) está compuesto por estaciones personales, estaciones en vehículos, estaciones en carretera y una estación central, como se muestra en la Fig. 6. Sobre la base de conectividad entre pares, las aplicaciones STI pueden dividirse en conectividad entre el peatón y su entorno (P2X) y conectividad entre el vehículo y su entorno (V2X).

FIGURA 6

#### Configuración del sistema C-ITS



#### 2.3.1 Servicios P2X

La tecnología de comunicación P2X engloba la conectividad peatón a vehículo (P2V), la conectividad peatón a infraestructura (P2I) y conectividad peatón a centro (P2C).

- La comunicación P2V permite la conectividad entre una estación personal y una estación vehicular. Gracias a ella se alertará al conductor del vehículo de la aproximación de un peatón. También alertará al peatón de la aproximación de un vehículo.
- La comunicación P2I permite la conectividad entre una estación personal y una estación en carretera. Ofrece información de navegación personal y alertas de vehículos en cruces para los usuarios discapacitados.
- La comunicación P2C permite la conectividad entre un peatón y el centro. Si la estación central puede facilitar información sobre el tráfico a la estación personal, ésta ofrecerá la funcionalidad de navegación basada en la información de tráfico.

En el Cuadro 4 se resumen los servicios P2X que ofrece cada tipo de conectividad.

**CUADRO 4**  
**Servicios P2X**

<b>Conectividad</b>	<b>Servicios P2X</b>
P2V	Alerta de peatón, alerta de vehículo
P2I	Navegación personal, alerta de vehículo
P2C	Información de tráfico

### 2.3.2 Servicios V2X

La tecnología de comunicación V2X engloba la conectividad vehículo a infraestructura (V2I), la conectividad vehículo a centro (V2C), la conectividad vehículo a vehículo (V2V) y la conectividad vehículo a entorno (V2X) con sensores.

- La comunicación V2I soporta la recaudación electrónica de peajes a fin de pagar el peaje cuando un vehículo pasa por una estación de peaje. Asimismo, puede soportar la obtención de datos de vehículos a fin de conocer periódicamente su situación, que es la velocidad dinámica del vehículo, su dirección, el frenado de emergencia, la identificación y la información de ubicación. Puede soportar la comunicación de información de situación vial, como señales de tráfico, accidentes en carretera u obras.
- La comunicación V2C soporta el servicio de información de autobuses (BIS) para informar a los viajeros de la hora y el lugar de llegada. También soporta llamadas de emergencia para dar cuenta de las emergencias de los vehículos al punto de asistencia y seguridad pública (PSAP). El sistema de información y comunicación de vehículos (VICS) de Japón es un ejemplo típico de V2C.
- La comunicación V2V, sumada los sensores en vehículos, soporta la alerta de frenado de emergencia, la alerta anticolidión en cruces y el control de navegación adaptativo cooperativo (CACC).
- La comunicación V2X con sensores en vehículos o en carretera soporta el aparcamiento automatizado y la conducción automatizada.

En el Cuadro 5 se resumen los servicios V2X que ofrece cada tipo de conectividad.

CUADRO 5

Servicios V2X

Conectividad	Servicios V2X
V2I	ETC, obtención de datos de vehículos, alerta de velocidad en curvas, prioridad de vehículos de emergencia, sistema auxiliar de decisiones de mantenimiento mejorado, alertas de intervención en caso de incidente para conductores y trabajadores, señalización intravehicular, alerta de vehículos grandes, alerta de peatón en cruce señalizado, alerta de cruce indebido de paso a nivel, alerta de infracción en semáforo, alerta de zona con velocidad reducida, alerta de carril restringido, alumbrado en carretera, asistente de freno en señal Stop, alerta de infracción se señal Stop, alerta de paso de vehículos en estaciones/Stop, vehículo gira a la derecha frente a vehículo en tránsito, inmovilización de emergencia, sistema de señales de tráfico inteligente, línea de bus intermitente, movilidad de peatones, supervisión y planificación de calidad de funcionamiento, armonización de velocidad, optimización del flujo de tráfico, prioridad de señales en tránsito, limitación de velocidad variable para la gestión del tráfico en función de la meteorología
V2C	BIS, VICS, datos de vehículos para operaciones de tráfico, aproximación y partida ecológicas en la armonización ecológica de la velocidad, gestión de zonas de bajas emisiones, autenticación, ubicación espacial y temporal, seguridad y gestión de credenciales, publicidad inalámbrica, Internet, pago en movimiento, gestión de fronteras, gestión de repostaje de vehículos eléctricos, pago electrónico multimodal integrado, información meteorológica en carretera
V2V	Alerta de frenado de emergencia, alerta anticolidión en intersecciones, alerta de punto ciego, alerta de pérdida de control, alerta «No pasar», alerta de vehículo de emergencia, alerta anticolidión frontal, asistencia en intersecciones, indicación de aproximación de motocicletas, conocimiento situacional, alerta de dirección contraria, inmovilización de emergencia, alerta de usuario vulnerable, alerta de atascos, CACC
V2X con sensores	Aparcamiento automatizado, conducción automatizada



## CAPÍTULO 3

### ARQUITECTURA DE COMUNICACIÓN Y SISTEMA STI

La arquitectura STI define el marco básico dentro del cual se pueden diseñar, planificar e implementar servicios STI. Este marco sirve de base para múltiples diseños que pueden adaptarse específicamente a las necesidades particulares del usuario, conservando los beneficios de una arquitectura común. La arquitectura define las funciones (por ejemplo, recabar información de tráfico o solicitar una ruta) que deben ejecutarse para implementar un determinado servicio de usuario, las entidades físicas o subsistemas donde residen esas funciones (por ejemplo, la infraestructura vial o el vehículo), las interfaces/flujos de información entre subsistemas físicos y los requisitos de comunicación para el flujo de información (por ejemplo, inalámbrica o alámbrica). Además, identifica y especifica los requisitos normativos necesarios para soportar la seguridad y la interoperabilidad nacional y regional, además de las normas productivas necesarias para soportar las consideraciones de economías de escala en el despliegue.

#### 3.1 Arquitectura de sistema STI

Para la arquitectura STI global se ha adoptado un enfoque genérico e independiente de la tecnología a fin de ofrecer un marco común para la planificación, definición e integración de sistemas de transporte inteligentes<sup>2</sup>. La arquitectura de referencia para el transporte inteligente y cooperativo (ARC-IT)<sup>3</sup> está formada por componentes interconectados que se organizan en cuatro distintas perspectivas arquitecturales, como se muestra en el diagrama siguiente:

- 1) La perspectiva empresarial considera los STI desde el punto de vista de una organización. Se identifican las organizaciones o empresas interesadas, es decir, las personas y organizaciones que planifican, crean, explotan, mantienen y utilizan los STI. Se definen las funciones de cada interesado y las relaciones entre ellos. Es también en esta perspectiva donde se definen las necesidades, pues la ARC-IT, y en general los STI, se basan en las necesidades de las organizaciones interesadas, sus integrantes y sus clientes.
- 2) La perspectiva funcional considera los STI desde un punto de vista funcional. Los requisitos funcionales se definen a partir de las necesidades de los usuarios de los STI. Los flujos procesales y de datos ofrecen una visión estructurada de las funciones e interacciones que responden a esos requisitos.
- 3) La perspectiva física define los objetos físicos (sistemas y dispositivos) que ofrecen la funcionalidad STI. Los flujos de información definen el flujo de información entre objetos físicos. Los objetos funcionales organizan la funcionalidad necesaria para el soporte de STI en cada objeto físico.
- 4) La perspectiva de comunicaciones define cómo se comunican los objetos físicos. Se definen las normas y perfiles de comunicaciones que se combinan en las soluciones de comunicación que especifican cómo se puede compartir de manera segura y fiable la información entre objetos físicos.

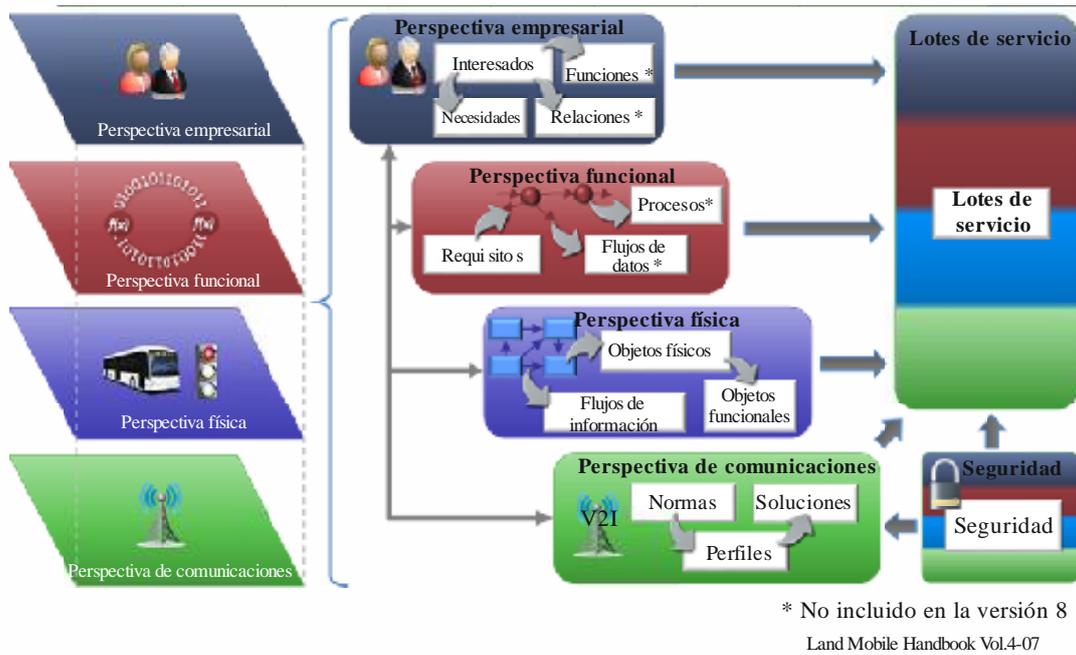
---

<sup>2</sup> <http://local.iteris.com/arc-it/>.

<sup>3</sup> <http://local.iteris.com/arc-it/html/architecture/architecture.html>.

FIGURA 7

**Arquitectura de referencia para el transporte inteligente y cooperativo (ARC-IT)**



Téngase en cuenta que la seguridad es primordial en los sistemas de transporte inteligentes del siglo XXI y que la ARC-IT aborda la seguridad de manera integral a lo largo y ancho de las cuatro perspectivas. Además, los lotes de servicio representan imágenes que facilitan la consideración de segmentos verticales de la ARC-IT que contienen las cuatro perspectivas de un servicio STI concreto (por ejemplo, control de señales de tráfico).

### 3.1.1 Perspectiva empresarial<sup>4</sup>

La perspectiva empresarial describe las relaciones entre las organizaciones y el papel que cada una de ellas desempeña dentro del entorno STI cooperativo.

Los bloques de construcción de la perspectiva empresarial de la ARC-IT son los objetos empresariales que interactúan para intercambiar información, gestionar y explotar sistemas más allá del alcance de una organización. La perspectiva empresarial se centra en las relaciones entre esos objetos empresariales, pero también define cómo éstos interactúan con los objetos físicos que en la perspectiva empresarial se denominan «recursos».

Las relaciones entre objetos empresariales se traducen en distintos tipos de coordinación: acuerdo o contrato destinado a lograr los objetivos comunes necesarios para la implementación y prestación del servicio STI. La relación entre un objeto empresarial y un recurso es una función: propiedad, explotación, creación, instalación, mantenimiento, etc.

<sup>4</sup> <http://local.iteris.com/arc-it/html/viewpoints/enterprise.html>.

### 3.1.2 Perspectiva funcional<sup>5</sup>

En esta perspectiva se describen la configuración del sistema y las entidades funcionales, además de las relaciones entre esas entidades. La perspectiva funcional comprende el análisis de elementos funcionales abstractos y su interacción lógica. Aquí la ARC-IT se ilustra como una serie de procesos organizados jerárquicamente. Estos procesos (actividades y funciones) responden a una serie de requisitos derivados de los documentos fuente. En el diccionario de datos se definen los flujos de datos que oscilan entre procesos y almacenes de datos, donde los datos pueden residir durante periodos de tiempo más largos.

El comportamiento de una función (es decir, un proceso) es un conjunto de acciones realizadas por este elemento para lograr un objetivo. Un proceso realiza acciones para lograr un objetivo de aplicación o soportar las acciones de otro proceso. Puede tratarse de la obtención de datos, la transformación de datos, la generación de datos o el procesamiento que se lleva a cabo en cada una de esas acciones. La perspectiva funcional define los procesos para controlar y gestionar el comportamiento del sistema, por ejemplo, la supervisión y otros elementos de control activo que contribuyen a describir el comportamiento funcional del sistema. También se describen las funciones de procesamiento de datos, los almacenes de datos y los flujos lógicos de información entre esos elementos.

### 3.1.3 Perspectiva física

La perspectiva física<sup>6</sup> describe los sistemas de transporte y los intercambios de información en que se basan los STI. En esta perspectiva la arquitectura se ilustra como una serie de objetos físicos (subsistemas y terminadores) integrados que interactúan e intercambian información para soportar los lotes de servicio de la arquitectura. Los objetos físicos se definen para representar los principales componentes físicos de la arquitectura STI. Entre los objetos físicos se cuentan los subsistemas y terminadores que suelen ofrecer más capacidades de las que normalmente se implementarán en un solo momento o lugar. Los subsistemas son objetos físicos que forman parte del sistema de transporte inteligente global y ofrecen funcionalidades «internas» del STI. Los terminadores son objetos físicos que residen en los límites del STI y ofrecen la información que necesitan las funciones del STI o reciben información del STI. Los objetos funcionales desglosan los subsistemas en elementos adaptados al despliegue y definen más concretamente las funcionalidades e interfaces necesarias para soportar un lote de servicio particular. Los flujos de información ilustran el intercambio de información que se lleva a cabo entre objetos físicos (subsistemas y terminadores). En la perspectiva física los intercambios de información se identifican con denominadores triples que contienen los objetos físicos de origen y destino y el flujo de información intercambiada.

La perspectiva física está relacionada con otras perspectivas de la arquitectura. Cada objeto funcional está vinculado a la perspectiva funcional, que describe con más precisión las funciones que se realizan y detalla los datos intercambiados por el objeto. Los objetos físicos y los objetos funcionales se consideran recursos en la perspectiva empresarial, que describe las organizaciones involucradas y las funciones que desempeñan en la instalación, la explotación, el mantenimiento y la certificación de todos los componentes de la arquitectura.

Además, en la perspectiva física se integra una jerarquía nocional. Si consideramos la arquitectura desde su nivel más abstracto (elevado), la perspectiva física describe las interacciones entre el soporte, el centro, el terreno, el pasajero y los sistemas del vehículo, como se muestra en la Fig. 8.

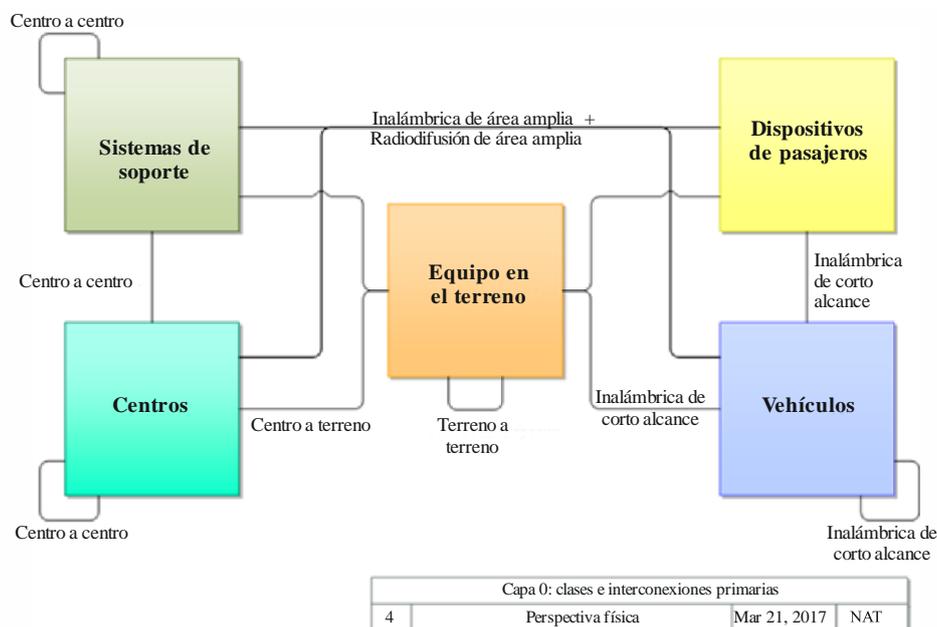
---

<sup>5</sup> <http://local.iteris.com/arc-it/html/viewpoints/functional.html>.

<sup>6</sup> <http://local.iteris.com/arc-it/html/viewpoints/physical.html>.

Para denominar los objetos físicos también se utiliza una terminología alternativa, por ejemplo, estación personal, estación en vehículo, infraestructura (estación en carretera y red) y estación central.

FIGURA 8  
Perspectiva física



Land Mobile Handbook Vol.4-08

### 3.1.4 Perspectiva de comunicaciones

La perspectiva de comunicaciones<sup>7</sup> describe los protocolos necesarios para la interoperabilidad entre los objetos físicos de la perspectiva física. Cada denominación triple de flujo de información de la perspectiva física tienen una correspondencia en las normas o especificaciones publicadas, que en su conjunto pueden utilizarse para crear una implementación interoperable en una región operativa. Estas normas suelen contemplarse desde un punto de vista jerárquico, desde las que atañen a los elementos de datos, los mensajes y las definiciones de diálogos en primer lugar, a las que definen las instalaciones de acceso, la interconexión de redes, el transporte y el intercambio físico de datos en último lugar. Dada la necesaria naturaleza jerárquica de las relaciones entre la mayoría de normas, estos protocolos se organizan en capas. También se tienen en cuenta las normas sobre gestión de dispositivos y seguridad, que suelen integrarse en todas las capas de comunicación.

En la Fig. 9 se muestra un ejemplo de pila de comunicaciones, en este caso para el control de una señal de mensaje dinámica por el centro de gestión de tráfico. Esta solución de comunicación utiliza cualquier tecnología de medios disponible. Aunque generalmente se recurrirá a una tecnología alámbrica fija, también se pueden emplear tecnologías inalámbricas.

<sup>7</sup> <http://local.iteris.com/arc-it/html/viewpoints/communications.html>.

**FIGURA 9**  
**Perspectiva de comunicaciones**

<b>NTCIP-SNMP</b>		
Datos del sistema de información vial →		
<b>Centro de gestión de tráfico</b>		<b>Equipo STI en carretera</b>
<b>Capa de información de aplicación STI</b> NTCIP 1203-DMS	<b>Plano de servicio</b> no definido	<b>Capa de información de aplicación STI</b> NTCIP 1203-DMS
<b>Capa de aplicación</b> IETF SNMP		<b>Capa de aplicación</b> IETF SNMP
<b>Capa de presentación</b> ISO ANS.1 BER		<b>Capa de presentación</b> ISO ANS.1 BER
<b>Capa de sesión</b> no definida		<b>Capa de sesión</b> no definida
<b>Capa de transporte</b> NTCIP 2201-TCP / UDP / T2 NULL		<b>Capa de transporte</b> NTCIP 2201-TCP / UDP / T2 NULL
<b>Capa de red</b> NTCIP 2202-IP		<b>Capa de red</b> NTCIP 2202-IP
<b>Capa de enlace de datos</b> NTCIP 2201-PMPP / módem V series, NTCIP 2102-PMPP / módem FSK, NTCIP 2103-PPP NTCIP 2104-ethernet		<b>Capa de enlace de datos</b> NTCIP 2201-PMPP / módem V series, NTCIP 2102-PMPP / módem FSK, NTCIP 2103-PPP NTCIP 2104-ethernet
<b>Capa física</b> PHY al núcleo		

\* Mecanismo para transmitir bits brutos por un enlace físico entre el centro y el terreno, como I.430/431, SONET/SDH, IEEE 802.3, IEEE 802.11o cualquier otra especificación o norma de capa física viable.

Land Mobile Handbook Vol.4-09

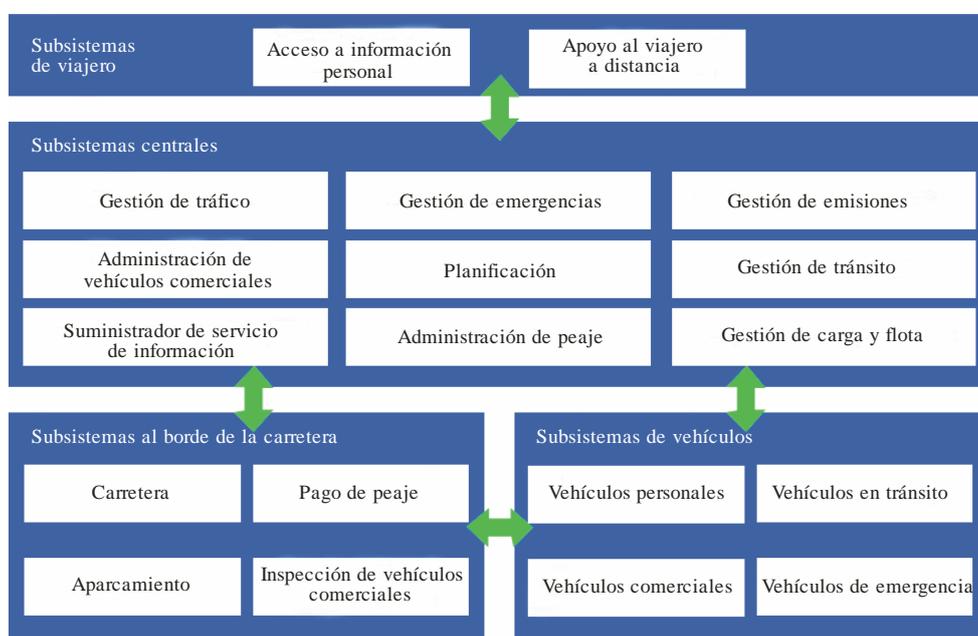
La arquitectura STI proporciona una estructura común para el diseño de los propios STI. No se trata de un diseño de sistema ni de un concepto de diseño. Lo que hace es definir un marco en torno al cual pueden desarrollarse múltiples enfoques de diseño, cada uno específicamente adaptado para satisfacer las distintas necesidades del usuario a la vez que se mantienen las ventajas indicadas anteriormente inherentes a una arquitectura común. La arquitectura define las funciones (por ejemplo, recopilación de información sobre tráfico o solicitud de una ruta) que deben realizarse para ofrecer un servicio de usuario determinado, las entidades físicas o subsistemas donde residen estas funciones (por ejemplo, en el borde de la carretera o en el vehículo), las interfaces/flujo de información entre los subsistemas físicos y los requisitos de comunicación para el flujo de información (por ejemplo, alámbrica o inalámbrica). Además, identifica y especifica los requisitos de las normas necesarias para soportar la interoperabilidad a escala nacional y regional así como las normas del producto necesarias para soportar las consideraciones relativas a las economías de escala en la instalación.

### 3.2 Arquitectura de comunicación STI

#### 3.2.1 Sistema de comunicación STI

La arquitectura de comunicación STI proporciona un marco que vincula a los mundos del transporte y de las telecomunicaciones para permitir el desarrollo y la implantación eficaz de una amplia gama de STI de usuario. Existen múltiples opciones de comunicaciones disponibles para el diseñador del sistema. La flexibilidad en la elección entre diversas opciones proporciona al diseñador la capacidad de elegir la tecnología específica que satisfaga las necesidades locales, regionales o nacionales. La arquitectura identifica y evalúa las capacidades de las posibles tecnologías de telecomunicaciones pero no selecciona ni recomienda ningún sistema o tecnologías «vencedor». Una de las filosofías directrices fundamentales en el desarrollo de la arquitectura STI ha sido la de reforzar las infraestructuras de transporte y comunicaciones existentes y nuevas. Ello minimiza el riesgo y los costes de instalación y maximiza la aceptación en el mercado y la tasa de penetración a la vez que facilita la instalación.

FIGURA 10  
Arquitectura física de los STI



LandMobV4-01

En la Fig. 10 se representa la relación entre los subsistemas centrales y las funciones normalmente asignadas a los organismos administrativos públicos/privados, organizaciones de gestión o agencias de planificación. Los subsistemas instalados al borde de la carretera incluyen funciones que requieren el acceso conveniente a un emplazamiento situado al lado de la carretera para la instalación de sensores, señales, signos programables u otras interfaces con viajeros y vehículos de todo tipo, y los subsistemas de vehículo van instalados en un vehículo. Los subsistemas del viajero representan plataformas para funciones STI de interés a viajeros o transportistas (por ejemplo, operadores de vehículos comerciales) en apoyo del desplazamiento multimodal. Pueden ser fijos (por ejemplo, quioscos u ordenadores domésticos/profesionales) o portátiles (por ejemplo, un ordenador de bolsillo) y pueden ser accesibles al público en general (por ejemplo, mediante quioscos) o a individuos particulares (por ejemplo, mediante teléfonos móviles u ordenadores personales).

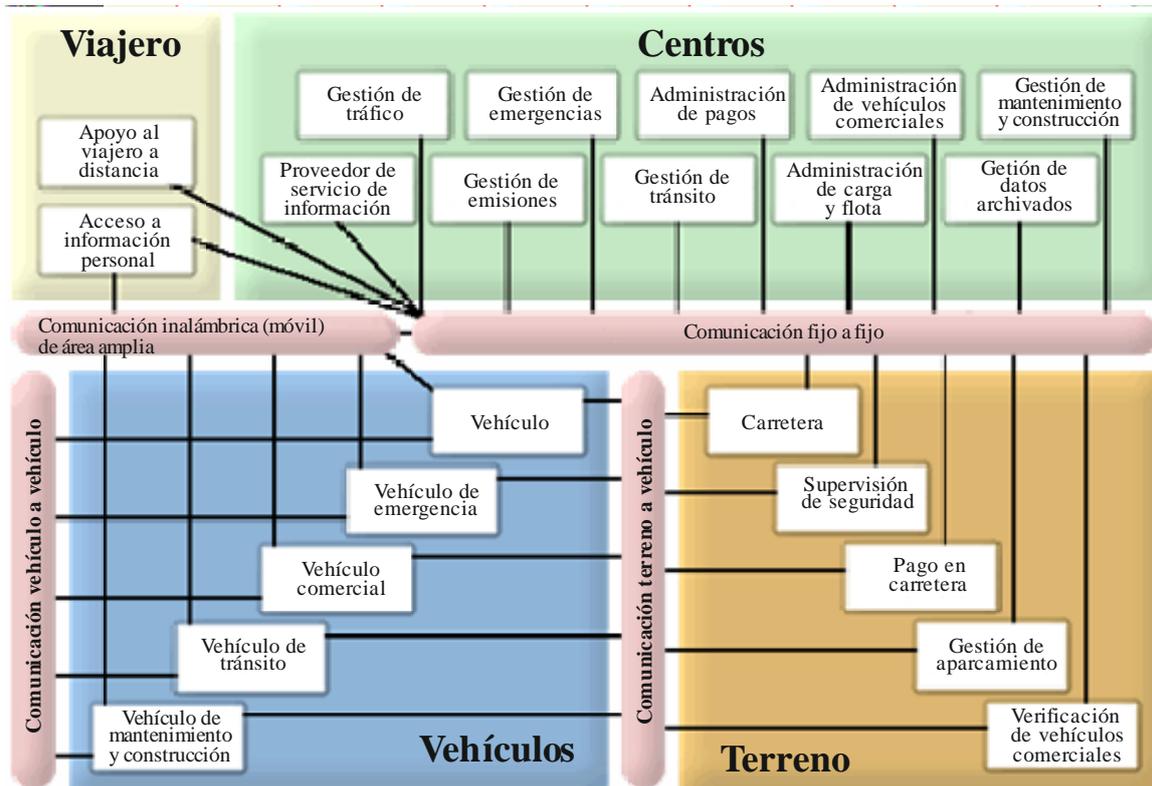
La arquitectura identifica cuatro tipos de medios de comunicación para soportar las necesidades de comunicaciones entre los 19 subsistemas. Existen sistemas alámbricos o inalámbricos (fijo a fijo), sistemas inalámbricos de área amplia (fijo a móvil), sistemas de comunicaciones especializados de corto alcance (fijo a móvil) y sistemas vehículo a vehículo (móvil a móvil). En la Fig. 11 se representa un diagrama de interconexión de subsistema de alto nivel que ilustra las interfaces de los medios de comunicación entre los múltiples subsistemas de la arquitectura posibles.

Existen numerosas tecnologías alámbricas para elegir a partir de los requisitos de comunicaciones fijo a fijo. Por ejemplo, el subsistema de gestión de tráfico puede utilizar pares de hilo trenzados, cable coaxial o fibras ópticas arrendados o en propiedad para reunir información y para verificar y controlar los paquetes de equipos del subsistema de carretera (por ejemplo, sensores de vigilancia del tráfico, señales de tráfico, signos de mensajes cambiables, etc.). Además, hay varias tecnologías inalámbricas que pueden soportar los requisitos de comunicaciones inalámbricas fijo a fijo.

La arquitectura identifica dos categorías distintas de comunicaciones inalámbricas basándose en el alcance y en la zona de cobertura. La primera categoría, las comunicaciones inalámbricas de área amplia (fijo a móvil), es adecuada para servicios y aplicaciones en los que la información se difunde a usuarios que no están situados cerca de la fuente de transmisión y necesitan una cobertura sin interrupciones. Las comunicaciones inalámbricas de área amplia se subdividen a su vez en unidireccionales o bidireccionales. Ejemplos de transmisión unidireccional de radiodifusión son los informes de tráfico que se reciben habitualmente por radiodifusión sonora AM o FM. Un viajero desplazándose que solicita y recibe información sobre el estado de tráfico de un suministrador de servicio de información es un ejemplo de comunicación bidireccional. Cada tecnología inalámbrica tiene sus propias ventajas e inconvenientes con respecto a los requisitos de comunicaciones STI considerados.

FIGURA 11

**Interconexión de sistemas C-ITS**



Land Mobile Handbook Vol.4-11

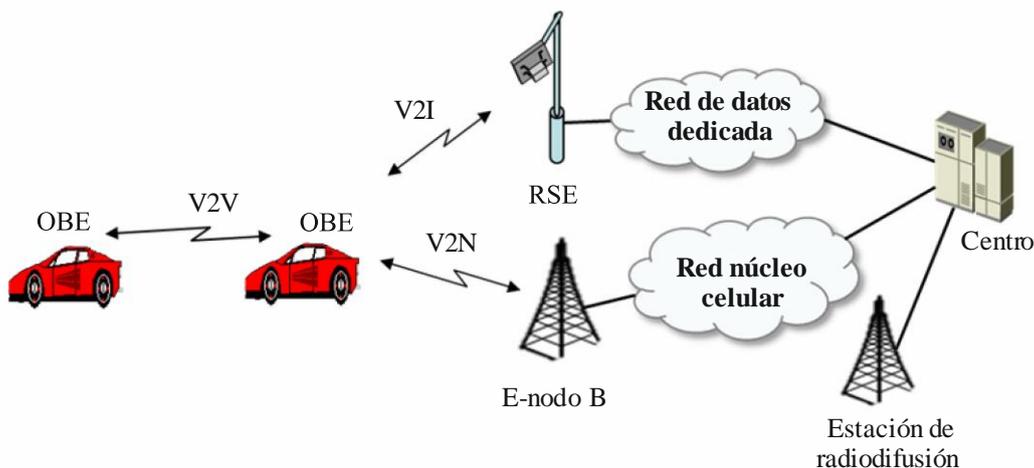
La tecnología inalámbrica de corto alcance se aplica a la transferencia de información de interés localizado. Las tecnologías de corto alcance suelen emplearse para el intercambio y la radiodifusión de información vehículo a vehículo (V2V) y vehículo a infraestructura (V2I). La comunicación inalámbrica de corto alcance es necesaria para soportar el sistema de autopista automatizado (AHS) y lo será muy probablemente para la implementación de sistemas anticolidión en intersecciones. Como ejemplo de aplicaciones adecuadas para las comunicaciones de corto alcance pueden citarse las aplicaciones de seguridad de vehículos, de pago localizado, las inspecciones de seguridad vial, las verificaciones de credenciales, la señalización intravehicular y la divulgación de datos de movilidad y tráfico conexas, como las alertas de atascos y la información sobre señales de tráfico.

### 3.2.2 Red de comunicación STI

Hay tres tipos de redes de comunicaciones inalámbricas adecuadas para la comunicación STI: comunicación directa par a par, comunicación por red celular y transmisiones de radiodifusión. La red de comunicación STI genérica de la Fig. 12 ilustra la utilización de múltiples tipos de comunicación para soportar los STI. Esta red de comunicaciones puede diseñarse de manera que se ajuste a los requisitos técnicos de las aplicaciones STI. La propiedad y las responsabilidades operativas de las diversas porciones de las redes de comunicaciones utilizadas para el STI variará en función de las necesidades de cada administración y, por tanto, estarán sujetas a los requisitos reglamentarios de esas administraciones.

FIGURA 12

**Red de comunicación STI**



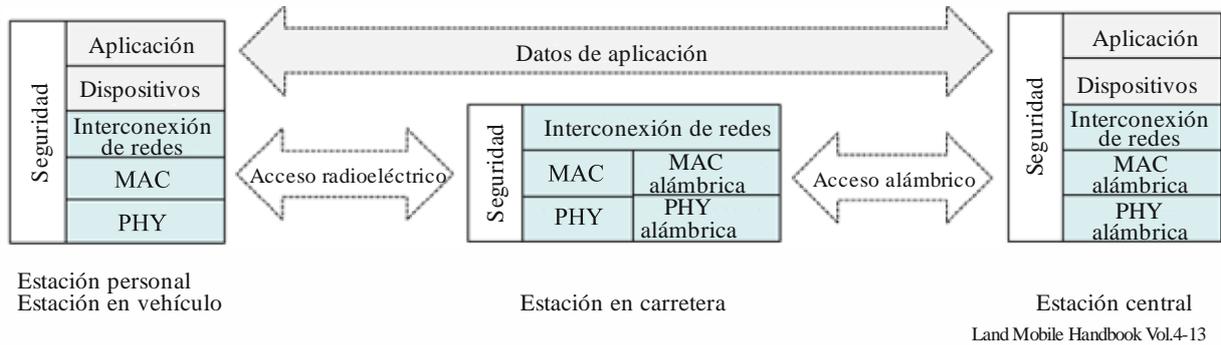
Land Mobile Handbook Vol.4-12

En la Fig. 13 se muestra un ejemplo de perspectiva física del sistema STI compuesto por una estación personal, una estación en vehículo, una estación en carretera y un centro. Estas cuatro estaciones son las entidades físicas que deberán poder comunicarse entre ellas. La estación personal es un dispositivo móvil para peatones y viajeros. La estación en vehículo es un terminal instalado en un vehículo destinado al conductor. Las dos estaciones ofrecen funciones de acceso radioeléctrico y procesamiento de datos de aplicación a los usuarios extremos. La estación en carretera está instalada en la carretera y dispone de acceso radioeléctrico y acceso alámbrico para la conexión con la estación personal (estación en vehículo) y el centro respectivamente. El centro es un servidor de datos que recibe las solicitudes de servicio y ofrece el servicio STI a la estación personal o la estación en vehículo.

De acuerdo con la arquitectura en capas ISO 7, la estación personal y la estación en vehículo tienen una capa física, una capa MAC y una capa de interconexión de redes para la función de acceso radioeléctrico. También poseen una capa de dispositivo y una capa de aplicación, que incluye una capa de seguridad. El centro también tiene una capa física alámbrica, una capa MAC y una capa de interconexión de redes. Asimismo tiene una capa de dispositivos y una capa de aplicación, que comprende una capa de seguridad, como las capas arquitectónicas de comunicación de la estación personal y la estación en vehículo. La estación en carretera tiene una función de acceso radioalámbrico y una función de acceso alámbrico que sirve de pasarela entre el usuario extremo y el servidor.

FIGURA 13

**Configuración del sistema de comunicación STI**



El mensaje transmitido desde la estación personal o la estación en vehículo se genera en la capa de aplicación y la capa de dispositivo. Este mensaje se transforma en un mensaje de paquetes IP o no IP y se añade al mensaje transmitido la información de direccionamiento. El mensaje de paquetes IP o no IP se fragmenta en paquetes de pequeño tamaño y se modula y convierte en una señal RF. La señal RF recibida se convierte en una señal modulada y se recupera el mensaje en la capa de aplicación de la estación central. En el Cuadro 6 se muestran las características técnicas de la arquitectura de comunicación STI del ejemplo.

CUADRO 6

**Características técnicas de un sistema de comunicación STI de ejemplo**

Arquitectura de comunicación	Funciones	Tecnologías de comunicación
Capa física	Modulación digital, FEC, Transmisión y recepción de señales RF	MDA, MDP-2, MDP-4, MDFO
Capa MAC	Asignación y acceso a canales radioeléctricos, detección de errores en los datos en paquetes	AMDF, AMDT, AMSC, AMDFO
Capa de interconexión de redes	Direccionamiento y encaminamiento	TCP/IP, UDP/IP, WSMP, Geo Networking
Capa de facilidades	Contenidos de aplicación	Señal de tráfico, LDM
Capa de seguridad	Autenticación y privacidad de datos	Autenticación, encriptación
Capa de aplicación	ID de aplicación y código fuente	ETC, BIS, seguridad vial y de vehículos, e-call, T-PEG

## CAPÍTULO 4

### TECNOLOGÍAS RADIOELÉCTRICAS PARA SISTEMAS STI

En este Capítulo se describen los requisitos y características técnicas de las tecnologías radioeléctricas para sistemas STI. Ahondando en los detalles de la perspectiva de comunicaciones de la arquitectura STI, en esta sección se describen algunas de las tecnologías radioeléctricas que pueden emplearse para los servicios STI, entre ellas, DSRC, V2X, comunicación celular STI conexas, radiodifusión, radares vehiculares de ondas milimétricas y radares en carretera.

#### 4.1 Comunicaciones de corto alcance especializadas (DSRC)

##### 4.1.1 Introducción

Las comunicaciones de corto alcance especializadas (DSRC) se refieren a comunicaciones entre una infraestructura al borde de la carretera y vehículos para aplicaciones STI. DSRC transfiere datos en paquetes entre la carretera y una unidad de radiocomunicaciones en vehículos a distancias cortas. Por lo general, la cobertura radioeléctrica es inferior a 100 m. Si el vehículo circula a 100 km/h, el tiempo admisible del servicio STI será inferior a 3,6 segundos, porque la velocidad del vehículo es de 27,7 m/s y se divide entre 100 m. DSRC necesita un establecimiento y terminación de enlace rápidos, además de interacciones rápidas entre la infraestructura vial y los vehículos para las aplicaciones STI.

DSRC ofrece dos tipos de comunicación: DSRC activa y DSRC pasiva. La DSRC activa tiene un oscilador que genera en la unidad en el vehículo la misma frecuencia portadora que la de la unidad en carretera. La DSRC pasiva, por el contrario, no cuenta con un oscilador para generar la frecuencia portadora en la unidad en el vehículo, sino que será la unidad en carretera la que le facilitará la frecuencia portadora.

Los servicios DSRC incluyen sistemas de control de vehículos, sistemas de gestión del tráfico, sistemas de información a viajeros, sistemas de transporte público, sistemas de gestión de flotas, sistemas de gestión de emergencia y servicios de pago electrónico. DSRC se considera una tecnología de comunicaciones eficaz para la ETC (recaudación electrónica de peajes) y la información de tráfico.

Los sistemas DSRC tienen las siguientes características:

- Comunicación de datos en paquetes entre el vehículo y la infraestructura.
- Comunicaciones con establecimiento y terminación de enlaces rápidos en una zona puntual.
- Dos tipos de DSRC: DSRC activa y DSRC pasiva (denominada retrodifusión).

##### 4.1.2 Configuración del sistema

El sistema de comunicación DSRC está formado por los equipos de a bordo (OBE) y los equipos viales (RSE), como se muestra en la Fig. 14. Los OBE son las unidades de radiocomunicaciones en vehículos y los RSE son las unidades de radiocomunicaciones en la carretera.

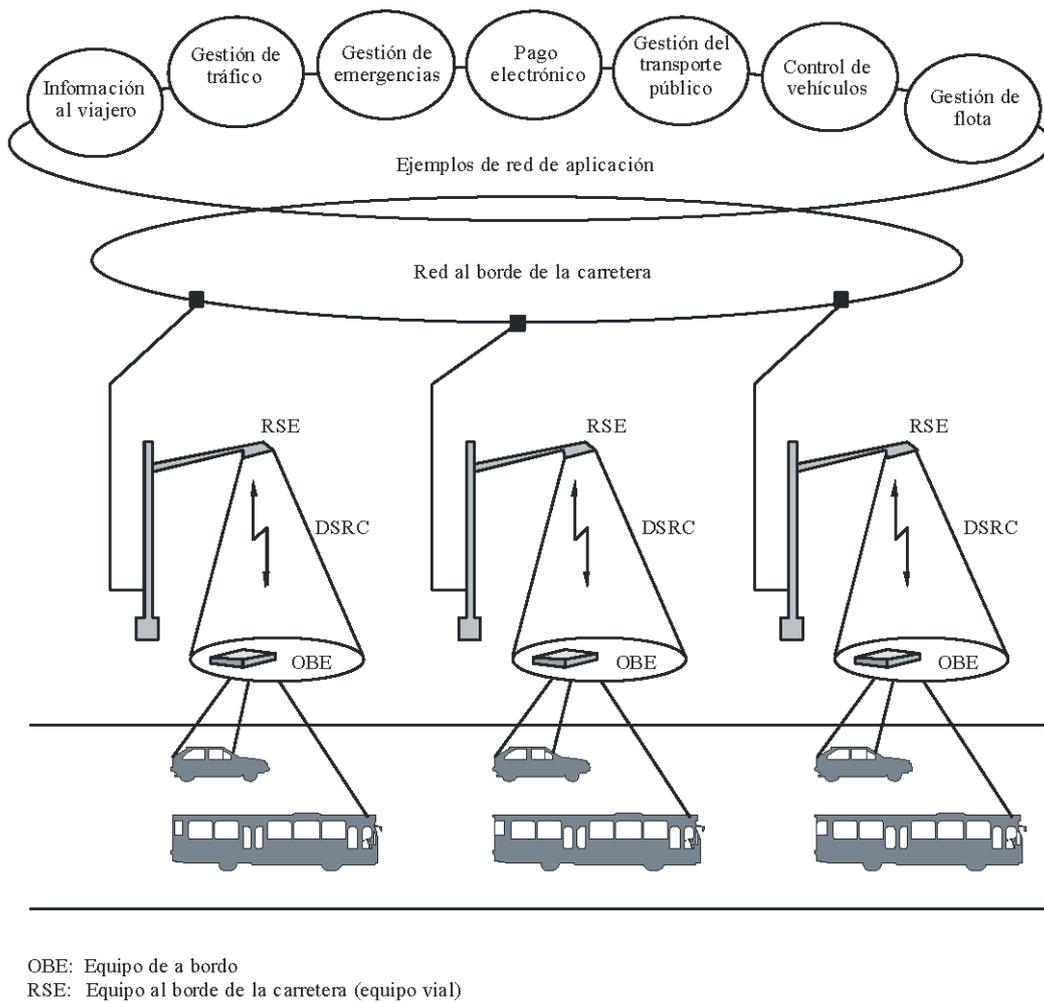
El **OBE** está situado cerca del salpicadero o en el parabrisas del vehículo y está constituido por circuitos de radiocomunicaciones y un circuito de tratamiento de aplicación. Normalmente tiene una interfaz hombre-máquina que incluye conmutadores, dispositivos de presentación y alarma sonora.

El **RSE** está instalado sobre o a lo largo de la carretera y comunica con el OBE móvil mediante señales radioeléctricas. El RSE consta de circuitos de radiocomunicaciones, un circuito de tratamiento de aplicación, etc. Generalmente tiene un enlace con la infraestructura vial para intercambiar datos.

Los sistemas DSRC funcionan transmitiendo señales radioeléctricas para el intercambio de datos entre los equipos OBE montados a bordo del vehículo y el equipo vial RSE. Este intercambio de datos exige una alta fiabilidad y privacidad del usuario puesto que puede incluir transacciones financieras y de otro tipo.

FIGURA 14

**Configuración típica de un sistema de comunicaciones DSRC**



El OBE y el RSE tienen un modelo de referencia de sistema con una capa de acceso radioeléctrico y una capa de aplicación, como se muestra en la Fig. 15. La ETC se implementará gracias a las funciones de la capa de acceso radioeléctrico y de la capa de aplicación sin función de interconexión de redes al estar instalado el servidor ETC en la estación de peaje. A la capa de acceso radioeléctrico y la capa de aplicación habrá conectada una capa de gestión y seguridad para la inicialización y gestión del sistema, la protección de la privacidad y la seguridad de los datos.

FIGURA 15

### Modelo de referencia de comunicaciones DSRC



Land Mobile Handbook Vol.4-15

#### 4.1.3 Características técnicas

##### 4.1.3.1 Antecedentes del sistema DSRC pasivo

En 1992, la CEPT (Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones) – ERC (Comité europeo de comunicaciones radioeléctricas) llegó a un acuerdo sobre la Decisión ERC (92)02 que designa las bandas de frecuencias para el desarrollo de un sistema de transporte en carretera plenamente integrado a fin de mejorar todos los aspectos de este tipo de transporte. Se decidió designar la banda de frecuencias 5 795-5 805 MHz en toda Europa, con una subbanda adicional 5 805-5 815 MHz a escala nacional, para satisfacer los requisitos de los cruces de carretera multicarril. Las bandas de frecuencia fueron previstas para sistemas iniciales carretera a vehículo, en particular para sistemas de carreteras de peaje cuyos requisitos habían aparecido en un cierto número de países europeos en esa fecha. En 2002, el Comité de Comunicaciones Electrónicas (ECC) derogó la citada Decisión ERC (92)02 y la sustituyó por la Decisión ECC (02)01 que entró en vigor el 15 de marzo de 2002. En 2021, el ECC abrogó la Decisión ECC (02)01, pues la Decisión 2006/771/EC, enmendada por 2019/1345/EU y el Anexo 5 a la Recomendación ERC 70-30, contiene una medida de armonización para RTTT (telemática de transporte y tráfico en carretera) DSRC dentro de la Unión Europea y al nivel de la CEPT.

Además, el Comité Europeo de Normalización (CEN) y el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación (ETSI) han desarrollado normas para DSRC relativas a las aplicaciones STI. Una norma para la capa física que utiliza microondas a 5,8 GHz (CEN EN 12253) describe los valores de los parámetros de RF y de radiocomunicaciones necesarios para la coexistencia e interoperabilidad de los sistemas DSRC. Esta norma forma parte de la familia de normas DSRC que consiste en cuatro normas que cubren las capas de protocolo 1, 2 y 7 de las pilas de protocolo de la interconexión de sistemas abiertos OSI y de los perfiles para las aplicaciones RTTT (telemática de transporte y tráfico en carretera). Todas estas normas CEN fueron aprobadas y publicadas en 2003 y 2004.

La norma ETSI armonizada EN 300 674-2: equipos de transmisión de las comunicaciones especializadas de corto alcance (500 kbit/s/250 kbit/s) que funcionan en la banda industrial, científica y médica (ICM) de 5,8 GHz, fue aprobada y publicada en 2004. Esta norma contiene las condiciones de prueba general y del medio ambiente, los métodos de medición y los límites de los parámetros.

La utilización de esta norma ETSI armonizada da por supuesta una conformidad con el Artículo 3 de la Directiva 1999/5/EC del Parlamento Europeo y de la Directiva RTTE.

Además, el ETSI ha elaborado las normas EN 300 674-2-1 «Dedicated Short Range Communication (DSRC) transmission equipment (500 kbit/s, 250 kbit/s) operating in the 5 795 MHz to 5 815 MHz frequency band; Part 2: Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of the Directive 2014/53/EU; Sub-part 1: Road Side Units (RSU)», publicada en 2016, y EN 300 674-2-2 «Dedicated Short Range Communication (DSRC) transmission equipment (500 kbit/s / 250 kbit/s) operating in the 5 795 MHz to 5 815 MHz frequency band; Part 2: Harmonised Standard for access to radio spectrum; Sub-part 2: On-Board Units (OBU)», publicada en 2019, en las que se presupone la conformidad con el Artículo 3.2 de la Directiva 2014/53/EU, Equipos radioeléctricos, del Parlamento Europeo.

### **Características técnicas**

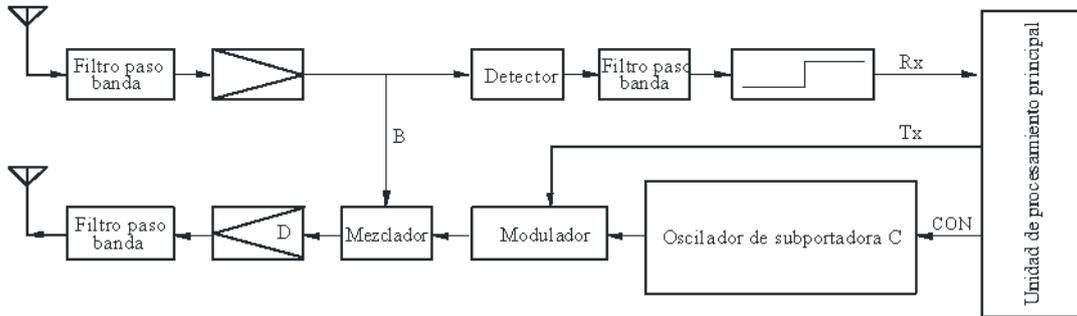
Los sistemas DSRC europeos utilizan un método pasivo de retrodifusión (transpondedor). Este método no cuenta con un oscilador interno para generar una señal portadora radioeléctrica en la banda de 5,8 GHz en el equipo de a bordo (OBE), de forma que depende del oscilador de 5,8 GHz de la unidad vial con la que se comunica. En la Fig. 16 aparece una explicación detallada con un diagrama de bloques funcional típico.

Como el transpondedor pasivo no tiene un oscilador de señal de portadora, cuando transmite desde el OBE, la unidad vial debe emitir de manera continua una señal portadora sin modular. El OBE recibe la señal que se aplica al circuito de transmisión y la toma como su propia señal portadora (B). Los datos de transmisión procedentes de la unidad de procesamiento principal modulan la salida del oscilador C de señal subportadora y se mezclan con la señal portadora procedente del receptor. Las señales en banda lateral resultantes que transportan los datos de transmisión con distintas frecuencias (frecuencia de la señal portadora más/menos frecuencia subportadora) de la señal portadora se transmiten con la señal portadora. El método de modulación de subportadora se utiliza para ampliar la zona de comunicación mediante la reducción del ruido de fase de portadora y para disminuir la distancia de reutilización del RSE en el sistema transpondedor pasivo. La señal modulada procedente del RSE se detecta en el detector y se procesa en la unidad de procesamiento principal como los datos recibidos. La zona de comunicación del sistema (transpondedor) pasivo es muy pequeña, normalmente de 10 ó 20 m frente al RSE. Para ampliar en cierto grado la zona de comunicación, puede insertarse en el circuito de transmisión del transpondedor un amplificador de radiofrecuencia adicional D.

Una de las características significativas del método de retrodifusión es una estrecha zona de comunicación, normalmente de 10 a 20 metros frente al RSE. Esta característica, es decir el hecho de que las comunicaciones sólo puedan tener lugar en un punto preciso, es especialmente importante para ubicar correctamente el vehículo. Existen muchas aplicaciones que utilizan esta característica tales como recaudación electrónica de peajes (ETC), identificación automática de vehículos (AVI), etc. Otra característica del método pasivo de dispersión hacia atrás es que la estructura del OBE es sencilla, lo que da lugar a unos bajos costes de fabricación.

FIGURA 16

**Configuración típica del OBE en el método pasivo de retrodifusión**

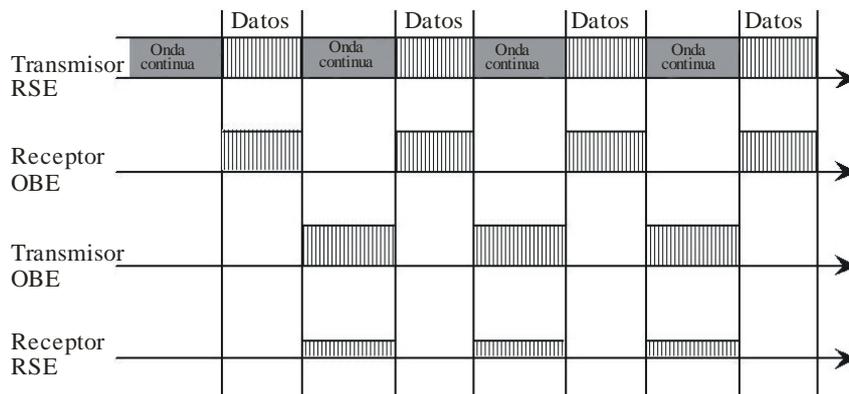


LandMobV4-16

La Fig. 17 representa el gráfico de temporización de la transmisión del RSE y el OBE y la Fig. 18 muestra el espectro de transmisión del RSE y el OBE en el método pasivo de dispersión hacia atrás.

FIGURA 17

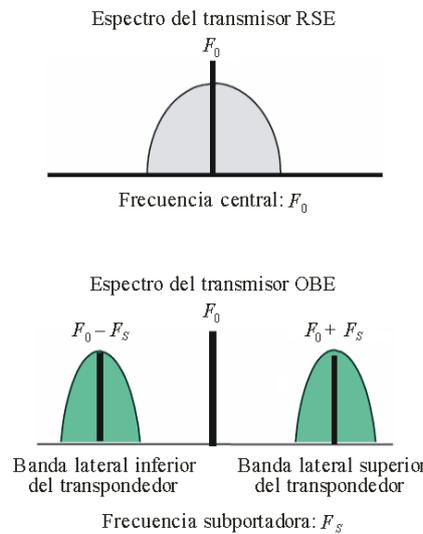
**Gráfico de temporización de la transmisión del método pasivo de retrodifusión**



LandMobV4-27

FIGURA 18

**Espectro de transmisión del RSE y el OBE  
en el método pasivo de retrodifusión**



LandMobV4-18

**Especificación técnica**

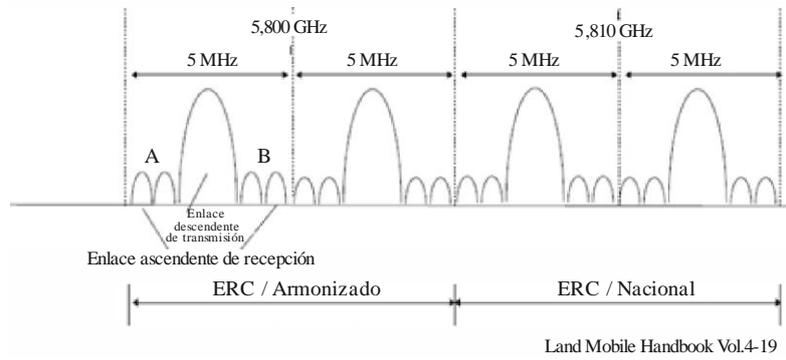
Las características técnicas del método de retrodifusión (transpondedor) europeo se muestran en el Cuadro 7, que es un extracto de la Recomendación UIT-R M.1453-2. Esta Recomendación incorpora la norma europea de «Velocidad de datos moderada» (CEN EN 12253) así como la norma italiana de «Velocidad de datos alta» en una sola Recomendación.

En la norma DSRC europea el OBE soporta dos tipos de frecuencias subportadoras (1,5 MHz y 2,0 MHz). La selección de la frecuencia subportadora depende del perfil indicado por el RSE (se recomienda 1,5 MHz). En la Fig. 19 se muestra el espectro de frecuencias de la norma europea de «velocidad de datos media».

En el caso de la norma italiana de «alta velocidad de datos», la frecuencia subportadora del enlace ascendente del OBE es 10,7 MHz, lo que ofrece una mayor velocidad de transmisión de datos en el enlace ascendente. En la Fig. 20 se muestra el espectro de frecuencias de la norma italiana de «alta velocidad de datos».

FIGURA 19

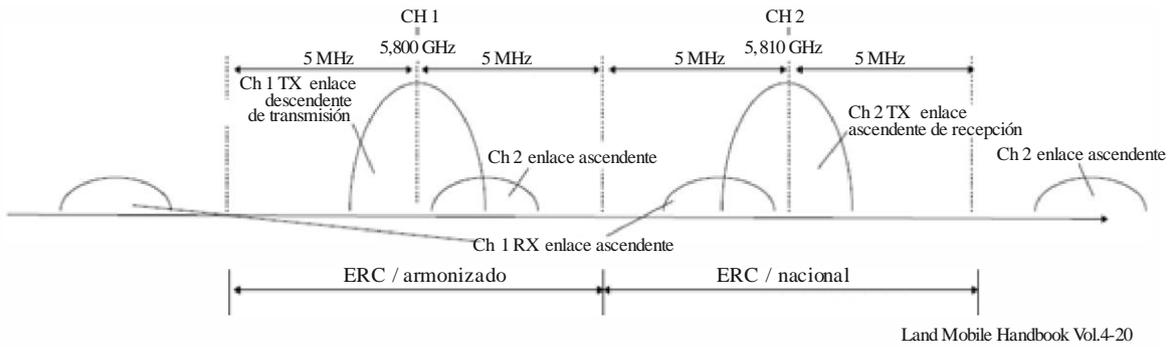
**Espectro de frecuencias de la norma europea de «velocidad de datos media»**



(RAST6(98)29, «Intelligent Transportation System – An ETSI View»)

FIGURA 20

**Espectro de frecuencias de la norma italiana de «alta velocidad de datos»**



(RAST6(98)29, «Intelligent Transportation System – An ETSI View»)

CUADRO 7

**Características del método de retrodifusión (transpondedor)**

Parámetro	Características técnicas	
	Velocidad de datos media	Velocidad de datos alta
Frecuencias portadoras	Banda de 5,8 GHz para el enlace descendente	Banda de 5,8 GHz para el enlace descendente
Frecuencias de subportadora	1,5 MHz/2 MHz (enlace ascendente)	10,7 MHz (enlace ascendente)
Separación de portadoras RF (separación entre canales)	5 MHz	10 MHz
Anchura de banda ocupada permitida	Menos de 5 MHz/canal	Menos de 10 MHz/canal
Método de modulación	MDA (portadora de enlace descendente) MDP (subportadora de enlace ascendente)	MDA (portadora de enlace descendente) MDP (subportadora de enlace ascendente)
Velocidad de transmisión de datos (velocidad binaria)	500 kbit/s (enlace descendente) 250 kbit/s (enlace ascendente)	1 Mbit/s (enlace descendente) 1 Mbit/s (enlace ascendente)
Codificación de datos	FM0 (enlace descendente) NRZI (enlace ascendente)	
Tipo de comunicación	Tipo transpondedor	Tipo transpondedor
p.i.r.e. máxima (Nota 1)	≤ +33 dBm (enlace descendente) ≤ -24 dBm (enlace ascendente: banda lateral única (BLU))	≤ +39 dBm (enlace descendente) ≤ -14 dBm (enlace ascendente: BLU)

NOTA 1 – En la Recomendación 70-03 del ERC se especifican valores de p.i.r.e. de 2 W para los sistemas activos y de 8 W para los sistemas pasivos.

#### 4.1.3.2 DSRC en América

En Estados Unidos de América se utilizan hoy en día distintas tecnologías viales y en vehículos privadas para la recaudación electrónica de peajes en distintas zonas de América del norte. Estas tecnologías no son directamente interoperables, por lo que se necesitan múltiples transceptores para poder recaudar electrónicamente los peajes en esas diversas zonas, donde se han concluido acuerdos de intercambio de datos para lograr una interoperabilidad limitada dentro de esas zonas<sup>8</sup>. A largo plazo se prevé que las tecnologías de vehículos conectados permitan la convergencia de la recaudación electrónica de peajes en una o más tecnologías basadas en normas industriales voluntarias.

#### 4.1.3.3 Antecedentes de la DSRC activa de Japón

En julio de 1996 se estructuró el plan completo para los STI en Japón a fin de promover estos sistemas con una visión a largo plazo. El plan ilustra las funciones propuestas de los STI y los conceptos básicos de desarrollo e instalación en Japón y define veinte servicios de usuario STI, estableciendo objetivos de investigación, desarrollo e instalación para los sectores público, académico e industrial, distribuidos en nueve áreas de desarrollo. Una de estas áreas de desarrollo es el sistema de pago electrónico de peaje (ETC).

<sup>8</sup> <https://www.ibtta.org/sites/default/files/Interoperability%20Background-1.pdf>.

DSRC es una tecnología fundamental para el ETC y otros servicios de aplicaciones STI. En 1994, el Consejo de Tecnología de las Telecomunicaciones, establecido por el Ministerio de Correos y Telecomunicaciones (actualmente Ministerio de Interior y Comunicaciones), inició el desarrollo de las DSRC. En 1997, de conformidad con el Informe de dicho Consejo de Tecnología de las Telecomunicaciones, el citado Ministerio de Correos y Telecomunicaciones publicó la reglamentación sobre DSRC (para ETC). En 1997, la ARIB (Asociación de Industrias y Empresas de Radiocomunicaciones de Japón) estableció y publicó la norma DSRC.

En 1994 el Ministerio de Construcción de Japón (actualmente Ministerio del Territorio, Infraestructura y Transporte), en cooperación con cuatro principales operadores públicos de pagos de peaje y diez consorcios compuestos de empresas privadas, inició un proyecto de investigación conjunta sobre sistemas de pago electrónico de peaje (ETC) con interoperabilidad a escala nacional en Japón. La investigación se completó por una prueba de funcionamiento real que tuvo lugar en la autopista Odawara – Atsugi en 1997.

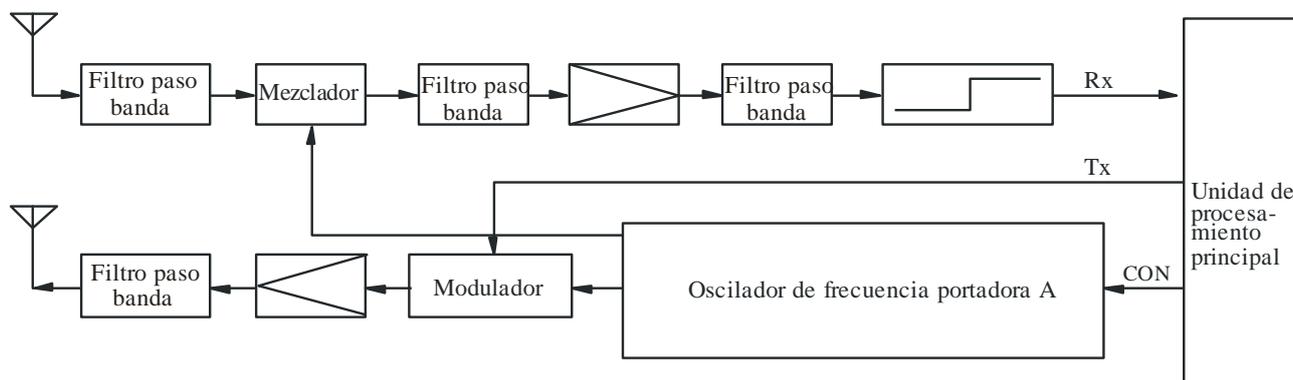
En 2001, se implantaron los servicios ETC en toda la nación. En 2017 el número de abonados ETC alcanzaba los 60 millones. El aumento en el número de abonados permitirá que diversas aplicaciones sean servidas por tecnología DSRC utilizando el mismo OBE. En 2015, empezaron a ofrecerse en autopistas de todo el país los servicios ETC2.0 como, por ejemplo, el servicio de información de tráfico VICS (Sistema de comunicación de información de vehículos).

### **Características técnicas**

El sistema DSRC japonés ha adoptado el método activo (transceptor). Para este método, el OBE va equipado con las mismas funciones que el RSE, el cual incorpora los dispositivos necesarios para las radiocomunicaciones. Más específicamente, tanto el RSE como el OBE llevan un oscilador de frecuencia portadora en la banda de 5,8 GHz y tiene la misma funcionalidad para las transmisiones radioeléctricas. La Fig. 21 representa un diagrama de bloques típico de los circuitos radioeléctricos del OBE. La parte superior de la Fig. 21 corresponde al receptor, la parte inferior es el transmisor y la unidad de procesamiento se sitúa a la derecha. Las antenas de transmisión y recepción pueden compartirse. El OBE en el método activo (transceptor) recibe señales radioeléctricas desde la RSE con la antena situada en la parte superior izquierda. Cada señal recibida pasa a través de cada uno de los bloques funcionales y se procesa en la unidad de procesamiento principal como datos de recepción. La señal de transmisión del OBE es la señal portadora en la banda de 5,8 GHz procedente del oscilador A modulada con los datos de transmisión. La señal se envía por la antena situada en la parte inferior izquierda.

FIGURA 21

**Configuración típica del OBE en el método activo**



LandMobV4-34

El método activo (transceptor) puede adaptarse fácilmente a zonas de comunicaciones pequeñas o grandes controlando la directividad de la antena de transmisión. La huella (zona de comunicación) de una antena ETC es muy pequeña (normalmente 3 m × 4 m). Por otro lado, puede lograrse una huella grande de hasta 30 m de longitud mediante una antena de aproximación para distribución de la información. La tasa de bits con errores (BER) en las huellas es muy baja (inferior a  $10^{-6}$ ). La característica principal del método activo (transceptor) es la constitución de una zona flexible además de los grandes volúmenes de información que pueden comunicarse con elevada fiabilidad. Estas características son indispensables para varios servicios de aplicación STI que utilizan DSRC.

**Especificación técnica**

En el Cuadro 8 figuran las características técnicas del método activo (transceptor) de Japón. Dicho cuadro se ha extraído de la Recomendación UIT-R M.1453-2 y muestran dos especificaciones en la fila de separación entre portadoras de RF. La separación amplia (separación entre canales de 10 MHz) se refiere principalmente a la actual aplicación ATC con el método MDA (modulación por desplazamiento de amplitud). La separación estrecha (separación entre canales de 5 MHz) es para múltiples servicios de aplicación DSRC con los métodos MDA y/o MDP-4. Las especificaciones para la separación estrecha se añadieron en octubre de 2000 cuando el Ministerio de Correos y Telecomunicaciones de Japón (actualmente MIC) revisó la ley de radiocomunicaciones de acuerdo con la propuesta efectuada por el Consejo de Tecnología de Telecomunicaciones sobre aplicaciones de sistemas DSRC de carácter general. La revisión fue propuesta y adoptada por el UIT-R en agosto de 2002 como la Recomendación UIT-R M.1453-1 sobre comunicaciones especializadas de corto alcance modificada.

Se recomienda que la máxima zona de comunicación de DSRC sea menor a 30 m para promover una utilización eficaz de las frecuencias disminuyendo la distancia de reutilización del RSE. También se han adoptado sistemas de DDF para promover una utilización eficaz de las frecuencias radioeléctricas.

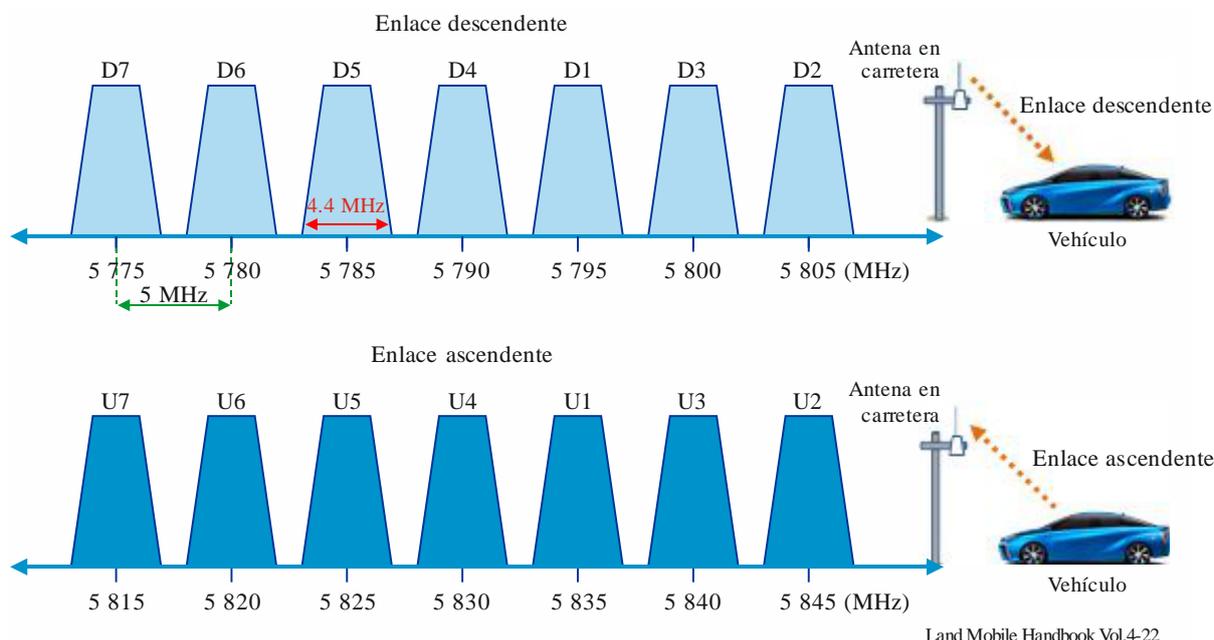
CUADRO 8

**Características del método activo (transceptor)**

<b>Parámetro</b>	<b>Características técnicas</b>
Frecuencias portadoras	Banda de 5,8 GHz para el enlace descendente y el enlace ascendente
Separación entre portadoras RF (separación entre canales)	5 MHz
Ancho de banda ocupado permitido	Menos de 4,4 MHz
Método de modulación	MDA, MDP-4
Velocidad de transmisión de datos (velocidad binaria)	1 024 kbit/s/MDA, 4 096 kbit/s/MDP-4
Codificación de datos	Codificación Manchester/MDA, NRZ/MDP-4
Separación dúplex	40 MHz en el caso de DDF
Tipo de comunicación	Tipo transceptor
p.i.r.e. máxima	≤ 30 dBm (enlace descendente) (Para una distancia de transmisión de 10 m o inferior. Potencia suministrada a la antena ≤ 10 dBm)
	≤ 44,7 dBm (enlace descendente) (Para una distancia de transmisión superior a 10 m. Potencia suministrada a la antena ≤ 24,77 dBm)
	≤ 20 dBm (enlace descendente) (Potencia suministrada a la antena ≤ 10 dBm)

En la Fig. 22 se muestra la disposición de canales de las aplicaciones STI que utilizan DSRC en la banda de 5,8 GHz en Japón.

FIGURA 22  
Disposición de canales DSRC para aplicaciones STI en Japón en la banda de 5,8 GHz



Land Mobile Handbook Vol.4-22

#### 4.1.3.4 DSRC en China

El sistema ETC chino opta por el método activo (transceptor). Tanto el RSE como el OBE operan en la banda de 5,8 GHz. Hay dos clases especificada sen la capa física. La clase A con modulación MDA debe ajustarse al requisito básico de la aplicación ETC. La clase B con modulación MDF debe cumplir los requisitos de transmisión de datos de alta velocidad. En los Cuadros 9 y 10 respectivamente se muestran las características técnicas del enlace descendente y del enlace ascendente.

CUADRO 9

#### Características técnicas del enlace descendente del sistema ETC de China

Parámetro		Clase A	Clase B
Frecuencias portadoras	Canal 1	5 830 MHz	5 830 MHz
	Canal 2	5 840 MHz	5 840 MHz
Ancho de banda ocupado permitido		≤ 5 MHz	≤ 5 MHz
Método de modulación		MDA	MDF
Velocidad de transmisión de datos (velocidad binaria)		256 kbit/s	1 Mbit/s
Codificación de datos		FM0	Manchester
p.i.e.		≤ +33 dBm	≤ +33 dBm

CUADRO 10

**Características técnicas del enlace ascendente del sistema ETC de China**

Parámetro		Clase A	Clase B
Frecuencias portadoras	Canal 1	5 790 MHz	5 790 MHz
	Canal 2	5 800 MHz	5 800 MHz
Ancho de banda ocupado permitido		≤ 5 MHz	≤ 5 MHz
Método de modulación		MDA	MDF
Velocidad de transmisión de datos (velocidad binaria)		512 kbit/s	1 Mbit/s
Codificación de datos		FM0	Manchester
p.i.r.e.		≤ +10 dBm	≤ +10 dBm

**4.1.3.5 DSRC activa en Corea**

**Antecedentes**

En Corea la creciente demanda de instalaciones y servicios de transporte se vio causada por el rápido crecimiento de población y empleo en zonas urbanas. El Ministerio de Asuntos Territoriales, Infraestructuras y Transportes (MOLIT) de Corea anunció la puesta en marcha del proyecto sistemas avanzados de transportes, que supuso un hito en el inicio de los STI en Corea. En otoño de 2000 el MOLIT escogió Daejeon, la isla Jeju y la ciudad de Jeonju como modelo urbano para el despliegue de sistemas STI. Este proyecto dio pie al desarrollo de tecnologías STI por los socios del sector público y el sector privado.

La tecnología DSRC coreana es fruto del proyecto nacional del Ministerio de Ciencia y TIC (MSIT) entre 1998 y 2000. En 2001 se asignó la banda de frecuencias radioeléctricas de 5,8 GHz a las aplicaciones STI. Hay dos bandas de frecuencias: una de 20 MHz (5,795~5,815 GHz) para STI públicos y otra de 20 MHz (5,835~5,855 GHz) para los operadores de STI.

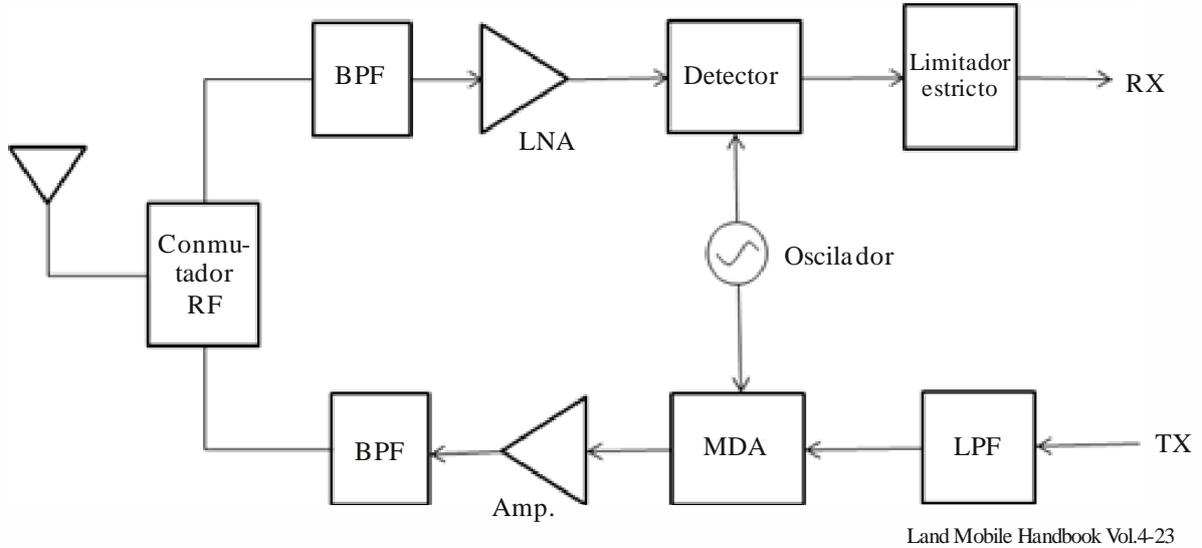
La tecnología DSRC coreana se utiliza para la recaudación electrónica de peajes (ETC) y el sistema de información de autobuses (BIS). El nombre comercial de la ETC en Corea es «Hi-Pass». Hi-Pass ofrece un servicio de peaje automático en las estaciones de peaje en autopistas. La tecnología DSRC coreana se utiliza para BIS en zonas urbanas. Cuando el autobús público llega a una parada, se conecta al centro STI a través de un RSE y de la red alámbrica. El centro STI podrá detectar el número de autobús y su emplazamiento y enviará el tiempo de llegada y salida a la parada. Los pasajeros podrán conocer el emplazamiento del autobús y su situación en el tráfico. En 2004 se inició la comercialización de Hi-Pass, cuyo número de abonados superó los 10 millones.

**Características técnicas**

La banda de frecuencias DSRC de Corea tiene un ancho de banda de canal de 10 MHz y una potencia radiada de 10 mW, excluida la ganancia de antena. Adopta un esquema TDD para utilizar una única portadora RF en el acceso de enlace ascendente y enlace descendente, más eficaz a la hora de utilizar las frecuencias que el esquema FDD. La TDD tiene un conmutador RF para seleccionar la señal transmitida o la señal recibida. En la parte de transmisión, los datos digitales transmitidos se transforman en una señal modulada con un filtro paso bajo (LPF) y modulación por desplazamiento en amplitud (MDA). En la parte de recepción, la señal RF recibida se recupera con un detector de envolvente y un limitador estricto, como se muestra en la Fig. 23.

FIGURA 23

**Configuración de la OBU en el esquema DSRC TDD**



Land Mobile Handbook Vol.4-23

**Especificación técnica**

La DSRC de Corea tiene una cobertura radioeléctrica inferior a 100 m y su tiempo de comunicación permisible está limitado a cientos de milisegundos. Por consiguiente, debe ofrecer un establecimiento de enlace rápido y comunicación bidireccional cuando el vehículo está en movimiento. La velocidad de datos transmitidos es de 1,024 Mbit/s y la velocidad de datos se duplica con la codificación Manchester, que es la codificación que permite pasar de bajo a alto o de alto a bajo en lo que respecta al tiempo de bit. La codificación Manchester ayuda a recuperar el reloj en el receptor. La potencia RF es de 10 dBm (10mW).

CUADRO 11

**Especificación técnica de la comunicación DSRC en Corea**

Parámetro		Características radioeléctricas
Frecuencias portadoras	Canal 1	5,80 GHz
	Canal 2	5,810 GHz
Espaciamiento de portadoras RF		10 MHz
Método de modulación		MDA (modulación por desplazamiento en amplitud)
Velocidad de transmisión de datos		1,024 Mbit/s
Velocidad de codificación de datos		Manchester
Potencia RF máxima		10 dBm
Duplexación		TDD

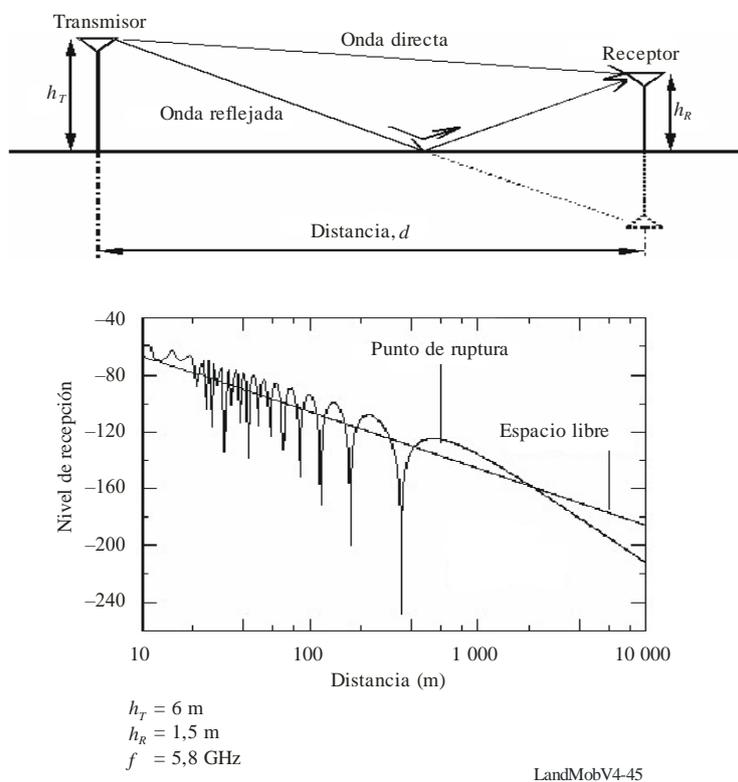
#### 4.1.4 Características de propagación radioeléctrica de DSRC

##### Propagación radioeléctrica

En la propagación radioeléctrica DSRC la reflexión en el suelo es el elemento más importante para determinar las características de recepción en el receptor. La Fig. 24 muestra la relación entre los trayectos directo y reflejado y un ejemplo del nivel de recepción en el receptor a distancia. Las ondas directa y reflejada en el suelo pueden aumentar o disminuir el nivel de recepción, dependiendo de la diferencia ( $\Delta_r = 2h_T h_R / d$ ) entre las longitudes de los trayectos directo y reflejado. Como las ondas directa y reflejada en el suelo interfieren de forma constructiva o destructiva dependiendo de la relación de fase entre la onda directa y reflejada, el nivel de recepción en el receptor varía notablemente hasta el punto de ruptura ( $d_{BP} = (4h_T h_R) / \lambda$ , siendo  $\lambda$  la longitud de onda) a partir del cual la onda reflejada empieza a cancelar la onda directa de manera permanente y el nivel de recepción disminuye más rápidamente ( $1/d^4$ ) que el nivel en el espacio libre ( $1/d^2$ ).

FIGURA 24

##### Modelo de propagación de dos rayos



Pueden observarse tres zonas, caracterizadas por la distancia entre el transmisor y el receptor:

- Zona 1: Hasta varias decenas de metros (normalmente hasta 30 m).

Aunque el nivel de recepción teórico en el receptor varía con la distancia debido a las reflexiones en el suelo, puede despreciarse en gran medida gracias a la directividad de la antena del transmisor y el receptor. Esta zona es la más adecuada para las aplicaciones DSRC.

- Zona 2: Desde varias decenas de metros hasta el punto de ruptura.  
El nivel de recepción en el receptor varía considerablemente con la distancia y los vehículos que se desplazan a lo largo de la carretera experimentan un rápido desvanecimiento.
- Zona 3: Más allá del punto de ruptura.  
El nivel de recepción disminuye rápidamente ( $1/d^4$ ). Los vehículos que se desplazan a lo largo de la carretera están sujetos a una interferencia más severa.

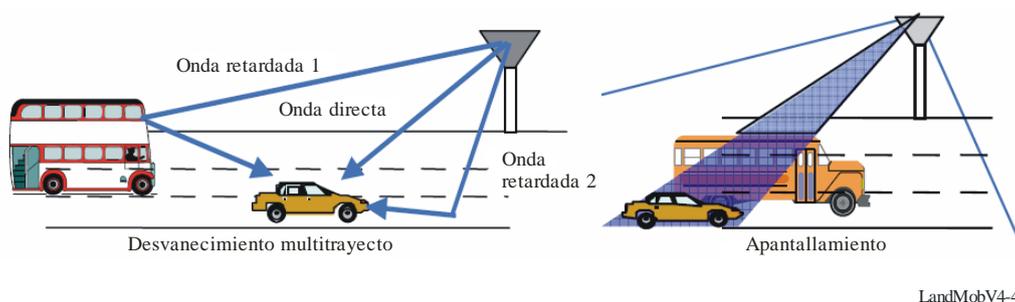
### Características de la propagación radioeléctrica

Además de las características del modelo de propagación de dos rayos descrito anteriormente, deben considerarse los siguientes factores de interferencia en un entorno DSRC real:

- Desvanecimiento multirrayecto: La propagación multirrayecto debida a la dispersión y reflexión en el suelo, los edificios y otros vehículos da lugar a un rápido desvanecimiento en los vehículos que circulan a alta velocidad. Véase la Fig. 25.
- Dispersión por retardo: Cuando la información digital se transmite a una elevada velocidad de datos, deben considerarse los efectos de la dispersión por retardo (distorsión causada por el tiempo de dispersión introducido por canales multirrayecto).
- Apantallamiento: Las pérdidas de difracción debidas al apantallamiento producido por grandes obstáculos, tales como un autobús, provoca una atenuación significativa del valor de la intensidad de campo. Véase la Fig. 25.
- Efecto Doppler: Especialmente a frecuencias elevadas y en vehículos que se desplazan a gran velocidad, deben considerarse los efectos Doppler (distorsión causada por la dispersión de frecuencia debida al efecto Doppler).

FIGURA 25

#### Desvanecimiento multirrayecto y apantallamiento



## 4.2 Radiocomunicación STI avanzada

### 4.2.1 Introducción

La radiocomunicación STI avanzada es también una comunicación de corto alcance especializada para la comunicación vehículo a vehículo (V2V) y vehículo a infraestructura (V2I) en el entorno vehicular para aplicaciones de seguridad. Una conexión V2V supone una comunicación directa par a par sin conexión con la infraestructura y puede utilizarse para aplicaciones de seguridad de vehículos.

La DSRC existente es también una comunicación de corto alcance especializada para la conectividad V2I en la banda de frecuencias ICM. Sin embargo, la radiocomunicación STI avanzada ofrece conectividad tanto V2I como V2V en una banda de frecuencias particular para las aplicaciones de seguridad. En el Cuadro 12 se comparan las características técnicas de la DSRC (Corea) y la radiocomunicación STI avanzada (WAVE).

La comunicación V2V utiliza un método de control de acceso distribuido, porque todos los OBU podrán intentar acceder al canal radioeléctrico cuando el OBU tenga datos que enviar. La comunicación V2V utiliza el método de control de acceso distribuido para garantizar que cada OBU pueda intentar acceder al canal radioeléctrico cuando el OBU tenga datos que enviar.

El acceso inalámbrico en el entorno vehicular (WAVE) de América del Norte es un ejemplo típico de comunicación V2X. De acuerdo con su especificación, WAVE se ajusta a los requisitos de latencia de paquetes (100 ms), tasa de errores en los paquetes (10%), alcance radioeléctrico (300 m) y velocidad de los vehículos (200 km/h) de los sistemas de seguridad. También cumple los requisitos de autenticación de datos y seguridad, necesarios al incluirse en los mensajes de seguridad información sobre la ubicación del vehículo. La comunicación WAVE también puede emplearse para otros STI con un alcance de hasta 1 km. En el Cuadro 12 se presenta una comparación entre DSRC y la radiocomunicación STI avanzada.

CUADRO 12

**Comparación de las características técnicas de DSRC  
y la radiocomunicación STI avanzada**

<b>Parámetro</b>	<b>DSRC</b>	<b>Radiocomunicación STI avanzada</b>
Banda de frecuencias	ICM	Banda de frecuencias particular
Conectividad	V2I	V2I y V2V
Duplexación	FDD, TDD	TDD
Modulación	MDA	MDFO <sup>9</sup>
Velocidad de transmisión de datos	1 024 Mbit/s	Máximo 27 Mbit/s <sup>10</sup> , típicamente 6 Mbit/s para comunicaciones de seguridad en los sistemas desplegados
Potencia RF máxima	10 dBm	Máximo 44 dBm (40 Watt), típicamente 20 mW para sistemas de seguridad desplegados
Latencia de datos	Baja	Inferior a 100 ms
Cobertura radioeléctrica	Inferior a 100 m	Máximo 1 000 m, cobertura omnidireccional de 300 m con una tasa máxima de errores en los paquetes del 10% para sistemas de seguridad desplegados

<sup>9</sup> IEEE Std. 802.11™-2016, p 2303, Capítulo 17.

<sup>10</sup> IEEE Std. 802.11™-2016, p 2303, Cuadro 17-16 para un canal de 10 MHz.

La tecnología de radiocomunicación STI avanzada también ofrece el establecimiento y la terminación rápidos de enlace para las aplicaciones C-ITS y de seguridad en vehículos. La radiocomunicación STI avanzada ofrece una mejor calidad de funcionamiento que la DSRC existente en términos de latencia de paquetes, velocidad de datos, y cobertura radioeléctrica. La radiocomunicación STI avanzada tiene las siguientes características:

- Comunicación de datos en paquetes mediante una conexión V2I o V2V.
- Establecimiento y terminación rápidos de enlace en una zona puntual.
- Comunicación fiable en el entorno vehicular.
- Autenticación de datos y seguridad.

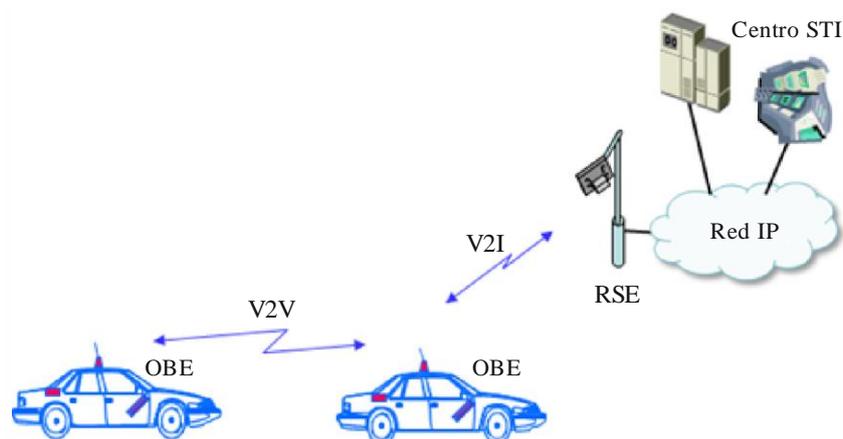
#### 4.2.2 Configuración del sistema

El sistema de radiocomunicación STI avanzado consta de equipos de a bordo (OBE) y equipos en carretera (RSE) como se muestra en la Fig. 26. Los OBE son unidades radioeléctricas en vehículos y los RSE son unidades radioeléctricas en la carretera. Estos mismos términos se utilizan para la comunicación DSRC. Los RSE se conectan al centro STI por una red IP de infraestructura alámbrica o inalámbrica.

La radiocomunicación STI avanzada utiliza un esquema de acceso al canal distribuido, pues todos los OBE podrán intentar acceder al canal radioeléctrico en el momento en que necesiten enviar un mensaje.

FIGURA 26

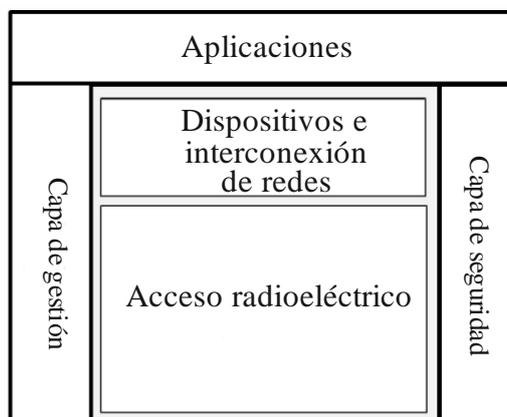
#### Sistema de radiocomunicación STI avanzada



Como se muestra en la Fig. 27, el modelo de referencia de los OBE y los RSE prevé una capa de acceso radioeléctrico, una capa de dispositivos e interconexión de redes y una capa de aplicación. La capa de acceso radioeléctrico soportará conexiones V2X entre vehículos y RSE. La capa de dispositivos y de interconexión de redes ofrece información contextual sobre el vehículo y la carretera en tiempo real (por ejemplo, mapa dinámico local). Se soporta la interconexión de redes IP y no IP. Las capas de gestión y de seguridad están conectadas a la capa de acceso radioeléctrico, la capa de dispositivos e interconexión de redes y la capa de aplicación para la inicialización y gestión del sistema, la autenticación de ID y la seguridad de los datos.

FIGURA 27

**Modelo de referencia de la comunicación V2X  
para STI avanzados**



Land Mobile Handbook Vol.4-27

### 4.2.3 Características técnicas

#### 4.2.3.1 STI G5 en Europa

##### Antecedentes

La comunicación STI cooperativa (STI-C) se basa en sistemas de comunicación *ad hoc* inalámbricos interoperables y normalizados. La interoperabilidad debe estar, como mínimo, garantizada en distintas regiones de todo el mundo. Este requisito de interoperabilidad no implica la utilización de sistemas exactamente idénticos en todas las regiones, por ejemplo, STI-C en Europa en 5,9 GHz se basa principalmente en IEEE 802.11p y ETSI ITS-G5, mientras que en Estados Unidos en 5,9 GHz se basa en un sistema IEEE 802.11p y WAVE ligeramente distinto, como se describe anteriormente. Estas tecnologías ya están normalizadas, se han llevado a cabo numerosas pruebas y validaciones, las primeras implementaciones ya existen y su despliegue está en curso. La mayoría de los sistemas reales se basan en una capa de acceso bien definida (capa PHY y capa MAC), normalizada en IEEE802 como IEEE802.11p, que hoy forma parte integrante del conjunto de normas IEEE802.11TM-2016.

En algunos países, de conformidad con la Recomendación UIT-R M.2121-0 (2019) – Armonización de las bandas de frecuencias para los sistemas de transporte inteligentes en el servicio móvil, se ha escogido una banda dentro de la gama 5 850-5 925 MHz (hasta 75 MHz de ancho de banda) como banda principal para el funcionamiento futuro de los STI-C relacionados con la seguridad del tráfico. Además, la CEPT ha designado la banda de frecuencias 63,72-65,88 GHz para las aplicaciones de seguridad del tráfico en el servicio móvil.

En todo el mundo hay numerosas organizaciones de normalización involucradas en la normalización de STI-C, siendo las más importantes, y que cuentan con el firme apoyo de la industria del automóvil, IEEE/WAVE/SAE en Estados Unidos y ETSI TC ITS en Europa. Estas actividades están respaldadas por los consorcios industriales CAMP (Crash Avoidance Metric Partnership) en Estados Unidos y C2C-CC (CAR-to-CAR Communication Consortium) en Europa.

C2C-CC es una asociación industrial sin fines lucrativos formada por 16 fabricantes de vehículos, 37 proveedores y 28 institutos de investigación europeos, dedicada a la cooperación en materia vial a fin de mejorar la seguridad en carretera, la eficiencia y la comodidad de conducción. El consorcio C2C-CC desempeña un papel importante en la definición de normas europeas sobre STI-C y coopera estrechamente con el consorcio CAMP de Estados Unidos. Para armonizar y uniformizar el despliegue de STI-C en vehículos e infraestructuras viales en Europa en 2019, el consorcio se integró en el Grupo de Ámsterdam, que es una alianza estratégica en la que participan el CAR 2 CAR Communication Consortium, la ASECAP (Asociación de operadores de infraestructuras de peaje), la CEDR (Conferencia Europea de Directores Generales de Carreteras) y POLIS (European Cities and Regions Networking for Innovative Transport Solutions). Además, el consorcio participa activamente en los trabajos de la Plataforma de despliegue de STI-C organizada por la Comisión Europea.

El C2C-CC participó en el diseño inicial de las tecnologías de comunicación vehículo a vehículo con la publicación de un manifiesto. También ha contribuido a la validación de STI-C participando en pruebas operativas en el terreno y en proyectos de STI-C transfronterizos, centrándose además en las pruebas de interoperabilidad.

En 2007, el CAR 2 CAR Communication Consortium publicó su Manifiesto en su sitio web<sup>11</sup>. Este documento sirvió de base a la primera demostración de interoperabilidad llevada a cabo en 2008 en el laboratorio de pruebas de Opel en Dudenhofen.

En el documento se expone cómo los STI-C pueden mejorar la seguridad y la eficacia viales y cómo se puede utilizar el sistema de comunicaciones con fines de información y ocio, entre otros. A partir de las hipótesis expuestas se derivan los requisitos previos y limitaciones del sistema y se desarrolla la arquitectura del mismo. Esa arquitectura describe los principios de comunicación, los componentes individuales, la arquitectura de las capas y los protocolos relacionados. En los Capítulos siguientes se describen las aplicaciones, el sistema radioeléctrico y de comunicación, además de la seguridad de los datos y la privacidad.

En el documento se especifica el perfil normalizado que permite la interoperabilidad de las unidades STI-C. La primera versión del perfil de sistema básico (BSP) se publicó para uso interno del C2C-CC a finales de 2014. La versión revisada del BSP más reciente se presentó a los miembros del consorcio y al público en 2020 y se mantiene al día<sup>11</sup>. Esa versión contiene una especificación de sistema que se complementa con una serie de normas y parámetros. Permite probar los aspectos con que contarán las aplicaciones del «día uno».

### **Características técnicas**

La norma ETSI ITS-G5 es fruto de los trabajos del Comité Técnico ITS (sistemas de transporte inteligentes) del ETSI. El sistema básico está totalmente armonizado con el sistema V2X (WAVE) de Estados Unidos, como se describe en las secciones anteriores.

ETSI ITS-G5 se ha creado como un sistema *ad hoc* completo que no depende de ningún componente de red fija, como los puntos de acceso, las estaciones base o demás componentes infraestructurales. Sin embargo, el despliegue de infraestructura basada en las normas ETSI ITS-G5 como parte de la red *ad hoc* puede aumentar las capacidades operativas al introducir información basada en la infraestructura.

Las aplicaciones STI dependen de una comunicación muy fiable y con baja latencia, así como de un control de congestión distribuido (CCD), que mantiene la estabilidad de la red, la eficacia del caudal y la atribución equitativa de recursos gracias al control de la potencia de transmisión (TPC) y al ajuste de la velocidad de datos y la velocidad de paquetes.

---

<sup>11</sup> <https://www.car-2-car.org/documents/basic-system-profile/>.

La banda de frecuencias 5 855-5 925 MHz para aplicaciones STI se divide en canales de 10 MHz de ancho de banda. La densidad de potencia espectral máxima para las estaciones STI debe limitarse a una p.i.r.e. de 23 dBm/MHz, pero la potencia total no debe rebasar una p.i.r.e. de 33 dBm con un control de potencia de transmisión (TCP) de hasta 30 dB. La CEPT ha designado la porción inferior de 20 MHz de la banda de frecuencias para las aplicaciones STI no relacionadas con la seguridad del tráfico, como las destinadas a mejorar su eficacia; y ha designado la porción superior de 50 MHz de la banda de frecuencias para las aplicaciones STI de seguridad del tráfico, como el intercambio de información situacional crítica, cuyo objetivo es reducir el número de muertes o accidentes de tráfico gracias a la comunicación entre estaciones STI. En el Cuadro 13 se resume la asignación de canales de frecuencias al sistema STI, que comprende la comunicación V2V y V2I para STI en carretera. En el ámbito de competencias de la CEPT y la UE se designa una porción adicional de 10 MHz de la banda 5 925-5 935 MHz a los STI ferroviarios urbanos que no entran dentro del alcance de este Informe.

CUADRO 13

**Asignación de canales de frecuencias al STI**

Aplicación	Reglamentación	Gama de frecuencias (MHz)	Año de despliegue efectivo o planificado
Comunicación V2V y V2I	CEPT: ECC/REC/(08)01 EU: (EU) 2019/1345	5 855 a 5 865	
		5 865 a 5 875	
STI de seguridad del tráfico, comunicación V2V y V2I	CEPT: ECC/DEC/(08)01 EU: (EU) 2020/1426	5 875 a 5 885	Despliegue de infraestructura en algunos Estados miembros desde 2016 <sup>12</sup> , despliegue de vehículos en 2019 <sup>13</sup>
		5 885 a 5 895	
		5 895 a 5 905	
		5 905 a 5 915	
		5 915 a 5 925	
STI de seguridad del tráfico, comunicación V2V y V2I	CEPT: <u>ECC DEC (09)01</u> EU: <u>(EU) 2019/1345</u>	63,72-65,88 GHz	

**Especificación técnica**

El sistema ETSI ITS-G5 especifica un mecanismo de protección de los sistemas ETC basado en CEN-DSRC en la banda 5 795-5 815 MHz. Estos mecanismos y restricciones optimizan la coexistencia de dos sistemas que operen muy cerca uno de otro.

Además, los sistemas ETSI ITS-G5 deben aplicar un mecanismo de control de la congestión para garantizar el funcionamiento sin escollos cuando el canal esté muy cargado. Este mecanismo se define en ETSI TS 103 175.

En el Cuadro 14 se muestran las características principales del transmisor de ETSI ITS-G5. En el Cuadro 15 se muestra la máscara espectral del transmisor de ETSI ITS-G5 para un ancho de banda de canal de 10 MHz.

<sup>12</sup> <https://www.c-roads.eu/platform.html>.

<sup>13</sup> <https://www.volkswagenag.com/en/news/2017/06/pwlan.html>.

CUADRO 14

**Características principales del transmisor**

Parámetro	Valor	
Ancho de banda de emisión de 3 dB (MHz)	10 MHz	
Potencia (cresta) p.i.r.e. (dBm)	33 dBm	
Densidad espectral de potencia p.i.r.e. dBm/MHz	23 dBm/MHz	
Velocidad de datos	3, 4,5, 6, 9, 12, 18, 24 y 27 Mb/s	
Parámetros de modulación	Modulación: MDP-2, DP-4, MAQ16, MAQ64	Velocidad de codificación: 1/2, 3/4, 2/3
Diagrama de antena con respecto al eje acimutal	Vehículos – Omnidireccional (360°); en ocasiones se utilizan antenas sectorizadas con antenas transmisoras de la infraestructura ETSI-ITS-G5	

CUADRO 15

**Máscara espectral del transmisor para un ancho de canal de 10 MHz de acuerdo con ETSI EN 302-571 v2.1.1**

Frecuencia portadora $f_c$ (dBc)	Desplazamiento $\pm 4,5$ MHz (dBc)	Desplazamiento $\pm 5,0$ MHz (dBc)	Desplazamiento $\pm 5,5$ MHz (dBc)	Desplazamiento $\pm 10$ MHz (dBc)	Desplazamiento $\pm 15$ MHz (dBc)
0	0	-26	-32	-40	-50

**4.2.3.2 WAVE de América del Norte**

**Antecedentes**

WAVE es un sistema de radiocomunicación móvil especializado para las comunicaciones no vocales entre vehículos en movimiento por carretera, vías ferroviarias y demás instalaciones conexas, además de comunicaciones entre esos vehículos y la infraestructura de transporte. WAVE es, por consiguiente, una tecnología fundamental para la comunicación STI, que contribuye a establecer vínculos entre las carreteras, el tráfico y los vehículos con cobertura STI gracias a la tecnología de la información coordinada e interoperable. Esta tecnología inalámbrica puede ser clave en la evolución de los sistemas de transporte, pues ofrece capacidades de comunicaciones par a par muy localizadas y con baja latencia. Se prevé que esas capacidades colmen las necesidades de datos, tanto planificadas como por venir, de los sistemas de transporte en evolución, futuros y más automatizados. Concretamente, los sistemas WAVE utilizan la radiodifusión como medio primario en beneficio público, aunque también permiten la comunicación bidireccional entre vehículos e infraestructuras, incluida la capacidad de enviar mensajes de menor prioridad sobre las unidades específicas implantadas en diversos entornos de transporte públicos y privados.

WAVE se utiliza en Estados Unidos para «mejorar la seguridad de los viajeros, reducir la congestión de tráfico, propiciar la reducción de la contaminación aérea y facilitar la conservación de combustibles fósiles esenciales»<sup>14</sup>, y, particularmente en Estados Unidos, para reducir las muertes en carretera. Aunque aún no se ha desplegado masivamente, en Estados Unidos se han creado múltiples aplicaciones, algunas de las cuales ya se han probado sobre el terreno a gran escala o están operativas a título experimental<sup>15</sup>. Gracias a ello Estados Unidos dispone de un amplio conocimiento de estas aplicaciones que abundan en la seguridad de los transportes, la movilidad y la conservación medioambiental en el contexto de los STI avanzados. Las aplicaciones STI WAVE están diseñadas para realizar operaciones que mejoran la seguridad y la fluidez del tráfico, así como otras aplicaciones de servicios de transporte inteligentes, incluido el aumento de la eficacia y el funcionamiento de los sistemas de transporte (por ejemplo, facilitando la gestión del movimiento y el transporte de mercancías por carretera en el marco de las operaciones de emergencia). Los principales objetivos del despliegue en Estados Unidos de aplicaciones STI avanzadas que utilizan las comunicaciones WAVE son la seguridad del transporte, la interoperabilidad a escala nacional, la estabilidad técnica a largo plazo, la normalización industrial voluntaria y el soporte en beneficio público.

### **Características técnicas**

Equipo de abordaje (OBE WAVE): El OBE está formado por un equipo de comunicaciones y de procesamiento instalado en vehículos para permitir la comunicación WAVE con otros vehículos y con la infraestructura, además de soportar las aplicaciones WAVE. Los OBE pueden alcanzar su mayor eficacia cuando están integrados en los vehículos y pueden interactuar con otros equipos de abordaje, como los sensores del vehículo, el sistema antibloqueo de ruedas y otros subsistemas, a fin de complementarlos.

Unidad en carretera (RSU WAVE): Una RSU WAVE se instala sobre la carretera u otro tipo de infraestructura, o a lo largo de la misma, y comunica con los OBE cercanos utilizando señales radioeléctricas. Una RSU está formada por circuitos de radiocomunicaciones, un circuito de procesamiento de aplicación y otros equipos conexos. Puede establecer enlaces de datos con los centros de gestión del tráfico (CGT) y otros equipos en carretera (como los controladores de señales de tráfico), además de a Internet, a fin de intercambiar datos y mantener la información de credenciales de seguridad.

Los sistemas WAVE funcionan transmitiendo señales radioeléctricas para el intercambio de datos entre OBE instalados en vehículos y entre los OBE y las RSU implantadas en la infraestructura. Respetando los requisitos definidos por normas industriales, estos sistemas efectúan un intercambio de datos que garantiza la interoperabilidad con una amplia gama de dispositivos y aplicaciones de distintos fabricantes. La interoperabilidad es clave para soportar la adopción rápida y generalizada de aplicaciones que aumentan la eficacia operativa, del sistema y de la seguridad, además de reportar otros beneficios públicos.

---

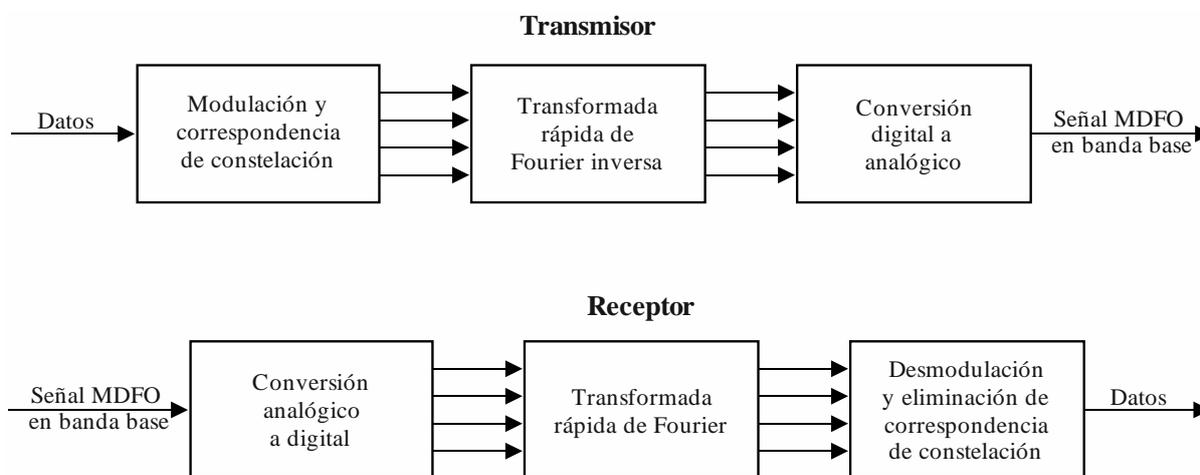
<sup>14</sup> Federal Register, Volume 64, Issues 225-227, page 66405.

<sup>15</sup> «Collaborative Connected Vehicle Research Update» ([https://www.its.dot.gov/presentations/CV\\_PublicMeeting2013/PDF/Day1\\_LukucInteroperability.pdf](https://www.its.dot.gov/presentations/CV_PublicMeeting2013/PDF/Day1_LukucInteroperability.pdf)) at 10-12; «Safety Pilot Model Deployment: Lessons Learned and Recommendations for Future Connected Vehicle Activities» (<https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/4361>) at 11-12; «CV Applications Already Deployed by Responding Agencies» ([http://transops.s3.amazonaws.com/uploaded\\_files/V2I%20DC%20TWG%201%20-%20January%2028%2C%202016%20Webinar%20Slides%20V3.pptx](http://transops.s3.amazonaws.com/uploaded_files/V2I%20DC%20TWG%201%20-%20January%2028%2C%202016%20Webinar%20Slides%20V3.pptx)) at 30; «Maricopa County Department of Transportation (MCDOT) SMARTDriveSM Program» (<https://www.maricopa.gov/640/Connected-Vehicles-Program>); «Connected Vehicle Pilot Deployment Program Phase 1: Concept of Operations (ConOps) – New York City» (<https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/30881>) at 36; «Connected Vehicle Pilot Deployment Program: ICF/Wyoming Concept of Operations» ([http://www.its.dot.gov/pilots/pdf/ICF\\_ConOpsWebinar\\_02042016.pdf](http://www.its.dot.gov/pilots/pdf/ICF_ConOpsWebinar_02042016.pdf)) at 34.

Mucha de la información que figura en los cuadros siguientes procede de la norma 802.11-2016. La modulación utilizada para WAVE MDFO semitemporizada en canales de 10 MHz. En la Fig. 28 se muestra el diagrama de bloques de transmisión y recepción MDFO básico.

FIGURA 28

**Transmisor y receptor WAVE**



Land Mobile Handbook Vol.4-28

Las aplicaciones WAVE pueden acceder a cualquiera de los siete canales de 10 MHz mediante la asignación dinámica determinada por el canal de control, como se muestra en el Cuadro 16, pero no utilizan los canales combinados de 20 MHz, denominados Canales 175 y 181 en el Cuadro. Este plan de bandas prevé canales dedicados a la seguridad ante accidentes inminentes (Canal 172) y aplicaciones de seguridad pública de alta potencia (Canal 184), así como a la asignación flexible de otros canales de servicio mediante el mecanismo del canal de control para soportar una amplia gama de aplicaciones STI avanzados WAVE. Muchas aplicaciones sólo utilizarán parcialmente un canal asignable concreto en un momento y lugar determinados, lo que permite la compartición entre aplicaciones WAVE de cada canal de servicio asignable.

Las aplicaciones de seguridad no asignadas previamente a canales particulares suelen utilizar el canal de control para transmitir esporádicamente mensajes muy breves o esperar a que el canal de control les anuncie mediante los anuncios de servicio WAVE (WSA) el canal por el que pueden comunicar, siempre y cuando esos mensajes sean menos dependientes de una muy baja latencia. Los mensajes con menor prioridad suelen utilizar los WSA en el canal de control para que se les asigne un canal de servicio que no esté totalmente ocupado por comunicaciones de seguridad en ese momento y lugar. Esta asignación flexible de los mensajes de aplicación a los distintos canales de servicio de cada emplazamiento facilita la eficiencia espectral y reduce la interferencia entre aplicaciones WAVE.

CUADRO 16

**Plan de bandas para WAVE en Estados Unidos**

5,850 GHz							5,925 GHz
		CH175			CH181		
5 850-5 855 reservado 5 MHz	CH172 servicio 10 MHz	CH174 servicio 10 MHz	CH176 servicio 10 MHz	CH178 control 10 MHz	CH180 servicio 10 MHz	CH182 servicio 10 MHz	CH184 servicio 10 MHz

NOTA – Este plan de bandas podrá ser revisado en caso de cambio de la reglamentación resultante del procedimiento reglamentario en curso en Estados Unidos.

**Especificación técnica**

CUADRO 17

**Características del transmisor**

Parámetro	Valor	
Ancho de banda de emisión de 3 dB (MHz)	10 MHz	
Potencia (cresta) (dBm)	p.i.r.e. de 23 a 44,8 dBm (en función del canal utilizado, de si se trata de una RSU o un OBE y de si es uso gubernamental o privado); además, las transmisiones sólo utilizarán la potencia necesaria para el soporte de la aplicación de que se trate	
Espectro de emisión	Atenuación	$\Delta F$
	Véase la Fig. 29	Véase la Fig. 29
Velocidad de datos	6 Mb/s	
Parámetros de modulación	Modulación MDP4	Velocidad de codificación 1/2
Diagrama de antena con respecto al eje acimutal	Vehículos – omnidireccional (360°); en ocasiones se utilizan antenas sectorizadas con antenas transmisoras WAVE en la infraestructura	
Diagrama de elevación de antena con respecto al eje	-6 a +10 grados – infraestructura vehicular – dependiente de la implementación	
Altura de antena (metros)	1,5-15 m	
Polarización de antena	Primariamente vertical (en algunos casos, circular dextrógira)	

CUADRO 18

**Clasificación de potencia de transmisión STA máxima para la banda 5 850-5 925 MHz en Estados Unidos**

Clasificación de potencia de transmisión STA	Potencia de transmisión STA máxima (mW)	p.i.r.e. máxima permitida (dBm)
A	1	23
B	10	33
C	100	33
D	760 Téngase en cuenta que para esta clase se permite una potencia superior siempre y cuando el nivel de potencia se reduzca a este nivel en la entrada de la antena y se cumplan las especificaciones de la máscara de emisión	33 para no gubernamental 44,8 para gubernamental

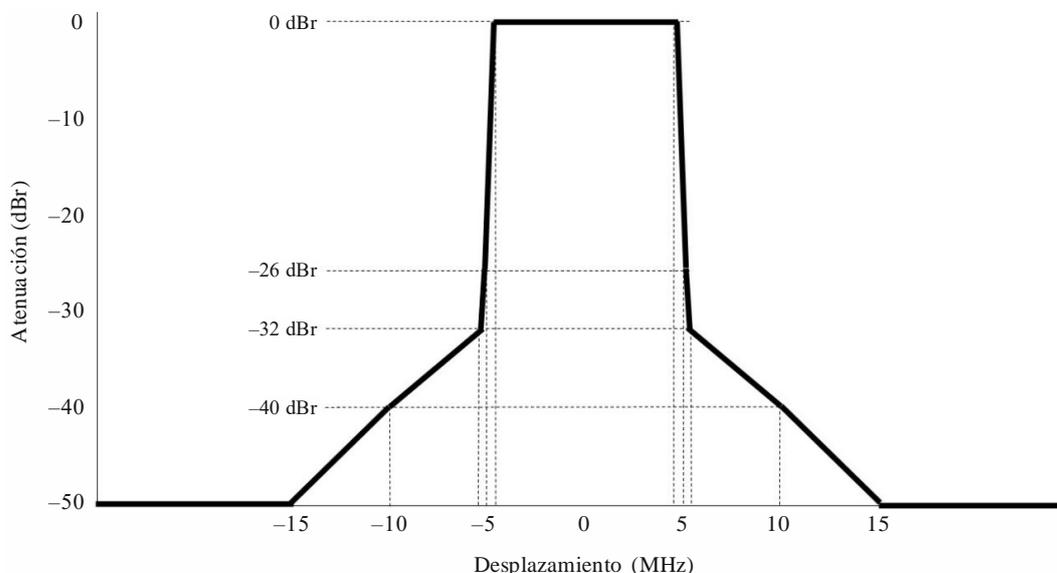
CUADRO 19

**Datos de máscara espectral para un espaciamiento de canal de 10 MHz**

Clase de potencia de transmisión STA	Densidad espectral de potencia permitida (dBr)				
	Desplazamiento $\pm 4,5$ MHz ( $\pm f1$ )	Desplazamiento $\pm 5,0$ MHz ( $\pm f2$ )	Desplazamiento $\pm 5,5$ MHz ( $\pm f3$ )	Desplazamiento $\pm 10$ MHz ( $\pm f4$ )	Desplazamiento $\pm 15$ MHz ( $\pm f5$ )
Clase A	0	-10	-20	-28	-40
Clase B	0	-16	-20	-28	-40
Clase C	0	-26	-32	-40	-50
Clase D	0	-35	-45	-55	-65

FIGURA 29

**Máscara espectral del transmisor para la transmisión OBE 10 MHz  
(Clase C típica)**



Land Mobile Handbook Vol.4-29

### 4.2.3.3 ITS Connect de Japón

#### Antecedentes

En Japón, ITS Connect utiliza la banda 755,5-764,5 MHz. La frecuencia central es 760 MHz. Si ITS Connect se utilizase en otro país y, por ejemplo, se le asignase una banda inferior a la de 1 GHz, cuya calidad de comunicación a distancia con NLOS/LOS es semejante a la de 760 MHz, el sistema podría ofrecer funcionalidades de seguridad vial y medioambientales similares.

#### Características técnicas

ITS Connect utiliza unidades en carretera (RSU) y equipos de a bordo (OBE). Las funciones básicas de ITS Connect son las siguientes:

- Transporte e intercambio de información que contribuye a reducir el número de accidentes de tráfico.
- Transporte e intercambio de información de asistencia a la conducción segura.
- Transporte e intercambio de información que facilita el flujo de tráfico.

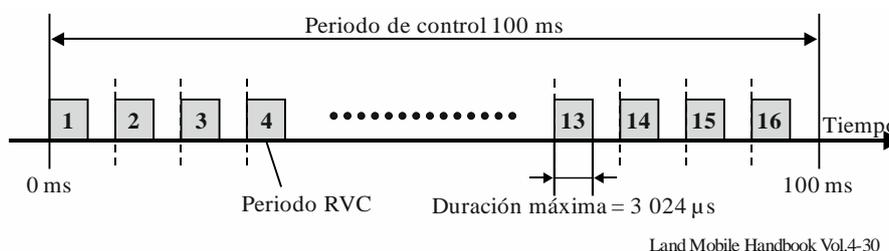
Los OBE están instalados en los vehículos y se comunican con las RSU y con otros OBE. El equipo radioeléctrico del OBE se compone de un transmisor, un receptor, un controlador, una antena, etc. El OBE envía información sobre el vehículo (por ejemplo, la posición, la velocidad, la dirección, etc.). El OBE recibe señales de otros OBE y de RSU. Así, el vehículo puede conocer la posición y situación de los demás vehículos y transmitir al conductor la información o los consejos adecuados para la conducción segura.

Las RSU se comunican con los OBE y con otras RSU. El equipo radioeléctrico de las RSU se compone de un transmisor, un receptor, un controlador, una antena, etc. Las RSU se instalan a lo largo de la carretera (sobre todo en los cruces). La comunicación infraestructura a vehículo (I2V) se utiliza, entre otras cosas, para radiodifundir información de señales de tráfico. En tal caso, la RSI se conecta con el centro de control de señales de tráfico. La I2V también puede utilizarse para radiodifundir información sobre vehículos y peatones cuando hay peatones atravesando el cruce donde está instalada la RSU. Un sensor detecta a los vehículos y los peatones y transmite la información a la RSU.

Todas las RSU y OBE comparten un canal RF. Cada intervalo de tiempo se divide en periodos de comunicación V2V y periodos de comunicación I2V de manera que las RSU y los OBE pueden compartir la frecuencia sin causarse interferencia. En la Fig. 30 se muestra el mecanismo de compartición. Las RSU y los OBE suelen comunicar en ciclos de 100 ms. En la Fig. 30 la RSU puede utilizar los periodos en gris. Si la RSU no utiliza todos los 3 024 microsegundos, los OBE pueden emplear ese tiempo para la comunicación V2V.

FIGURA 30

**Periodos de transmisión de las RSU**



Land Mobile Handbook Vol.4-30

Para evitar colisiones entre las transmisiones OBE a OBE se utiliza un protocolo AMDP/DC.

**Especificación técnica**

ITS Connect utiliza una señal con modulación MDFO en canal RF. El ancho de banda ocupado es igual o inferior a 9 MHz. La mayoría de los parámetros MDFO son idénticos a los de IEEE 802.11p. El método de modulación y codificación se describe en el Cuadro 20. La velocidad de datos de transmisión es igual o superior a 5 Mbit/s.

CUADRO 20

**Especificación del método de modulación y codificación**

Parámetro	Especificación
Banda de frecuencias	755,5-764,5 MHz (monocanal)
Selección de canal	No obligatorio (fijo)
Corrección de errores	FEC convolucional R = 1/2, 3/4
Modulación	MDP2/MDFO, MDP4/MDFO, MAQ16/MDFO

El objetivo de esta reglamentación es la coexistencia de ITS Connect en la banda 755,5-764,5 MHz con los sistemas en canal adyacente (LTE, TV Digital, radiomicrofonos, etc.).

La sensibilidad de recepción es idéntica a la de IEEE 802.11p. En este sistema se seleccionan MDP2, MDP4 y MAQ16 con un espaciamiento de canal de 10 MHz. La potencia de transmisión media en la banda de frecuencias operativa es igual o inferior a 10 mW por cada 1 MHz de ancho de banda.

#### 4.2.3.4 Tecnología de comunicación V2X en Corea

##### Antecedentes

En 2007 se puso en marcha el proyecto de comunicación multisalto vehicular (VMC) de tecnología de comunicación V2X en Corea. Esta tecnología se desarrolla con ajuste a la norma americana WAVE.

En 2009 se inició el proyecto Smart Highway (autopista inteligente) para la evolución de los OBE y RSE y empezó a probarse en la autopista entre el peaje de Seúl y Suwon IC. En 2014, se iniciaron las pruebas piloto de C-ITS y se instalaron 3 000 OBE y 79 RSE para verificar 15 aplicaciones en autopistas y carreteras urbanas y suburbanas.

En 2016 el Ministerio de Ciencia y TIC asignó la banda de frecuencias 5,855-5,925 GHz a las aplicaciones y especificaciones técnicas C-ITS. En 2018 el Ministerio de Asuntos Territoriales, Infraestructura y Transporte decidió desplegar el sistema C-ITS en la autopista, en la ciudad de Seúl y en la isla Jeju.

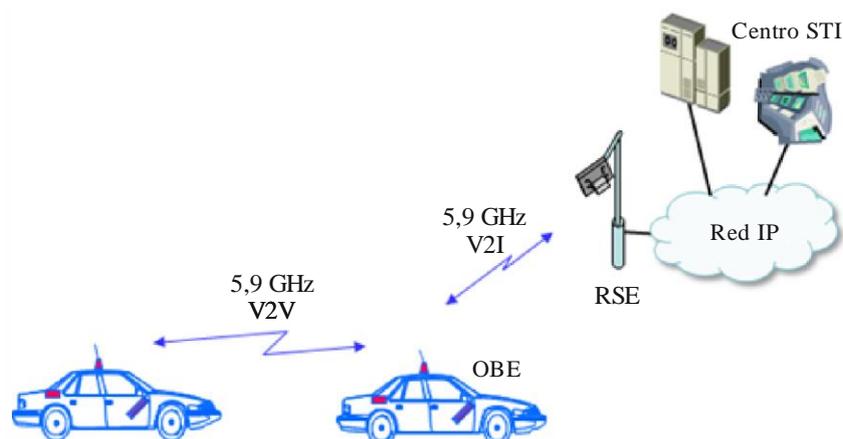
##### Características técnicas

El sistema de comunicación V2X de Corea utiliza una banda de frecuencias de 5,9 GHz exclusiva para aplicaciones C-ITS y de seguridad de los vehículos, que han de tener una cobertura radial de 1 km y una latencia de 100 ms en la comunicación V2V y V2I.

El sistema de comunicación V2X de Corea puede utilizar un canal de control y SEIS canales de servicio. El canal de control se emplea para establecer la conexión de enlace inicial o transmitir mensajes de seguridad. Debe soportar el funcionamiento multicanal para la conmutación de canal físico entre el canal de control y el canal de servicio.

FIGURA 31

#### Configuración del sistema de comunicación V2X



Land Mobile Handbook Vol.4-31

## Especificación técnica

CUADRO 21

### Especificación de la comunicación V2X

Parámetro	Especificación
Banda de frecuencias	5,855~5,925 GHz (7 canales)
Ancho de banda de canal	10 MHz
Latencia	Inferior a 100 ms
Modulación	MDFO (MDP2, MDP4, MAQ16, MAQ64)
Velocidad de datos	3, 4,5, 6, 9, 12, 24, 27 Mbit/s
MAC	AMDP/DC

#### 4.2.3.5 STI en Brasil

Brasil considera importante la aparición de soluciones de conectividad vehicular en redes de comunicaciones móviles en zonas urbanas, suburbanas y en autopistas a fin de enviar y recibir datos e información sobre las condiciones del tráfico, para la ayuda a la conducción y para el mantenimiento preventivo de los vehículos.

Los requisitos de las comunicaciones STI en Brasil están consignados en la reglamentación que rige los requisitos técnicos de evaluación de la conformidad de los equipos de radiocomunicación con radiación restringida, que comprenden los sistemas para la comunicación de datos entre vehículos y entre vehículos y la infraestructura vial. Las características de utilización de los STI en Brasil se basan en la norma ETSI EN 302 571, que abarca la utilización de equipos de radiocomunicaciones en la banda de frecuencias 5 855-5 925 MHz, dividida en bloques de 10 MHz.

CUADRO 22

### Plan de bandas para STI en Brasil

Número de canal	Gama de frecuencias (MHz)
1	5 855-5 865
2	5 865-5 875
3	5 875-5 885
4	5 885-5 895
5	5 895-5 905
6	5 905-5 915
7	5 915-5 925

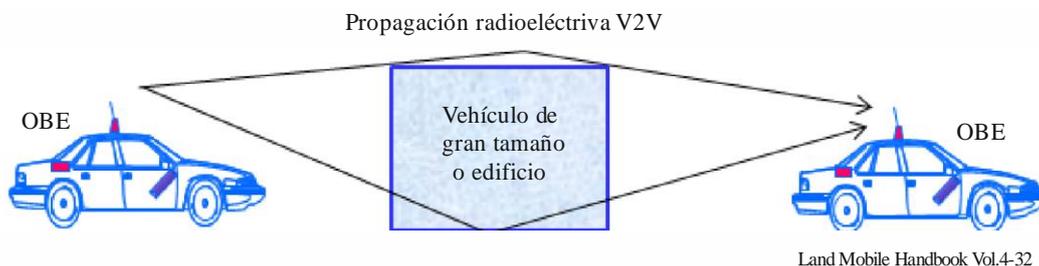
Para las comunicaciones V2V y V2I en la banda de frecuencias de 5,9 GHz, la potencia p.i.r.e. máxima es de 23 dBm (200 mW). Para las comunicaciones de alta potencia vehículo a infraestructura se permite una p.i.r.e. máxima de 26 dBm (400 mW). Los canales 5 a 7 están limitados a las aplicaciones de tráfico y de seguridad de los vehículos.

#### 4.2.4 Características de propagación radioeléctrica

La radiocomunicación STI avanzada tiene canales radioeléctricos V2V y V2I. Los canales radioeléctricos V2V y V2I deben tener en cuenta los distintos entornos, por ejemplo, autopistas y carreteras urbanas y rurales. El canal radioeléctrico V2V puede tener características de desvanecimiento LOS o NLOS al haber en zonas urbanas obstáculos a la propagación como grandes autobuses o edificios. En la práctica, un canal radioeléctrico V2V tiene un canal de desvanecimiento multitrayecto NLOS con dispersión de retardo y desplazamiento Doppler.

FIGURA 32

#### Canal radioeléctrico V2V NLOS



Por dispersión del retardo se entiende la estadística de retardo temporal de la señal radioeléctrica recibida en el dominio temporal; el desplazamiento Doppler es la estadística de desplazamiento en frecuencia de la señal radioeléctrica recibida en el dominio de frecuencia. La dispersión de retardo se determina mediante la gama radioeléctrica, mientras que el desplazamiento Doppler depende de la velocidad relativa de dos vehículos que se comunican entre ellos.

Se ha hecho un estudio sobre un canal radioeléctrico V2V para comunicación V2X en 5,9 GHz V2X en el que se probaron la dispersión del retardo y el desplazamiento Doppler con una cobertura radial de 1 km y una velocidad de vehículo de 108 km/h.

La dispersión del retardo es inferior a 1,5  $\mu$ s y el desplazamiento Doppler máximo ronda los 1,53 kHz. En el Cuadro 23 se muestran la dispersión del retardo y el desplazamiento Doppler en entornos urbanos, rurales y en autopistas.

CUADRO 23

#### Características del canal radioeléctrico V2V

Parámetro del canal radioeléctrico	Urbano	Rural	Autopista
Dispersión del retardo máxima ( $\mu$ s)	0,6	1,5	1,4
Desplazamiento Doppler (kHz)	0,583	1,11	1,53

### 4.3 Comunicación V2X celular

#### 4.3.1 Introducción

La comunicación celular es una comunicación bidireccional destinada a ofrecer aplicaciones de usuario en zonas amplias. Tiene una arquitectura multicelular y puede soportar servicios de voz humana, datos y vídeo. La comunicación celular está en constante evolución para mejorar la calidad de funcionamiento en términos de velocidad de datos y latencia.

La tecnología celular de primera generación (1G) sólo ofrece llamadas vocales mediante AMDF, mientras que la tecnología celular de segunda generación (2G) puede ofrecer tanto servicios vocales como de datos utilizando un esquema de acceso radioeléctrico digital, como AMDT y AMDC. La tecnología celular de tercera generación (3G) ofrece comunicaciones vocales, de datos y de vídeo por AMDC. La tecnología celular de cuarta generación (4G) ofrece servicios multimedia todo IP por AMDFO. La tecnología celular de quinta generación (5G), la más moderna hasta el momento, ofrece servicios multimedia 3D gracias a nuevas tecnologías de acceso radioeléctrico (NR).

En el marco de las normas de comunicación celular de cuarta generación se crearon V2X LTE y eV2X LTE para la conectividad V2X para aplicaciones STI, como la seguridad de vehículos y la conducción automatizada, que pueden utilizarse creando redes de comunicaciones exclusivas para aplicaciones STI. Sus principales características técnicas son las siguientes:

- Comunicación de datos en paquetes mediante conexiones V2I, V2V y V2P.
- Comunicaciones fiables con alta movilidad hasta 500 km/h.
- Acceso distribuido y acceso centralizado.

CUADRO 24

#### Características técnicas de las tecnologías de comunicación celular

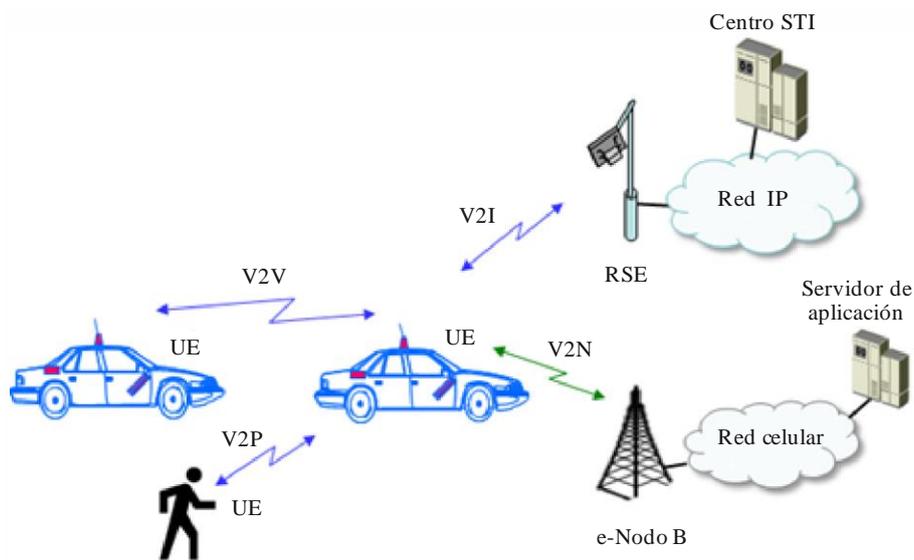
Parámetro	1G	2G	3G	4G	5G
Norma de acceso radioeléctrico	Analógico AMPS	Digital (GSM, AMDC)	IMT-2000 (WCDMA)	IMT Avanzadas	IMT-2020
Método de acceso radioeléctrico	AMDF	AMDT, AMDC	AMDC	AMDFO	Numerología MDFO adaptable
Velocidad de datos máxima	–	64 kbit/s	2 Mbit/s	100 Mbit/s	10 Gbit/s
Tamaño de trama	20 ms	20 ms	10 ms	5 ms	1 ms
Aplicaciones	Voz analógica	Voz y datos digitales	Voz, datos y vídeo digitales	Multimedia IP	Banda ancha, IoT masiva, ULCC

#### 4.3.2 Configuración del sistema

Las redes de comunicación celulares V2X y eV2X LTE constan de equipos de usuario (EU), una estación base e-Nodo B y equipos en carretera (RSE). Un EU puede servir para la comunicación V2V, V2P, V2I y V2N. V2I ofrece conectividad a la red exclusiva STI a través de los RSE. V2N ofrece conectividad al servidor de aplicación a través del e-Nodo B.

FIGURA 33

**Sistema de comunicación celular V2X**



Land Mobile Handbook Vol.4-33

En el caso de las aplicaciones V2V, V2I y V2P, el equipo de usuario (EU) puede estar conectarse con una configuración de comunicación par a par V2X distribuida exclusiva. De ser así, la banda de frecuencias utilizada estará armonizada con la banda de frecuencias de 5,9 GHz recomendada para las aplicaciones STI.

La conectividad V2N depende de un operador celular, que también gestionará la banda de frecuencias utilizada. Las frecuencias radioeléctricas utilizadas por la tecnología celular de primera a cuarta generación son 450 MHz, 800 MHz, 10,8 GHz y 2,1 GHz, mientras que las tecnologías celulares de quinta generación pueden utilizar las bandas de frecuencias milimétricas de 3,5 GHz y 28 GHz, por ejemplo.

Por consiguiente, la V2X LTE soporta hipótesis de trabajo con y sin dependencia de la cobertura o el despliegue de redes celulares. En términos de tecnologías de comunicación específicas, la V2X LTE tiene dos interfaces (como se ve en la Fig. 34), denominadas interfaz Uu (interfaz de comunicación celular) e interfaz PC5 (interfaz de comunicación directa). La interfaz Uu puede utilizarse en una red celular cuando un dispositivo terminal (por ejemplo, terminal de a bordo, teléfono inteligente o RSU) que soporta servicios V2X LTE tiene cobertura de red celular. Haya o no cobertura de red celular, la interfaz PC5 puede utilizarse para la comunicación V2X. esta combinación de interfaces de apoyo mutuo para servicios V2X ofrece opciones de comunicación que dependen de los requisitos de comunicación de cada aplicación V2X concreta, por ejemplo, la latencia, el alcance y la fiabilidad.

**Interfaz PC5**

El diseño de la interfaz PC5, que se basa en la tecnología LTE-D2D, se ha mejorado en muchos aspectos para soportar la radiodifusión de mensajes V2X (en particular, mensajes V2V), el intercambio en condiciones muy cambiantes (por ejemplo, ubicación, velocidad y sentido del movimiento), así como posibles aplicaciones de conducción automatizada futuras, incluidos el apilotonamiento de vehículos y la compartición de sensores.

Se aumenta la capa física para soportar velocidades relativas de hasta 500 km/h en la banda de alta frecuencia y solventar los problemas que suponen la gran dispersión de frecuencia Doppler y los canales con rápida variación temporal.

Para garantizar la calidad de funcionamiento de la comunicación, los receptores y transmisores V2X LTE deben sincronizarse unos con otros durante la comunicación. La V2X-C permite la sincronización a partir de diversas fuentes, incluidos GNSS, estaciones base y vehículos. El terminal puede obtener fuentes de sincronización óptimas mediante el control de red o la extracción de información preconfigurada a fin de lograr posiblemente la sincronización en toda la red. Además, la V2X LTE soporta el mantenimiento dinámico de las fuentes de sincronización óptimas, lo que permite al terminal seleccionar oportunamente la fuente con mayor prioridad para la sincronización de reloj.

En tanto que tecnología clave de la V2X LTE, la interfaz PC5 soporta los modos de atribución de recursos programada (Modo-3) y de atribución de recursos autónoma (Modo-4). Además, la V2XLTE adopta un mecanismo de control de la congestión centralizado-distribuido combinado, que puede aumentar notablemente el número de usuarios que acceden al sistema en casos de gran densidad, pero con un acceso distribuido por usuario menos frecuente.

### **Interfaz Uu**

Para adaptarse mejor a las características de la V2X, se han mejorado el enlace ascendente, el enlace descendente y la computación periférica multiacceso de la interfaz Uu.

La transmisión de enlace ascendente soporta una programación semiestática multitrayecto basada en las características del servicio, lo que reduce notablemente el retardo de programación del enlace ascendente siempre y cuando la fiabilidad de transmisión del servicio sea alta. La transmisión de enlace descendente ofrece radiodifusión de corto alcance, transmisión punto a multipunto monocélula de baja latencia (SC-PTM) y redes monofrecuencia de multidifusión/radiodifusión (MBSFN) para la comunicación local de servicios V2X. Además, la V2X LTE soporta el despliegue localizado de elementos de red núcleo y define los parámetros de calidad de servicio (QoS) de los servicios V2X para garantizar la calidad de funcionamiento de la transmisión del servicio.

Se ha integrado MEC en la V2X LTE para soportar los servicios de Internet de los vehículos (IOV) (por ejemplo, conducción autónoma y descarga de mapas de alta resolución en tiempo real) que exigen una latencia ultrabaja y una transmisión ultrafiabile. En la actualidad, el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI) y 3GPP han lanzado conjuntamente un proyecto esencial que estudia el marco general de MEC, la selección del plano de usuario, la descarga de servicio, la movilidad, la continuidad del servicio y la apertura de la capacidad de red.

### **4.3.3 Características técnicas**

#### **Antecedentes**

Las comunicaciones por enlace directo dispositivo a dispositivo V2V LTE, como se especifica en la Versión 14, se basan en las comunicaciones D2D, definidas como parte de los servicios ProSe (servicio de proximidad) en las Versiones 12 y 13 de 3GPP. En el marco de los servicios ProSe se introdujo en la Versión 14 una nueva interfaz D2D, mejorada para la comunicación vehicular, destinada específicamente a las conexiones a alta velocidad (velocidad relativa de hasta 500 km/h) y de alta densidad<sup>16</sup>. Se han introducido modificaciones fundamentales en la PC5 V2V LTE.

- Se han añadido símbolos DMRS para solventar el elevado efecto Doppler asociado a velocidades relativas de hasta 500 km/h en altas frecuencias (siendo el principal objetivo la banda de 5,9 GHz STI).

---

<sup>16</sup> Véase la Especificación 3GPP #: 36.785 – Vehicle to Vehicle (V2V) services based on LTE sidelink; User Equipment (UE) radio transmission and reception.

- La configuración de asignación programada y recursos de datos está diseñada para mejorar la calidad de funcionamiento del sistema en caso de alta densidad, respetando los requisitos de baja latencia de la V2V.

Se introdujo la programación distribuida (Modo 4), que es un mecanismo de detección con transmisión semipersistente.

### **Características técnicas**

El «Study on LTE-based V2X services»<sup>17</sup> del 3GPP especifica las mejoras necesarias para la activación de servicios V2X con enlaces ascendente y descendente LTE, para permitir que la PC5LTE soporte servicios V2X adicionales, como la comunicación vehículo a peatón (V2P), y para el soporte de más hipótesis operativas de los servicios V2V con la PC5 LTE. Concretamente, en este estudio se considera lo siguiente:

- Mejora del enlace ascendente y de la PC5 para que el eNB modifique rápidamente la programación semipersistente (SPS) para adaptar un cambio en el patrón de generación de mensaje V2X.
- Introducción de periodos de programación más cortos en el enlace descendente y la interfaz PC5 para la radiodifusión de mensajes V2X respetando los requisitos de latencia.
- Introducción de un procedimiento de atribución de recursos adicionales en el Modo 4 de la PC5 para el ahorro energético de los EU de peatón.
- Introducción del control de congestión en la PC5 para el funcionamiento con alta carga de tráfico.
- Mejora de la sincronización de la PC5 para el funcionamiento sin cobertura GNSS o eNB.
- Soporte de operaciones V2X simultáneas en múltiples portadoras.

La interfaz PC5 para V2X soporta MDP4 y MAQ16 en un canal de 10 MHz o 20 MHz, con lo que se logra una velocidad de cresta de 41,472 Mbit/s. La interfaz Uu para V2X reutiliza la interfaz Uu LTE existente, de manera que el esquema de modulación y la velocidad de cresta son idénticos. Las características técnicas se detallan en el Cuadro 25.

---

<sup>17</sup> Véase la Especificación 3GPP #: 36.885.

CUADRO 25

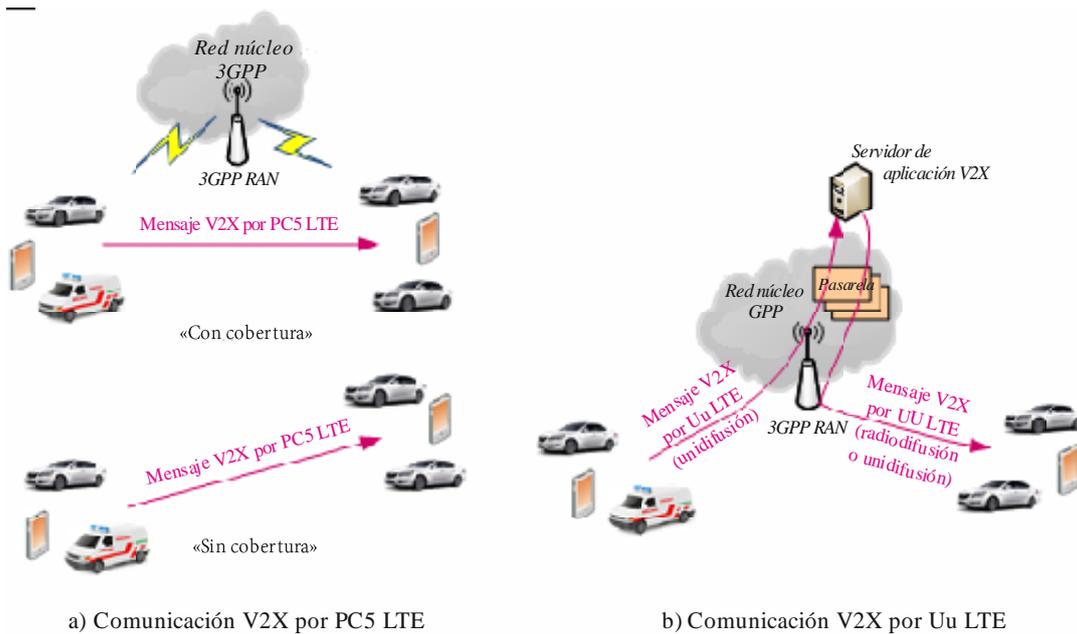
**Características del esquema de transmisión**

Parámetro	Características de transmisión	
	Interfaz Uu	Interfaz PC5
Gama de frecuencias operativas	Todas las bandas especificadas en TS 36.101 soportan el funcionamiento con la interfaz Uu, excepto la banda 47 Bandas para la interfaz Uu utilizada en combinación con la interfaz PC5 Banda 3: EA: 1 710-1 785 MHz ED: 1 805-1 880 MHz Banda 5: EA: 824-849 MHz ED: 869-894 MHz Banda 7: EA: 2 500-2 570 MHz ED: 2 620-2 690 MHz Banda 8: EA: 880-915 MHz ED: 925-960 MHz Banda 20: EA: 832-862 MHz ED: 791-821 MHz Banda 28: EA: 703-748 MHz ED: 758-803 MHz Banda 34: EA: 2-010-2-025 MHz ED: 2-010-2-025 MHz Banda 39: 1 880-1 920 MHz Banda 41: 2 496-2 690 MHz Banda 71: EA: 663- 698 MHz ED: 617-652 MHz	Para la Versión 14 Banda 47: 5 855-5 925 MHz
Ancho de banda de canal RF	1,4, 3, 5, 10, 15 ó 20 MHz por canal	10 ó 20 MHz por canal
Potencia de transmisión/ p.i.r.e. RF	Máx. 43 dBm para eNB Máx. 23 ó 33 dBm para EU UE	Máx 23 ó 33 dBm
Esquema de modulación	Enlace ascendente: AMDF-SC MDP4, AMDF-SC MAQ16, AMDF, SC MAQ64; Enlace descendente: AMDFO MDP4, AMDFO MAQ16, AMDFO MAQ64	AMDF-SC MDP4, AMDF-SC MAQ16
Corrección de errores en recepción	Codificación convolucional y codificación turbo	Codificación convolucional y codificación turbo
Velocidad de transmisión de datos	Enlace ascendente: de 1,4 Mbit/s a 36,7 Mbit/s para un canal de 10 MHz Enlace descendente: de 1,4 Mbit/s a 75,4 Mbit/s para un canal de 10 MHz	De 1,3 Mbit/s a 15,8 Mbit/s para un canal de 10 MHz
Control de acceso a medios	Programación centralizada por eNB	Programación centralizada y programación distribuida
Método dúplex	DDF o DDT	DDT

La especificación radioeléctrica LTE soporta los dos métodos de comunicación V2X LTE, las interfaces PC5 y Uu, como se muestra en la Fig. 34 siguiente. La comunicación de interfaz soporta la transmisión por enlace directo cuando la red celular da cobertura a los vehículos (interfaz Uu con cobertura) o cuando los vehículos están fuera de la cobertura de una red celular (interfaz PC5). La V2X LTE puede soportar la transmisión de mensajes por unidifusión y radiodifusión mediante la interfaz Uu.

FIGURA 34

**Comunicación V2X por la interfaz PC5 y la interfaz Uu**



Land Mobile Handbook Vol.4-34

**4.3.3.1 V2X LTE**

3GPP ha completado la normalización de la V2X LTE Versión 14, que comprende principalmente los requisitos de servicio, la arquitectura del sistema, la tecnología de interfaz inalámbrica y la seguridad.

En términos de requisitos de servicio la especificación define 27 casos de uso de V2V, V2I, V2P y V2N y los requisitos de servicio de los servicios V2X LTE. Además se recogen los requisitos de calidad de funcionamiento de los siete casos de uso típicos. En cuanto a la arquitectura del sistema, la especificación identifica mejoras para el soporte de la V2X basadas en la arquitectura de los servicios de proximidad (ProSe) a través de la interfaz PC5 y de la comunicación celular LTE a través de la interfaz Uu, y deja claro que las mejoras soportan, como mínimo, los servicios V2X mediante la interfaz PC5 y la interfaz Uu LTE. Sobre la tecnología de interfaz inalámbrica, la especificación aclara la estructura de canal, el proceso de sincronización, la atribución de recursos en la interfaz PC5 y la coexistencia de las interfaces PC5 y Uu en las mismas portadoras y en portadoras adyacentes, además de la señalización del control de recursos radioeléctricos (CRR), los indicadores de radiofrecuencias (RF) y requisitos de calidad de funcionamiento conexos. Por otra parte se exploran las mejoras de transmisión Uu y PC5 para el soporte de servicios V2X LTE. Asimismo se ha completado el estudio de la seguridad de las mejoras de la arquitectura LTE para el soporte de servicios V2X.

### **4.3.3.2 V2X 5G**

La V2X 5G comprende la evolución de la V2X desde la Versión 15 y la tecnología NR. Esta V2X 5G se ha diseñado para soportar casos de uso del servicio V2X más avanzados. La V2X 5G soporta servicios más avanzados y asume las mejoras de V2X LTE integrando las capacidades LTE.

La eV2X LTE representa la fase (Versión 15) de estudio de las tecnologías de mejora que soportan los casos de uso del servicio V2X avanzado, cuyo objetivo es aumentar aún más la fiabilidad, la velocidad de datos y la latencia en el modo dispositivo a dispositivo (D2D) y colmar al mismo tiempo las necesidades previstas de los futuros servicios V2X.

En la Especificación Técnica (TS) 22.886 se definen los requisitos de servicio de 25 casos de uso de cinco categorías de servicio eV2X, incluidos los requisitos básicos, el apertoneamiento de vehículos, la conducción autónoma/semiautónoma, los sensores ampliados y la conducción a distancia. El estudio en curso sobre la Fase 2 de la especificación V2X de 3GPP tiene por objetivo la viabilidad y los beneficios de tecnologías de mejora como la agregación de portadoras, la diversidad de transmisión, la modulación de alto orden, la compartición grupal de recursos, la reducción del retardo y el acortamiento del intervalo de tiempo de transmisión (ITT).

Para la V2X NR, 3GPP ha aprobado la realización de un estudio para desarrollar los métodos de simulación TR 38.913 y TR 38.802 conforme a las necesidades de TR 22.886, incluidas las hipótesis de simulación, los indicadores de rendimiento y los modelos de servicio. El estudio contempla el modelo de canal de enlace lateral por encima de 6 GHz.

### **4.3.4 Características de la propagación radioeléctrica**

La propagación radioeléctrica en la banda de frecuencias de 5,9 GHz es idéntica a la descrita en el § 4.2.4.

## **4.4 Radiodifusión de zona amplia**

### **4.4.1 Introducción**

Aunque las técnicas de radiodifusión se utilizan en distancias cortas, por ejemplo para las aplicaciones de seguridad V2V a través de la interfaz PC5, la tecnología de radiodifusión de área amplia ofrece comunicación unidireccional de una estación base a una aplicación de usuario en una zona amplia. Puede soportar servicios de voz humana, datos y vídeo. La tecnología de radiodifusión ha evolucionado pasando de analógica a digital a fin de mejorar la calidad de funcionamiento radioeléctrica.

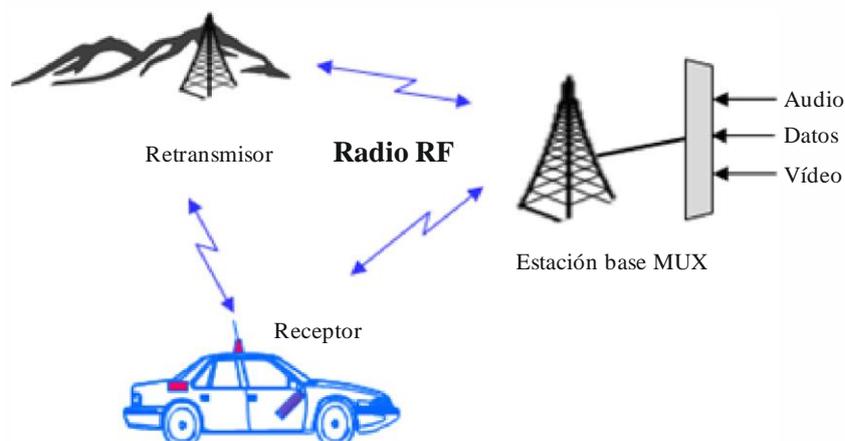
Esta tecnología de radiodifusión se utiliza para aplicaciones de STI concretas, pues puede soportar la comunicación unidireccional para aplicaciones STI en zonas amplias. FM DARC y RDS son ejemplos de tecnologías de radiodifusión de datos utilizadas para las aplicaciones STI. FM DARC y RDS utilizan una portadora de 53-100 kHz de las emisiones en frecuencias MF analógicas.

DMB es una tecnología de radiodifusión de multimedios digital que ofrece servicios multimedios a los usuarios portátiles y en vehículos.

#### 4.4.2 Configuración del sistema

FIGURA 35

#### Configuración del sistema de radiodifusión de área amplia



Land Mobile Handbook Vol.4-35

#### 4.4.3 Características técnicas

El radiocanal de datos con modulación en frecuencia (FM DARC) es un sistema de radiodifusión con multiplexación MF para el envío de datos digitales por el canal de radiodifusión MF existente de 60~94 kHz. FM DARC utiliza la modulación por desplazamiento mínimo con control por el nivel (MDMN), que resiste bien a la interferencia multitrayecto en el canal de radiodifusión MF. FM DARC tiene una velocidad de datos máxima de 16 kbit/s y permite el envío de información de tráfico, la descarga de mapas y el envío de información GPS diferencial para las aplicaciones STI. Tiene la ventaja de ofrecer datos en paquetes digitales con un amplio radio de cobertura.

La radiodifusión de multimedia digital (DMB) es un sistema de radiodifusión de televisión digital que se utiliza para enviar audio y vídeo digital, además de datos en paquetes, y está adaptado del sistema Eureka-147 DAB. Eureka-147 DAB es un sistema de audio digital con modo datos en paquetes y datos en difusión directa. T-DMB es la DMB terrenal, que utiliza la codificación MPEG-4 y la tecnología de codificación de errores en recepción Reed-Solomon para ofrecer señales digitales de audio y vídeo.

#### 4.4.4 Características de la propagación radioeléctrica

La frecuencia de radiodifusión MF suele estar comprendida entre 87,5~108 kHz y su cobertura radioeléctrica alcanza los 65 km. Aprovecha el efecto «filo de cuchillo»<sup>18</sup> para recibir las señales transmitidas incluso en entornos NLOS.

<sup>18</sup> [https://www.its.bldrdoc.gov/fs-1037/dir-020/\\_2955.htm](https://www.its.bldrdoc.gov/fs-1037/dir-020/_2955.htm).

## 4.5 Comunicación por ondas milimétricas

### 4.5.1 Introducción

El espectro electromagnético de ondas milimétricas corresponde a las radiofrecuencias de 30 GHz a 300 GHz, cuyas longitudes de onda van desde 10 mm a 1 mm). Una de las características más importantes de las ondas milimétricas es que pueden soportar la transmisión en banda ancha, como una gran cantidad de datos informáticos, vídeo multiplexado y canales vocales para la transmisión por radioenlace de aplicaciones de radiodifusión. Además, los equipos de ondas milimétricas son compactos y tienen antenas pequeñas de elevada ganancia.

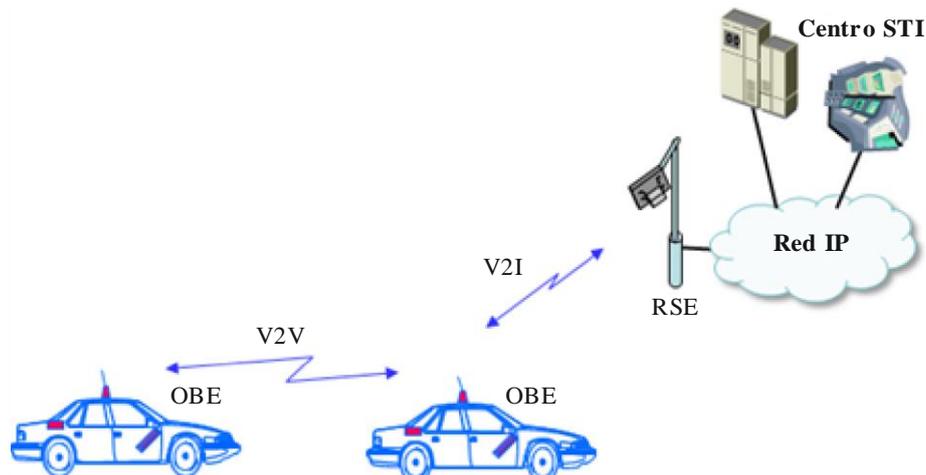
Las frecuencias de ondas milimétricas pueden utilizarse para la comunicación V2X o los radares vehiculares para las aplicaciones STI. La comunicación V2X por ondas milimétricas soporta algunos tipos concretos de comunicación vehículo a vehículo o vehículo a infraestructura en la banda de frecuencias 63-66 GHz en algunos países.

### 4.5.2 Configuración del sistema

Los sistemas de comunicación V2X por ondas milimétricas están formados por equipos de a bordo (OBE) y equipos en carretera (RSE). El OBE es la unidad en el vehículo y el RSE en la unidad en la carretera, igual que ocurre en la comunicación DSRC.

FIGURA 36

#### Sistema de comunicación V2X por ondas milimétricas



Land Mobile Handbook Vol.4-36

### 4.5.3 Características técnicas

Se considera que la comunicación por ondas milimétricas es un canal radioeléctrico con visibilidad directa (LOS) porque sufre grandes pérdidas de propagación en entornos sin visibilidad directa (NLOS). Puede soportar transmisiones en banda ancha para comunicaciones seguras y en banda ancha destinadas a aplicaciones STI y de seguridad de los vehículos. La comunicación V2X por ondas milimétricas ofrece las siguientes ventajas:

- Anchos de banda amplios para transferencia de información a velocidad de datos elevada.
- Baja probabilidad de interferencia debido a la alta atenuación en el aire.
- Pequeño desvanecimiento multitrayecto.

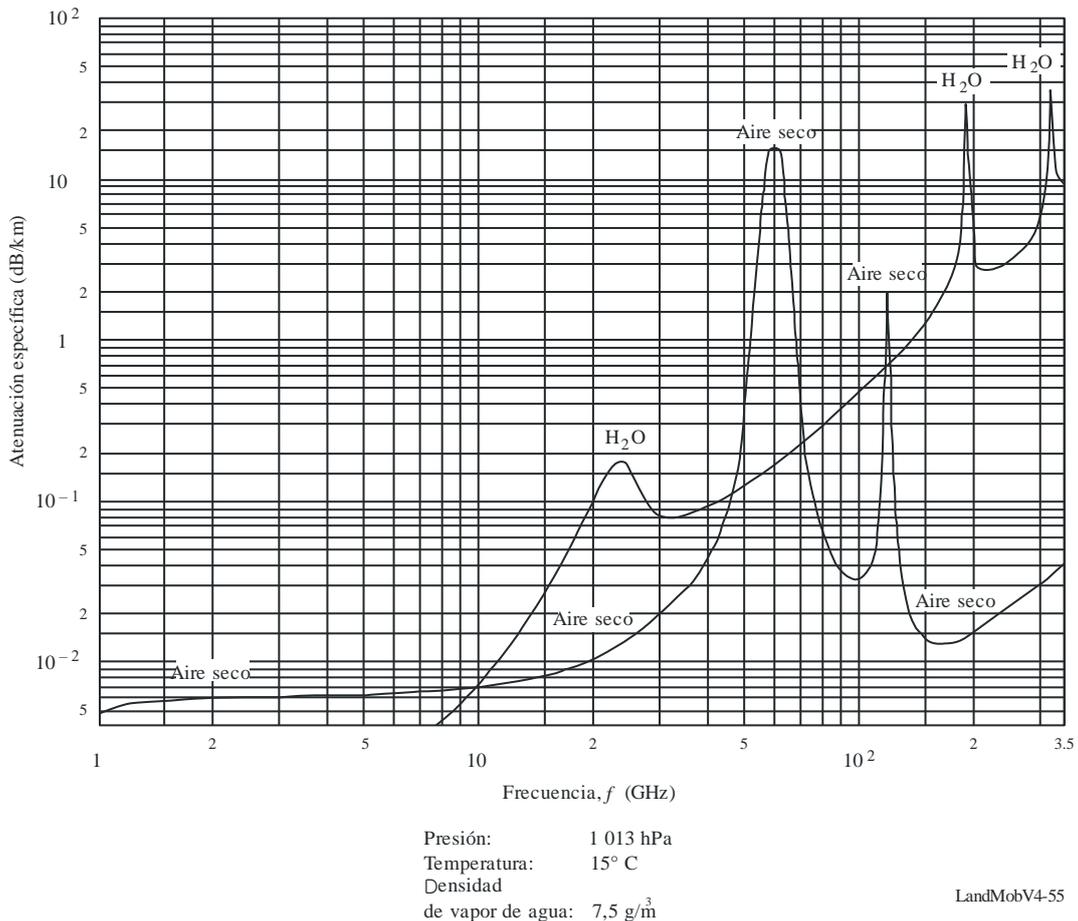
- Baja potencia de transmisión debido a la elevada ganancia de antena.
- Tamaño reducido de la antena y de los equipos debido a las frecuencias más elevadas.
- Elevada directividad y resolución espacial.

#### 4.5.4 Características de la propagación radioeléctrica

La banda de frecuencias en torno a 60 GHz es la más adecuada para establecer comunicaciones seguras de corto alcance, tales como las comunicaciones entre vehículos y el radar de corto alcance, porque a 60 GHz las moléculas de oxígeno en el aire interactúan con la radiación electromagnética y absorben la energía transmitida impidiendo que las ondas transmitidas tengan un largo alcance. Reduce las interferencias en las comunicaciones entre vehículos y contribuye significativamente a utilizar de manera eficaz los recursos de radiofrecuencia. La Fig. 37 muestra la atenuación específica debida a los gases atmosféricos. Las pérdidas de transmisión se producen cuando las ondas milimétricas que se desplazan a través de la atmósfera son absorbidas por moléculas de oxígeno, vapor de agua y otros componentes atmosféricos gaseosos. Estas pérdidas son mayores a ciertas frecuencias, coincidiendo con las frecuencias de resonancia mecánica de las moléculas de gas. En torno a 60 GHz, la absorción por las moléculas del oxígeno muestra un valor de cresta.

FIGURA 37

#### Atenuación específica debida a los gases atmosféricos (Rec. UIT-R P.676-3)



La propagación de las ondas electromagnéticas en la banda de 60 GHz experimenta una pérdida de trayecto mucho mayor debido a la lluvia y a la absorción por las moléculas de oxígeno, además de la difracción, dispersión debida a la vegetación, etc. La característica específica de la banda de 60 GHz hace que esta banda sea muy empleada para las comunicaciones de pequeña potencia de corto alcance cuyo uso no requiere licencia.

Las frecuencias de ondas milimétricas de 60 GHz pueden utilizarse para ciertos tipos de comunicación V2X. Las frecuencias de 60 GHz tienen características de propagación con una reducción rápida de las pérdidas por la distancia entre transmisor y receptor. Se sabe que la dispersión del retardo es de 20~50 ns en la calle e igual o superior a 150 ns en entornos urbanos.

## 4.6 Radares de ondas milimétricas en vehículos y carreteras

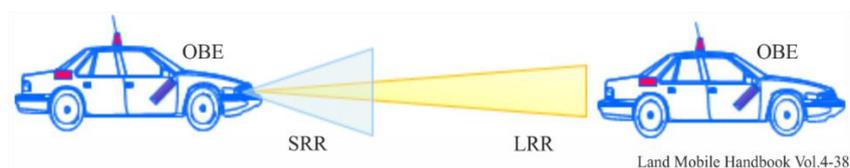
### 4.6.1 Introducción

Los radares de ondas milimétricas en vehículos y carreteras son una tecnología de detección utilizada para supervisar la velocidad de los vehículos y la distancia para aplicaciones STI. Al lado de los sensores ultrasónicos, los sensores de procesamiento de imágenes, los radares por infrarrojos y Lidar, y los radares por microondas, los radares de ondas milimétricas ofrecen la ventaja de detectar establemente los objetivos en condiciones meteorológicas desfavorables, por ejemplo, con lluvia o nieve. Los radares de ondas milimétricas pueden implantarse en los vehículos o en la infraestructura vial y se denominan, respectivamente, radares en vehículos y radares en carretera.

Los radares en vehículos suelen instalarse en las partes frontal y posterior del vehículo y se utilizan para el control de navegación adaptativo (ACC) y la alerta anticolidión. Hay dos tipos de radares de ondas milimétricas en vehículos: radares de largo alcance (LRR) y radares de corto alcance (SRR). Los LRR detectan en un radio de unos 200 m con un haz de antena estrecho en la banda de 76-77 GHz. Los SRR tienen un alcance de unos 30 m con un haz de antena amplio en las bandas de frecuencias 22-29 GHz y 77-81 GHz.

FIGURA 38

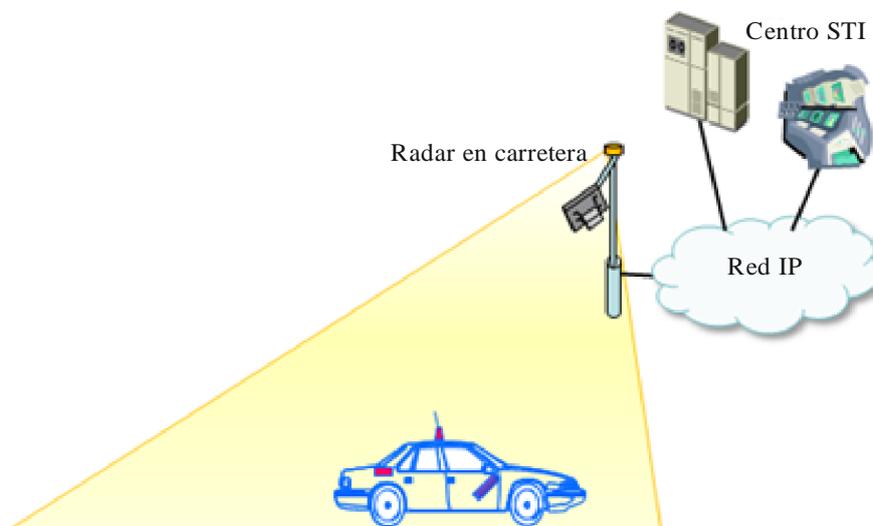
#### Radar de ondas milimétricas en vehículo



Los radares en carretera se instalan en la infraestructura vial y se utilizan para alertas en caso de peligro, como los avisos de obras en carretera o las alertas de seguridad en intersecciones. Un radar de ondas milimétricas en carretera debe tener un alcance de 1 km para poder monitorizar efectivamente la situación vial. Se han probado radares en carretera a 34 GHz para la emisión de alertas viales en caso de acontecimiento inesperado.

FIGURA 39

### Radar de ondas milimétricas en carretera



Land Mobile Handbook Vol.4-39

#### 4.6.2 Configuración del sistema

Los radares de ondas milimétricas en vehículos y en carretera están compuestos por tres elementos: antena y unidad de RF, unidad de procesamiento de la señal y unidad de reconocimiento.

**Antena y unidad de RF:** Esta parte consta de una antena transmisora, una antena receptora, un equipo de recepción y un equipo de transmisión. Las modulaciones de señal, conversiones a frecuencias superiores y transmisión y recepción radioeléctricas se efectúan en este subsistema. Puede ir equipado con varias antenas y puede efectuar un barrido de haz.

**Unidad de procesamiento de la señal:** Esta unidad proporciona la distancia y la velocidad calculando las señales que le llegan de la unidad de RF. En algunas ocasiones proporciona también la distancia y velocidad medias y elimina la interferencia. Cuando la antena realiza una exploración de haz, esta unidad calcula la dirección de los objetos hallados.

**Unidad de reconocimiento:** Esta unidad puede seleccionar y disponer los datos más necesarios o deseados dependiendo de las necesidades de cada sistema. Por ejemplo, la unidad reconoce los obstáculos más peligrosos y puede juzgar si el vehículo delantero está en el mismo carril. La unidad promedia ocasionalmente las cifras obtenidas, filtra la interferencia y mejora la precisión de las mediciones y la fiabilidad de los datos procedentes de otros sensores.

#### 4.6.3 Características técnicas

##### Radares en automóviles de baja potencia a 24 GHz

Hoy en día la atribución de frecuencias a aplicaciones de radares en automóviles está en reconstrucción. Dadas las limitaciones tecnológicas y comerciales de la época, a principios de la última década se atribuyeron a estas aplicaciones de seguridad frecuencias en la gama de 24 GHz. En Europa, por ejemplo, se otorgó una atribución en la banda UWB de 24 GHz (21,65-26,65 GHz) como solución intermedia, dada la incompatibilidad con el servicio de radioastronomía, el SETS, el servicio fijo y las aplicaciones militares. Se definió así la fecha límite del 1 de julio de 2013. En julio de 2011, el ECC amplió esa fecha (para los sensores en la gama de frecuencias reducida de 24,25-26,65 GHz) hasta el 1 de enero de 2018 en virtud de la Decisión ECC 04(10) a fin de permitir a los fabricantes de

coches implementar sin discontinuidad la tecnología de 79 GHz. La evolución tecnológica de los últimos años ha conseguido que hoy se logre un mejor rendimiento con un esfuerzo similar.

Cabe señalar que la banda ICM de 24 GHz (24,05-24,25 GHz) desempeña un papel importante, en particular para los vehículos asequibles. Dado que se trata de una banda ICM armonizada a nivel mundial, los radares en automóviles que utilizan la banda ICM 24,05-24,25 GHz pueden utilizarse en todo el mundo sin limitación de tiempo.

### **Radares en automóviles de corto alcance y alta resolución que funcionan en la banda de 79 GHz (77-81 GHz)**

La banda 77-81 GHz ya se ha utilizado para este tipo de aplicaciones de radares en automóviles en muchos países. Se espera que más países apliquen la decisión de la CMR-15 acerca de los radares en automóviles a 79 GHz en un futuro próximo.

La banda 77-81 GHz fue atribuida por la CEPT en julio de 2004 (ECC/DEC/(04)03) a las aplicaciones de radares en automóviles. Asimismo, la Comisión Europea adoptó la Decisión 2004/545/CE sobre armonización del espectro radioeléctrico en la gama de 79 GHz (77-81 GHz) para la utilización de radares en automóviles. ETSI adoptó la norma armonizada EN 302 264 para radares de corto alcance (SRR) que utilizan la banda 77-81 GHz.

En marzo de 2010, el Ministerio del Interior y Comunicaciones (MIC) de Japón puso en marcha un grupo de estudio en el seno del Consejo de Información y Comunicaciones para la introducción de radares de alta resolución que utilizan la banda de frecuencias 77-81 GHz a escala nacional. Como resultado, en diciembre de 2012 se atribuyó la banda 78-81 GHz a los radares en automóviles.

En octubre de 2010, la Federación de Rusia identificó la banda 77-81 GHz para los radares en automóviles.

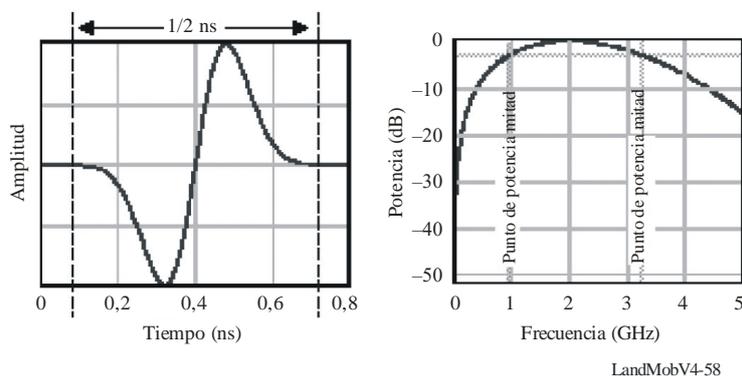
### **Radar de banda ultraamplia (UWB)**

Por norma general, la UWB se define como una señal radioeléctrica cuyo ancho de banda fraccional es superior al 20% de la frecuencia central o cuyo ancho de banda de 10 dB ocupa 500 MHz o más de espectro.

La tecnología UWB utilizaba en principio impulsos muy estrechos de corta duración que dan lugar a unos anchos de banda de transmisión muy grandes o de banda amplia (véase la Fig. 40). Para los radares en automóviles, la técnica de impulsos UWB se está sustituyendo progresivamente por una fluctuación lineal de frecuencia en banda muy amplia (onda continua modulada en frecuencia (FMCW) o radar por compresión de impulsos) que no necesita impulsos de corta duración. Con las normas técnicas apropiadas, los dispositivos UWB pueden funcionar utilizando el espectro ocupado por los actuales servicios de radiocomunicaciones sin causar interferencia, permitiendo por lo tanto una utilización más eficaz del escaso recurso del espectro.

FIGURA 40

**Dominios del tiempo y de la frecuencia monociclo UWB  
(UWB, «Una posible área para normas», GSC 8 presentación por la FCC)**



### Radares integrados en vehículos

En función de sus requisitos funcionales y de seguridad, los sistemas de radar en automóviles que utilizan la banda 76-81 GHz pueden dividirse en dos categorías:

- **Categoría 1:** Radar de control de navegación adaptativo (ACC) y anticollisión para alcances de medición de hasta 300 metros. Para estas aplicaciones se necesita un ancho de banda continuo máximo de 1 GHz. Se supone que estos radares ofrecen funciones de confort adicional para el conductor y contribuyen a que la conducción sea más relajada.
- **Categoría 2:** Sensores para aplicaciones de alta resolución, como la detección de ángulos muertos (BSD), la asistencia para el cambio de carril (LCA) y la alerta por rebasamiento de tráfico posterior (RTCA) y la detección de peatones y bicicletas en las inmediaciones de un vehículo para alcances de medición de hasta 100 metros. Para estas aplicaciones de alta resolución se necesita un ancho de banda de 4 GHz. Estos radares contribuyen directamente a la seguridad activa y pasiva del vehículo, por lo que resultan esenciales para mejorar la seguridad del tráfico.

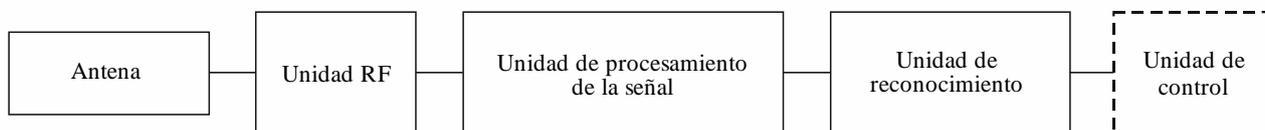
En función del número de sensores de radar y de su posición en el vehículo, éstos podrán detectar objetos en algunos sectores o incluso alrededor de todo el coche. Las señales de los sensores no sólo son la base de los sistemas de asistencia a la conducción, como ACC, sino que también se utilizan para una amplia variedad de aplicaciones de seguridad activa y pasiva de los automóviles.

Los sistemas para controlar los alrededores de los vehículos desempeñarán un papel importante para la seguridad de la conducción. Los radares en automóviles de alta resolución serán una tecnología de detección clave para los vehículos autónomos. Gracias a su resistencia a la suciedad y las condiciones meteorológicas adversas, los radares en automóviles son adecuados para la conducción en condiciones extremas.

En la Fig. 41 se muestra la configuración de los radares en vehículos.

FIGURA 41

### Configuración de radares en vehículos



Land Mobile Handbook Vol.4-41

A continuación se detallan estos componentes:

- *Antena/unidad RF*

Esta parte está compuesta por una antena transmisora, una antena receptora, un equipo receptor y un equipo transmisor. Este subsistema se ocupa de la modulación de la señal, la conversión a altas frecuencias, la transmisión de ondas radioeléctricas y la recepción de ondas radioeléctricas. Esta unidad puede ir equipada con varias antenas y efectuar barridos de haz.

- *Unidad de procesamiento de la señal*

Esta unidad indica la distancia y la velocidad mediante el cálculo de las señales entregadas por la unidad RF. Esta parte puede ocuparse de indicar la distancia y la velocidad medias y de reducir la interferencia. Cuando la antena realiza barridos de haz, esta unidad calcula la dirección de los objetos detectados.

- *Unidad de reconocimiento*

Esta unidad puede seleccionar y disponer los datos más necesarios o deseados dependiendo de las necesidades de cada sistema. Por ejemplo, la unidad reconoce los obstáculos más notables y puede juzgar si el vehículo delantero está en línea. La unidad promedia ocasionalmente las cifras obtenidas, filtra la interferencia y mejora la precisión de las mediciones y la fiabilidad de los datos efectuando un seguimiento de los objetos y adicionando los datos procedentes de otros sensores.

### Sistema de radar para la detección de incidentes en carretera<sup>19</sup>

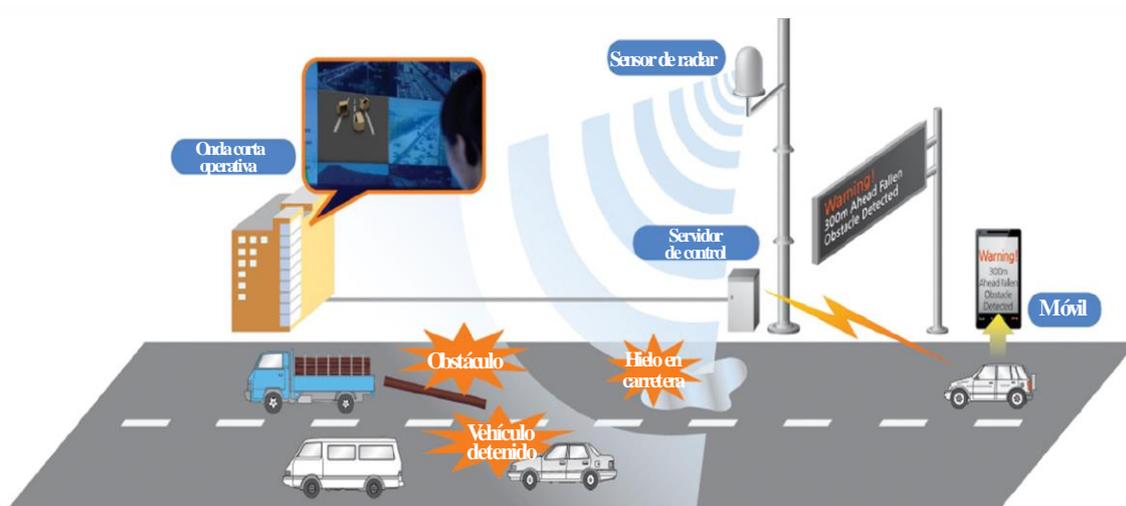
El servicio de detección de incidentes de Corea permite a los conductores recibir información en tiempo real de incidentes inesperados en carretera (obstáculos, vehículos detenidos o en dirección contraria, hielo en carretera, etc.) gracias a un sistema de detección automático y en tiempo real que utiliza sensores de radar para evitar accidentes. También ofrece información sobre el tráfico en un radio de 1 km del radar. Permite a los conductores recibir información en tiempo real en caso de fuertes lluvias o niebla gracias al sistema de detección de incidentes.

---

<sup>19</sup> Reglamentación técnica de equipos radioeléctricos sin licencia: Ministerio de Ciencia y TIC, República de Corea, Nota 2014-57, 2014.9.30; Artículo 17 Radar para la detección de información vial.

FIGURA 42

**Radar de detección de incidentes en carretera**



Land Mobile Handbook Vol.4-42

En el Cuadro 26 se detallan las características de un radar de detección de incidentes en la banda de 34 GHz.

CUADRO 26

**Sistema de radar en carretera**

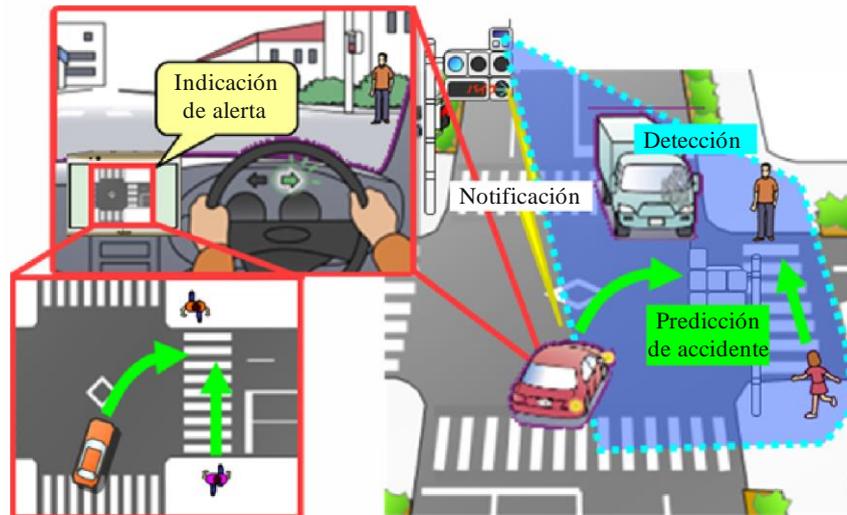
Característica (parámetro)	Valor
<b>Características operativas</b>	
Aplicación/servicio	Sistema de detección de incidentes en carretera
Instalación típica	Poste (o pórtico) en carretera
<b>Características técnicas</b>	
Alcance máximo	1 000 m
Gama de frecuencias	34,275-34,875 GHz
Ancho de banda especificado (típico)	Hasta 600 MHz
Potencia de cresta (p.i.r.e.)	Hasta +55 dBm
Potencia media (p.i.r.e.)	Hasta +45 dBm

**Radar de apoyo a la conducción cooperativa**

En Japón se ha creado y desplegado un sistema de apoyo a la conducción cooperativa para la seguridad en intersecciones. Este sistema está compuesto por un radar en ondas milimétricas instalado en la carretera para detectar a los peatones, ciclistas y vehículos que se aproximan a un cruce. El sensor en carretera suele instalarse a la misma altura que las señales de tráfico con un amplio campo visual. El sistema también alerta a los motoristas de los posibles peligros mediante la radiocomunicación STI.

FIGURA 43

### Ayuda a la conducción cooperativa



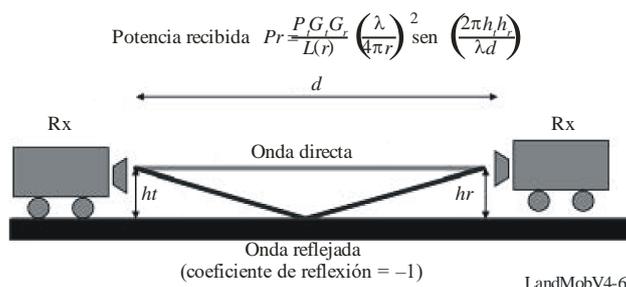
Land Mobile Handbook Vol.4-43

#### 4.6.4 Características de la propagación radioelétrica

El modelo de propagación de dos rayos entre onda directa y onda reflejada por la superficie de la carretera se utiliza para estimar las características de propagación de las ondas milimétricas. La Fig. 45 representa una visión esquemática del modelo de propagación de dos rayos. En este modelo, la potencia recibida  $P_r$  se expresa aproximadamente como muestra la Figura, siendo  $P_t$  la potencia del transmisor,  $G_t$  y  $G_r$  las ganancias de antena del transmisor y el receptor,  $L(r)$  el factor de absorción por el oxígeno,  $\lambda$  la longitud de onda,  $r$  la distancia entre antenas,  $d$  la distancia horizontal entre antenas, y  $h_t$  y  $h_r$  las alturas del transmisor y el receptor, respectivamente. En este modelo, el coeficiente de reflexión del pavimento se supone que toma un valor de  $-1$  y se ignora la directividad de la antena. Se ha supuesto un valor de la atenuación por absorción de las moléculas de oxígeno de 16 dB/km.

FIGURA 44

### Modelo de propagación de dos rayos

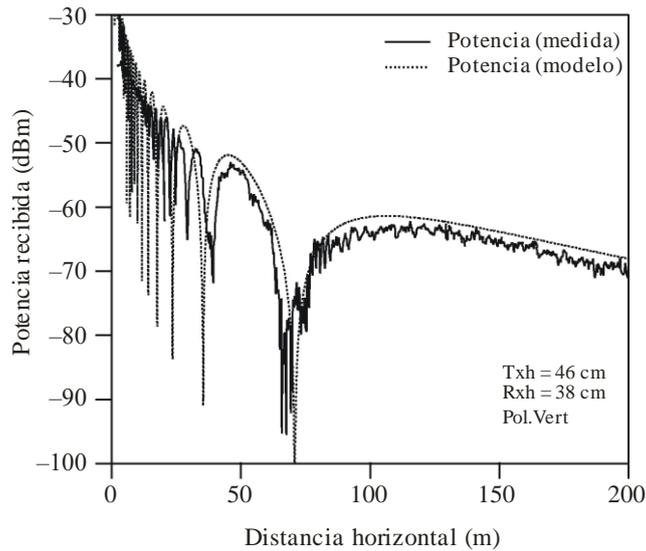
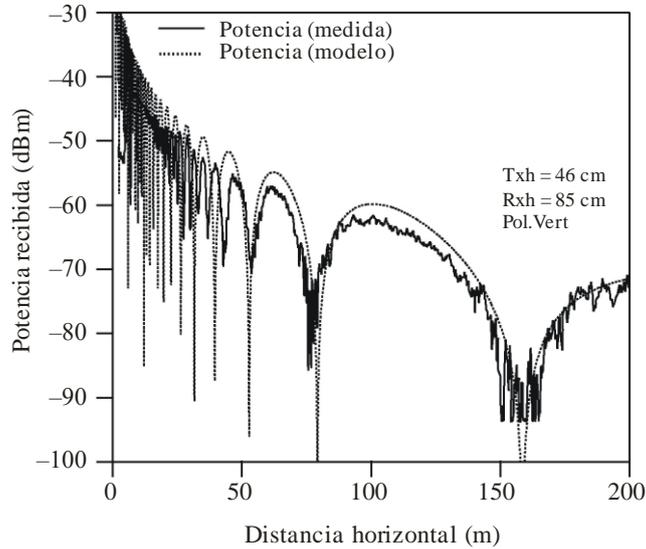


LandMobV4-61

La Fig. 45 muestra los resultados de las mediciones de la potencia recibida. El eje horizontal representa la distancia entre los vehículos. Los resultados de la potencia medida son similares a los obtenidos por el modelo de propagación de dos rayos.

FIGURA 45

**Resultados de las mediciones de la potencia recibida entre vehículos**



LandMobV4-63



## CAPÍTULO 5

### NORMAS

En este Capítulo se recogen las normas UIT-R e industriales de las Regiones 1, 2 y 3 pertinentes a la utilización de tecnologías radioeléctricas para aplicaciones STI.

#### 5.1 Norma DSRC

##### 5.1.1 Norma mundial sobre DSRC

CUADRO 27

#### Norma mundial sobre ETC

Organi- zación	Norma	Título
UIT	UIT-R M.1453-2	Sistemas de transporte inteligentes – Comunicaciones especializadas de corto alcance a 5,8 GHz

##### 5.1.2 Norma DSRC en la Región 1

En las normas del ETSI se definen los equipos OBE y RSE, así como sus especificaciones de prueba para la recaudación electrónica de peajes.

CUADRO 28

#### Normas sobre ETC en Europa

Organi- zación	Norma	Título
ETSI	EN 300 674	Road Transport and Traffic Telematics (RTTT); Dedicated Short Range Communication (DSRC) transmission equipment (500 kbit/s / 250 kbit/s) operating in the 5,8 GHz Industrial, Scientific and Medical (ISM) band
	ETSI EN 300 674-2-1	Transport and Traffic Telematics (TTT); Dedicated Short Range Communication (DSRC) transmission equipment (500 kbit/s / 250 kbit/s) operating in the 5.8 GHz Industrial, Scientific and Medical (ISM) band; Part 2: Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of the Directive 2014/53/EU; Sub-part 1: Road Side Units (RSU)
	ETSI EN 300 674-2-2	Transport and Traffic Telematics (TTT); Dedicated Short Range Communication (DSRC) transmission equipment (500 kbit/s / 250 kbit/s) operating in the 5.8 GHz Industrial, Scientific and Medical (ISM) band; Part 2: Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of the Directive 2014/53/EU; Sub-part 2: On-Board Units (OBU)
	TS 102 486	Test specifications for DSRC transmission equipment

### 5.1.3 Norma DSRC en la Región 2

A pesar de que sería deseable disponer de una norma común y de interoperabilidad uniforme en América del Norte<sup>20</sup>, en la actualidad cada zona utiliza sus propias tecnologías en vehículos y carreteras para la recaudación electrónica de peajes. Esas tecnologías no ofrecen una interoperabilidad directa, por lo que es necesario contar con múltiples transceptores para utilizar ese servicio en diferentes áreas y se recurre a acuerdos de intercambio de datos para lograr una interoperabilidad limitada entre zonas de la misma región. A largo plazo se espera que las tecnologías de vehículos conectados permitan la convergencia de la recaudación electrónica de peajes en una o más tecnologías sobre la base de normas industriales de carácter voluntario.

### 5.1.4 Norma DSRC en la Región 3

En las normas DSRC se definen los equipos OBE y RSE, así como sus especificaciones de prueba para la recaudación electrónica de peajes.

CUADRO 29

#### Normas sobre ETC en Asia-Pacífico

Organización	Norma	Título
TTA	TTAS.KO-06.0025/R1	Standard of DSRC Radio Communication between Road-side Equipment and On-board Equipment in 5.8 GHz band
	TTAS.KO-06.0052/R1	Test specification for DSRC L2 at 5.8 GHz
	TTAS.KO-06.0053/R1	Test specification for DSRC L7 at 5.8 GHz
ARIB	STD-T75	Dedicated Short Range Communication (DSRC) System
SAC (Administración de normalización de China)	GB/T 20851.1-2007	Electrical toll collection – Dedicated short range communication – Part 1: Physical layer
	GB/T 20851.2-2007	Electrical toll collection – Dedicated short range communication – Part 2: Data link layer
	GB/T 20851.3-2007	Electrical toll collection – Dedicated short range communication – Part 3: Application layer
	GB/T 20851.4-2007	Electrical toll collection – Dedicated short range communication – Part 4: Equipment application
	GB/T 20851.5-2007	Electrical toll collection – Dedicated short range communication – Part 5: Test methods of the main parameters in physical layer
IMDA TSAC	IMDA TS DSRC	Technical Specification for Dedicated Short-Range Communications in Intelligent Transport Systems

<sup>20</sup> <https://www.ibtta.org/sites/default/files/documents/Interoperability/IBTTA%20White%20Paper%20Toll%20Interoperability%20September%202016.pdf>.

## 5.2 Norma de radiocomunicaciones STI avanzadas

CUADRO 30

### Recomendaciones e Informes de la UIT

Organización	Documento	Título
UIT	Rec. UIT-R M.1890	Operational radiocommunication objectives and requirements for advanced Intelligent Transport Systems
	Informe UIT-R M.2228	Advanced intelligent transport systems (ITS) radiocommunications
	Rec. UIT-R M.2084	Normas relativas a la interfaz radioeléctrica de las comunicaciones bidireccionales de vehículo a vehículo y de vehículo a infraestructura para aplicaciones de sistemas de transporte inteligentes

### 5.2.1 Norma G5 STI en la Región 1

La norma G5 STI define los requisitos de usuario, la arquitectura del sistema y las especificaciones de capa de las aplicaciones V2X STI.

CUADRO 31

### Norma sobre radiocomunicaciones STI avanzadas en Europa

Organización	Norma	Título
ETSI	TS 102 637 series	Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications
	EN 302 637-2	ITS-Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service
	EN 302 637-3	ITS-Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service
	EN 302 665	Intelligent Transport Systems (ITS); Communications Architecture
	TS 102 636 series	Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking
	EN 302 636-4-1	Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 4: Geographical Addressing and Forwarding for Point-to-Point and Point-to-Multipoint Communications; Subpart 1: Media-Independent Functionality
	TS 102 894-2	ITS-Users and applications requirements; Part 2: Applications and facilities layer common data dictionary. Dictionary of definitions used by other ETSI TC ITS standards
	TS 102 890-3	ITS – Facilities layer function; facility position and time management
	EN 302 895	Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Local Dynamic Map (LDM)

CUADRO 31 (*fin*)

Organización	Norma	Título
ETSI	TS 101 556-1	Intelligent Transport Systems (ITS); I2V Applications; Electric Vehicle Charging Spot Notification Specification
	TS 101 556-2	Intelligent Transport Systems (ITS); Infrastructure to Vehicle Communication; Part 2: Communication system specification to support application requirements for Tyre Information System (TIS) and Tyre Pressure Gauge (TPG) interoperability
	TS 101 539-1	ITS – V2X Applications; Part 1: Road Hazard Signalling (RHS) application requirements
	TS 101 539-3	ITS – V2X Applications; Part 3: Longitudinal Collision Risk Warning (LCRW) application requirement specification
	TS 102 792	Intelligent Transport Systems (ITS); Mitigation techniques to avoid interference between European CEN Dedicated Short Range Communication (CEN DSRC) tolling equipment and Intelligent Transport Systems (ITS) operating in the 5 GHz frequency range
	EN 302 571	Intelligent Transport Systems (ITS); Radiocommunications equipment operating in the 5 855-5 925 MHz frequency band; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU
	EN 302 686	Intelligent Transport Systems (ITS); Radiocommunications equipment operating in the 63 GHz to 64 GHz frequency band; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of the 3 R&TTE Directive. This standard is under revision to take into account the updated frequency band 63.72-65.88 GHz and to cover the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU
	EN 302 663	Intelligent Transport Systems (ITS); European profile standard for the physical and medium access control layer of Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band

### 5.2.2 Norma WAVE en la Región 2

La norma WAVE define los requisitos de usuario, la arquitectura del sistema y la especificación de capa de las aplicaciones V2X STI.

CUADRO 32

#### Normas sobre radiocomunicaciones STI avanzadas en Estados Unidos de América

Organización	Norma	Título
ASTM	E2213-03	Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange Between Roadside and Vehicle Systems – 5 GHz Band Dedicated Short Range Communications (DSRC) Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications
IEEE	IEEE 802.11-2016	Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications
	IEEE 1609.0-2013	IEEE Guide for WAVE – Architecture
	IEEE 1609.2-2016	IEEE Standard for WAVE – Security Services for Applications and Management Messages
	IEEE 1609.3 -2016	IEEE Standard for WAVE – Networking Services
	IEEE 1609.4-2016	IEEE Standard for WAVE – Multi-Channel Operations
	IEEE 1609.11-2010	IEEE Standard for WAVE – Over-the-Air Electronic Payment Data Exchange Protocol for ITS
	IEEE 1609.12-2016	IEEE Standard for WAVE – Identifier Allocations
SAE	SAE J2735 March, 2016	Dedicated Short Range Communications (DSRC) Message Set Dictionary
	SAE J2945/1 March, 2016	On-board System Requirements for V2V Safety Communications

### 5.2.3 Norma de radiocomunicaciones STI avanzadas en la Región 3

ARIB, CCSA, ITS info-communication forum, ITS connect promotion forum, CCSA, IMDA TSAC y TTA han elaborado normas sobre V2X.

CUADRO 33

**Normas, especificaciones técnicas y directrices sobre radiocomunicaciones STI avanzadas en Asia-Pacífico**

Organización	Norma	Título
TTA	TTAS.KO-06.0175/R2	Vehicle Communication System Stage1: Requirements
	TTAS.KO-06.0193/R2	Vehicle Communication System Stage2: Architecture
	TTAS.KO-06.0216/R1	Vehicle Communication System Stage3: PHY/MAC
	TTAS.KO-06.0479	Vehicle Communication System Stage3: PHY/MAC (LTE-V2X)
	TTAS.KO-06.0234/R1	Vehicle Communication System State 3: Networking
	TTAK.KO-06.0242/R1	Vehicle Communication System Stage3: Application Protocol Interface
	TTAK KO-06.0344	In-Vehicle Signage System for Vehicle Safety Guidance Stage 1: Requirements
	TTAK KO-06.0344-Part 2	In-Vehicle Signage System for Vehicle Safety Guidance Stage 2: Data Exchange
ITS Info-communications Forum	ITS FORUM GUIDELINES	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ITS FORUM RC-008 Operation Management Guideline for Driver Assistance Communications System</li> <li>– ITS FORUM RC-009 Security Guideline for Driver Assistance Communications System</li> <li>– ITS FORUM RC-010 70 0MHz BAND INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS – Extended Functions Guideline</li> <li>– ITS FORUM RC-013 700 MHz BAND INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS – Experimental Guideline for Inter-vehicle Communication Messages</li> </ul>
ITS Connect Promotion Consortium	ITS Connect TD-001	ITS Connect TD-001 Inter-vehicle Communication Message Specifications
ARIB	STD T109	700 MHz Band Intelligent Transport System
CCSA	YD/T 3400-2018	General technical requirements of LTE-based vehicular communication
	YD/T 3340-2018	Technical requirements of air interface of LTE-based vehicular communication
IMDA TSAC	IMDA TS DSRC	Technical Specification for Dedicated Short-Range Communications in Intelligent Transport Systems

**5.3 Normas V2X celular**

En las normas sobre V2X LTE se definen las comunicaciones y aplicaciones V2X.

CUADRO 34

**Lista de especificaciones técnicas de 3GPP sobre la V2X**

<b>Norma</b>	<b>Título</b>
	<b>&lt;Core network and UE protocol&gt;</b>
3GPP TS 22.185	Service requirements for V2X service
3GPP TS 23.003	Numbering, addressing and identification
3GPP TS 23.007	Restoration procedures.
3GPP TS 23.008	Organization of subscriber data
3GPP TS 23.122	Non-Access-Stratum (NAS) functions related to Mobile Station (MS) in idle mode
3GPP TS 23.203	Policy and charging control architecture
3GPP TS 23.285	Architecture enhancements for V2X service
3GPP TS 23.303	Proximity-based services (ProSe); Stage 2
3GPP TS 24.301	Non-Access-Stratum (NAS) protocol for Evolved Packet System (EPS); Stage 3
3GPP TS 24.334	Proximity-services (ProSe) User Equipment (UE) to Proximity-services (ProSe) Function Protocol aspects; Stage 3
3GPP TS 24.385	V2X services Management Object (MO)
3GPP TS 24.386	User Equipment (UE) to V2X control function; protocol aspects; Stage 3
3GPP TS 29.116	Representational state transfer over xMB reference point between content provider and BM-SC
3GPP TS 29.212	Policy and Charging Control (PCC); Reference points
3GPP TS 29.272	Evolved Packet System (EPS); Mobility Management Entity (MME) and Serving GPRS Support Node (SGSN) related interfaces based on Diameter protocol
3GPP TS 29.388	V2X Control Function to Home Subscriber Server (HSS) aspects (V4); Stage 3
3GPP TS 29.389	Inter-V2X Control Function Signalling aspects (V6); Stage 3
3GPP TS 29.468	Group Communication System Enablers for LTE (GCSE_LTE); MB2 reference point; Stage 3
3GPP TS 31.102	Characteristics of the Universal Subscriber Identity Module (USIM) application
	<b>&lt;Security&gt;</b>
3GPP TS 33.185	Security aspect for LTE support of V2X services
	<b>&lt;Device performance requirements&gt;</b>
3GPP TS 36.101	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception
3GPP TS 36.133	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Requirements for support of radio resource management
	<b>&lt;Physical layer aspects&gt;</b>
3GPP TS 36.211	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation
3GPP TS 36.212	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and channel coding
3GPP TS 36.213	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures
3GPP TS 36.214	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer; Measurements

CUADRO 34 (fin)

Norma	Título
	<Medium access and radio resource management protocols>
3GPP TS 36.300	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2
3GPP TS 36.302	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Services provided by the physical layer
3GPP TS 36.304	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) procedures in idle mode
3GPP TS 36.306	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio access capabilities
3GPP TS 36.321	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Medium Access Control (MAC) protocol specification
3GPP TS 36.322	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Link Control (RLC) protocol specification
3GPP TS 36.323	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Packet Data Convergence Protocol (PDCP) specification
3GPP TS 36.331	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification
	<Radio access network aspects>
3GPP TS 36.443	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); M2 Application Protocol (M2AP)
3GPP TS 36.413	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); S1 Application Protocol (S1AP)
3GPP TS 36.423	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 application protocol (X2AP)

#### 5.4 Normas de radiodifusión

CUADRO 35

##### Lista de normas de radiodifusión

Organización	Norma	Título
TTA	TTAS.KO-07.0035	Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting Systems; Specification of the traffic and travel information service transmission for VHF DMB to mobile, portable and fixed receivers
	TTAS.KO-07.0106/R1	Specification of TTI difference GPS service for DMB to mobile, portable and fixed receivers

## 5.5 Comunicación y radares en ondas milimétricas

### 5.5.1 Normas sobre radares en automóviles en ondas milimétricas de la UIT

CUADRO 36

#### Normas mundiales sobre radares en automóviles en ondas milimétricas

Organización	Norma		Título
UIT	Recomendación	UIT-R M.1452	Radares de ondas milimétricas para evitar colisiones entre vehículos y sistemas de radiocomunicaciones para aplicaciones de sistemas de transporte inteligentes
		UIT-R M.2057	Características del sistema de radares en automóviles que funcionan en la banda de frecuencias 76-81 GHz para aplicaciones de sistemas de transporte inteligentes
	Informe	UIT-R M.2322	Systems Characteristics and Compatibility of Automotive Radars Operating in the 77.5-78 GHz Band for Sharing Studies
		UIT-R F.2394	Compatibility between point-to-point applications in the fixed service operating in the 71-76 GHz and 81-86 GHz bands and automotive radar applications in the radiolocation service operating in the 76-81 GHz bands

### 5.5.2 Normas sobre radares en automóviles en ondas milimétricas en la Región 1

CUADRO 37

#### Normas sobre radares en automóviles en ondas milimétricas en Europa

Organización	Norma	Título
ETSI	TR 101 983	Radio equipment to be used in the 76 GHz to 77 GHz band; System Reference Document for Short-Range Radar to be fitted on road infrastructure
	EN 301 091 parts 1-2	Short Range Devices; Road Transport and Traffic Telematics (RTTT); Radar equipment operating in the 76 GHz to 77 GHz range;
	EN 302 258 parts 1-2	Short Range Devices; Road Transport and Traffic Telematics (RTTT) Radar equipment operating in the 24.05 GHz to 24.25 GHz or 24.05 GHz to 24.50 GHz range
	EN 302 288 parts 1-2	Short Range Devices; Road Transport and Traffic Telematics (RTTT); Short range radar equipment operating in the 24 GHz range
	EN 302 264 parts 1-2	Short Range Devices, Road Transport and Traffic Telematics (RTTT); Short Range Radar equipment operating in the 77 GHz to 81 GHz band

### 5.5.3 Normas sobre radares en automóviles en ondas milimétricas en la Región 2

CUADRO 38

#### Normas sobre radares en vehículos en ondas milimétricas en América del Norte y del Sur

Organización	Norma	Título
	ANSI C63.10-2013	
	FCC part 15.249	FCC Part 15 PART 15 – RADIO FREQUENCY DEVICES Operation within the bands 902-928, MHz, 2 400-2 483.5 MHz, 5 725-5 875 MHz, and 24.0-24.25 GHz
	FCC part 15.252	FCC Part 15 PART 15 – RADIO FREQUENCY DEVICES 15.252 Operation of wideband vehicular radar systems within the bands 16.2-17.7 GHz and 23.12-29.0 GHz
	FCC part 95M	FCC part 15 PART 15 – RADIO FREQUENCY DEVICES 15.253 Operation within the bands 46.7-46.9 GHz and 76.0-77.0 GHz
	FCC part 15.515	FCC part 15 PART 15 – RADIO FREQUENCY DEVICES 15.515 Technical requirements for vehicular radar systems

### 5.5.4 Normas sobre radares en automóviles en ondas milimétricas en la Región 3

CUADRO 39

#### Normas sobre radares en automóviles en ondas milimétricas en Asia-Pacífico

Organización	Norma	Título
ARIB	STD-T48	Millimeter-Wave Radar Equipment for Specified Low Power Radio Station
	STD-T111	79 GHz Band High-Resolution Radar
IMDA	IMDA TS SRD	
TSAC	IMDA TS UWB	

## CAPÍTULO 6

### UTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS PARA APLICACIONES STI

En este Capítulo se describen las asignaciones de frecuencias a las tecnologías de radiocomunicaciones para aplicaciones STI. En el Cuadro siguiente se resumen las asignaciones de radiofrecuencias.

CUADRO 40

#### Utilización de frecuencias de las tecnologías de radiocomunicaciones para aplicaciones STI

Tecnologías de radiocomunicaciones para STI	Frecuencias utilizadas
DSRC	900 MHz (sólo en algunos países de la Región 2), 2,4 GHz, 5,8 GHz
Radiocomunicaciones STI avanzadas	760 MHz, 5,9 GHz, 63-66 GHz
Radiodifusión MF	74-90 MHz
Radares en vehículos	5,8 GHz, 24 GHz, 60 GHz, 76 GHz, 79 GHz
Radares en carretera	34 GHz

#### 6.1 Utilización de frecuencias de DSRC

En la Fig. 46 se muestran las bandas de frecuencias utilizadas por DSRC en Europa, América del Norte, Japón y Corea. A excepción de la banda de 900 MHz en América del Norte (902-928 MHz), la utilización actual de bandas de frecuencias en cada región está armonizada en torno a la banda industrial, científica y médica (ICM) de 5,8 GHz.

FIGURA 46

**Utilización de frecuencias para la comunicación DSRC**

					5,795 GHz	5,815 GHz		
UE					[Barra azul]			
		902 MHz	928 MHz					
EE.UU.	[Barra azul]							
					5,770 GHz		5,850 GHz	
Japón					[Barra azul]			
					5,795 GHz	5,815 GHz		
Corea					[Barra azul]			

Land Mobile Handbook Vol.4-46

En el § 4.1.3 se esbozan las tecnologías y características de la DSRC en la banda de 5,8 GHz como complemento del contenido de la Recomendación UIT-R M.1453-2 – Sistemas de transporte inteligentes – Comunicaciones especializadas de corto alcance a 5,8 GHz.

**6.2 Utilización de frecuencias de las radiocomunicaciones STI avanzadas**

En la Fig. 47 se muestra la banda de frecuencias para la comunicación V2X especializada.



**6.4 Utilización de frecuencias de la radiodifusión**

**FIGURA 48**  
**Utilización de frecuencias de la radiodifusión**

			87,5 MHz		108 MHz				
UE									
			87,5 MHz		108 MHz				
EE.UU.									
		76 MHz			90 MHz				
Japón									
			88 MHz		108 MHz		1 452 MHz	1 492 MHz	
Corea									

Land Mobile Handbook Vol.4-48

**6.5 Utilización de frecuencias de radares en vehículos y en carretera en ondas milimétricas**

**FIGURA 49**  
**Radares en ondas milimétricas**

		21,65 GHz		26,65 GHz						76 GHz	77 GHz	81 GHz
UE												
		22 GHz			29 GHz					76 GHz	77 GHz	
EE.UU.												
		22 GHz			29 GHz					76 GHz	77 GHz	81 GHz
Brasil												
			24 GHz		29 GHz		60 GHz	61 GHz		76 GHz	77 GHz	81 GHz
Japón												
		24,25 GHz		26,65 GHz		74,275 GHz	34,875 GHz			76 GHz	77 GHz	81 GHz
Corea												

Land Mobile Handbook Vol.4-49

## Anexo A

### Lista de acrónimos

3GPP	Programa de asociación de tercera generación ( <i>3rd generation partnership program</i> )
AACN	Notificación automática de colisión ( <i>automatic crash notification</i> )
ACC	Control de navegación adaptativo ( <i>adaptive cruise control</i> )
ACR	Encaminador de control de acceso ( <i>access control router</i> )
ADSL	Bucle de abonado digital asimétrico ( <i>asymmetric digital subscriber loop</i> )
AGPS	GPS asistido ( <i>assisted GPS</i> )
AHS	Sistema de autopistas automatizado ( <i>automated highway system</i> )
AMDC	Acceso múltiple por división de código
AMDF	Acceso múltiple por división en frecuencia
AMDP	Acceso múltiple por detección de portadora
AMDT	Acceso múltiple por división en el tiempo
AMNO	Acceso múltiple no ortogonal
AoA	Ángulo de llegada ( <i>angle of arrival</i> )
ARIB	Asociación de Industrias y Empresas de Radiocomunicaciones de Japón ( <i>Association of Radio Industries and Businesses</i> )
ASECAP	Asociación de operadores de infraestructuras de peaje ( <i>Association of operators of toll road infrastructures</i> )
ASL	Subcapa de aplicación ( <i>application sub-layer</i> )
ASTM	Sociedad americana para pruebas y materiales, posteriormente ASTM Internacional ( <i>American Society for Testing and Materials</i> )
ATIS	Servicio avanzado de información sobre tráfico ( <i>advanced traffic information service</i> )
AVI	Identificación de vehículo automática ( <i>automatic vehicle identification</i> )
AWG	Grupo inalámbrico de la APT ( <i>APT Wireless Group</i> )
BCMCS	Servicio de radiodifusión-multidifusión ( <i>broadcast-multicast service</i> )
BER	Tasa de errores en los bits ( <i>bit error ratio</i> )
BIS	Sistema de información de autobuses ( <i>bus information systems</i> )
BMS	Sistema de gestión de autobuses ( <i>bus management system</i> )
C2C-CC	CAR-to-CAR Communication Consortium
CACC	Control de navegación adaptativo cooperativo ( <i>cooperative adaptive cruise control</i> )
CAMP	Crash Avoidance Metric Partnership
CCSA	Asociación de Normalización de las Comunicaciones de China ( <i>China Communications Standard Association</i> )
CCTV	Televisión por circuito cerrado ( <i>closed circuit television</i> )
CEDR	Conferencia Europea de Directores Generales de Carreteras ( <i>Conference of European Directors of Roads</i> )

CEN	Comité Europeo de Normalización ( <i>European Committee for Standardization</i> )
CEPT	Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones ( <i>European Conference of Postal and Telecommunications Administrations</i> )
CLI	Identificación de línea llamante ( <i>caller line identification</i> )
DARC	Canal de radiocomunicaciones de datos ( <i>data radio channel</i> )
DB	Base de datos ( <i>data base</i> )
DCC	Control de congestión distribuido ( <i>distributed congestion control</i> )
DCU	Unidad de comunicaciones de datos ( <i>data communication unit</i> )
DELTA	Implementación electrónica de DSRC para aplicaciones de transporte y automoción ( <i>DSRC electronics implementation for transportation and automotive applications</i> )
DDF	Dúplex por división de frecuencia
DDT	Dúplex por división en el tiempo
DGPS	GPS diferencial ( <i>differential globe positioning system</i> )
DMB	Radiodifusión multimedios digital ( <i>digital multimedia broadcasting</i> )
DMDP4	MDP4 diferencial
DSB	Radiodifusión sonora digital ( <i>digital sound broadcasting</i> )
DSRC	Comunicaciones especializadas de corto alcance ( <i>dedicated short range communications</i> )
DTTB	Radiodifusión de televisión terrenal digital ( <i>digital terrestrial television broadcasting</i> )
EAU	Emiratos Árabes Unidos
ECC	Comité de Comunicaciones Electrónicas ( <i>Electronic Communications Committee</i> )
EID	Identificación de entidad ( <i>entity identification</i> )
EM	Estación móvil
ERC	Comité Europeo de Radiocomunicaciones ( <i>European Radiocommunications Committee</i> )
ERI	Identificación de registro electrónico ( <i>electronic registration identification</i> )
ETC	Pago electrónico de peaje ( <i>electronic toll collection</i> )
ETSI	Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación ( <i>European Telecommunications Standardization Institute</i> )
FA	Agente extranjero ( <i>foreign agent</i> )
FCC	Comisión Federal de Comunicaciones ( <i>Federal Communications Committee</i> )
FEC	Control de errores en recepción ( <i>forward error control</i> )
FFT	Transformada rápida de Fourier ( <i>fast Fourier transform</i> )
FLO	Tecnología de enlace de ida únicamente ( <i>forward link only technology</i> )
FOT	Pruebas en condiciones reales ( <i>field operational tests</i> )
FWA	Acceso inalámbrico fijo ( <i>fixed wireless access</i> )
GMLC	Centro de emplazamiento móvil de cabecera ( <i>gateway mobile location centre</i> )
GNSS	Sistema mundial de navegación por satélite ( <i>global navigation satellite system</i> )
GPR	Radares de penetración en el suelo ( <i>ground penetrating radars</i> )
GPS	Sistema mundial de determinación de posición ( <i>global positioning system</i> )
HDLC	Control de enlace de datos de alto nivel ( <i>high-level data link control</i> )

HSDPA	Acceso al paquete de enlace descendente de alta velocidad ( <i>high speed downlink packet access</i> )
IAG	Grupo Interorganizaciones ( <i>interagency group</i> )
ID	IDentificación
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos ( <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> )
IETF	Grupo de tareas sobre ingeniería de Internet ( <i>Internet engineering task force</i> )
IMDA	Autoridad de Desarrollo de Medios de Infocomunicación ( <i>Singapur</i> ) ( <i>Infocomm Media Development Authority (Singapore)</i> )
IMS	Subsistema multimedios IP ( <i>IP multimedia subsystem</i> )
IMT-2000	Telecomunicaciones móviles internacionales-2000 (international mobile telecommunication-2000)
IP	Protocolo Internet ( <i>Internet Protocol</i> )
ICM	Industrial, científico y médico
ISO	Organización Internacional de Normalización ( <i>International Organization for Standardization</i> )
ITI	Infraestructura de transporte inteligente ( <i>intelligent transportation infrastructure</i> )
LAN	Red de área local ( <i>local area network</i> )
LBS	Servicio basado en el emplazamiento ( <i>location based service</i> )
LCD	Pantalla de cristal líquido ( <i>liquid crystal display</i> )
LCP	Protocolo de control local ( <i>local control protocol</i> )
LDM	Mapa dinámico local ( <i>local dynamic map</i> )
LED	Diodo emisor de luz ( <i>light emitting diode</i> )
LMS	Servicio de localización y supervisión ( <i>location and monitoring service</i> )
LOS	Línea de visibilidad directa ( <i>line of sight</i> )
LRR	Radar en vehículo de largo alcance ( <i>long range vehicular radar</i> )
LTE	Evolución a largo plazo ( <i>long term evolution</i> )
MAC	Control de acceso al medio ( <i>medium access control</i> )
MAQ	Modulación de amplitud en cuadratura
MDA	Modulación por desplazamiento de amplitud
MDMG	Modulación por desplazamiento mínimo gaussiano
MDMN	Modulación por desplazamiento mínimo con control por el nivel
MDP	Modulación por desplazamiento de fase
MDP2	Modulación por desplazamiento de fase binaria
MDP4	Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura
MDSS	Sistema auxiliar a las decisiones de mantenimiento ( <i>maintenance decision support system</i> )
MF0	Modulación en frecuencia 0
MIC	Ministerio de Asuntos Internos y Comunicaciones ( <i>Ministry of Internal Affairs and Communications</i> )
MMD	Dominio multimedios ( <i>multi-media domain</i> )

MMI	Interfaz hombre máquina ( <i>man machine interface</i> )
MMS	Servicio de mensajería multimedios ( <i>multimedia messaging service</i> )
MNO	Operador de red móvil ( <i>mobile network operator</i> )
MOCT	Ministerio de Construcción y Transporte ( <i>Ministry of Construction and Transportation</i> )
MRPI	Información previa de alcance medio ( <i>medium range pre-information</i> )
NLOS	Sin visibilidad directa ( <i>Non-line of sight</i> )
NMS	Sistema de comprobación de red ( <i>network monitoring system</i> )
NRZ	No retorno a cero ( <i>none return to zero</i> )
NRZI	No retorno a cero invertido ( <i>none return to zero inverted</i> )
OBD	Diagnóstico a bordo ( <i>on-board diagnostics</i> )
OBE	Equipo de a bordo ( <i>on-board equipment</i> )
OBU	Unidad de a bordo ( <i>on-board unit</i> )
OFDM	Multiplexión por división ortogonal de frecuencia ( <i>orthogonal frequency division multiplexing</i> )
OFDMA	Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal ( <i>orthogonal frequency division multiple access</i> )
OSI	Interconexión de sistemas abiertos ( <i>open system interconnection</i> )
OTDoA	Diferencia de tiempo observado de llegada ( <i>observed time difference of arrival</i> )
P2C	Peatón a centro ( <i>pedestrian to centre</i> )
P2I	Peatón a infraestructura ( <i>pedestrian to infrastructure</i> )
P2V	Peatón a vehículo ( <i>pedestrian to vehicle</i> )
P2X	Peatón a entorno ( <i>pedestrian to anything</i> )
PC5	Enlace directo dispositivo a dispositivo ( <i>device-to-device direct link</i> )
PCS	Servicio de comunicaciones personales ( <i>personal communication service</i> )
PDA	Asistencia digital personal ( <i>personal digital assistance</i> )
PDE	Entidad de determinación de la posición ( <i>position determination entity</i> )
PHY	Capa física ( <i>physical layer</i> )
p.i.r.e.	Potencia isotrópica radiada equivalente
POI	Punto de interés ( <i>point of interest</i> )
POLIS	European Cities and Regions Networking for Innovative Transport Solutions
ProSE	Servidor de proximidad ( <i>proximity server</i> )
PSAP	Punto de asistencia y seguridad pública ( <i>public safety and assistance party</i> )
PSAP	Punto de respuesta de seguridad pública ( <i>public safety answering point</i> )
PSS	Estación de abonado portátil ( <i>portable subscriber station</i> )
PTIS	Sistema de información de transporte público ( <i>public transportation information system</i> )
RADAR	Radiodetección y determinación de posición ( <i>radio detecting and ranging</i> )
RDS	Sistema de radiocomunicación de datos ( <i>radio data system</i> )
RF	Radiofrecuencia
RSE	Equipo vial, equipo al borde de la carretera ( <i>road side equipment</i> )

RSU	Unidad vial, en carretera ( <i>roadside unit</i> )
RTPC	Red telefónica pública conmutada
RTT	Tecnología de transmisión radioeléctrica ( <i>radio transmission technology</i> )
RTTT	Telemática para el transporte vial y el tráfico ( <i>road transport and traffic telematics</i> )
RVC	Comunicación vehicular en carretera ( <i>road vehicle communication</i> )
SDM	Módulo de servicio y diagnóstico ( <i>serving and diagnostic module</i> )
SIP	Protocolo de inicio de sesión ( <i>session initiation protocol</i> )
SNP	Protocolo de red de señalización ( <i>signaling network protocol</i> )
SRR	Radar en vehículo de corto alcance ( <i>short range vehicular radar</i> )
STA	Estación ( <i>station</i> )
STI	Sistema de transporte inteligente
STI-C	Comunicación STI cooperativa
TCP/IP	Protocolo de control de transmisión/protocolo Internet ( <i>transmit control protocolo/Internet protocol</i> )
TDoA	Diferencia en el tiempo de llegada ( <i>time difference of arrival</i> )
TIA	Asociación de Industria de las Telecomunicaciones ( <i>Telecommunications Industry Association</i> )
TIC	Tecnologías de la información y la comunicación
ToA	Tiempo de llegada ( <i>time of arrival</i> )
TPC	Control de potencia de transmisión ( <i>Transmit power control</i> )
TPEG	Grupo de Expertos sobre el Protocolo de Transporte ( <i>Transport Protocol Experts Group</i> )
TRS	Sistema radioeléctrico troncal ( <i>trunked radio system</i> )
TSAC	Comité Asesor de Normalización de las Telecomunicaciones (Singapur) ( <i>Telecommunications Standards Advisory Committee (Singapore)</i> )
TTA	Asociación de Tecnología de las Telecomunicaciones ( <i>Telecommunication Technology Association</i> )
TTI	Información de tráfico y viajes ( <i>traffic and travel information</i> )
UDP/IP	Protocolo de datagrama de usuario/protocolo Internet ( <i>user datagram protocolo/Internet protocol</i> )
UE	Unión Europea
UE	Equipo de usuario ( <i>user equipment</i> )
UMTS	Sistema de telecomunicaciones móviles universales ( <i>universal mobile telecommunications system</i> )
URA	Zona de registro UTRAN ( <i>UTRAN registration area</i> )
USD	Directiva de servicio universal ( <i>universal service directive</i> )
UTRAN	Red de acceso radioeléctrico terrenal UMTS ( <i>UMTS terrestrial radio access network</i> )
Uu	Enlace entre una estación base y un dispositivo
UWB	Banda ultra amplia ( <i>ultra wide band</i> )
V2I	Vehículo a infraestructura ( <i>vehicle to infrastructure</i> )
V2N	Vehículo a red ( <i>vehicle to network</i> )

V2V	Comunicación vehículo a vehículo ( <i>vehicle to vehicle communication</i> )
V2X	Vehículo a entorno ( <i>vehicle to anything</i> )
V2X-LTE	V2X basada en LTE
VE	Vehículo eléctrico
VICS	Sistema de información y comunicación en vehículos ( <i>vehicle information and communication system</i> )
VIN	Número de identificación del vehículo ( <i>vehicle identification number</i> )
VMC	Comunicación multisalto vehicular ( <i>vehicle multi-hop communication</i> )
VMS	Signos de mensaje variables ( <i>variable message signs</i> )
VoIP	Voz sobre protocolo Internet ( <i>voice over internet protocol</i> )
WAVE	Acceso inalámbrico para entorno de vehículos ( <i>wireless access for vehicle environment</i> )
WCDMA	Acceso múltiple por división de código de banda ancha AMDC-BA ( <i>wide-band code division multiple access</i> )
WDN	Red de datos de paquetes inalámbrica ( <i>wireless packet data network</i> )
WiBro	Banda ancha inalámbrica ( <i>wireless broadband</i> )
WiMax	Interoperabilidad a escala mundial para el acceso a microondas ( <i>worldwide interoperability for microwave access</i> )
WIPI	Plataforma de Internet inalámbrica para interoperabilidad ( <i>wireless Internet platform for interoperability</i> )
WLAN	Red de área local inalámbrica ( <i>wireless local area network</i> )
WNC	Controlador de red inalámbrico ( <i>wireless network controller</i> )
WNS	Conmutador de red inalámbrico ( <i>wireless network switch</i> )
WSMP	Protocolo de mensajes breves WAVE ( <i>WAVE short message protocol</i> )

## Anexo B

### Utilización de STI en algunos países

En este Anexo se resumen la situación, las normas y la utilización de frecuencias de las aplicaciones STI en los Cuadros 41 a 45.

CUADRO 41

#### Resumen de la utilización de radiocomunicaciones STI en los Estados Miembros del UIT-R

País	Aplicación	Norma	Banda de frecuencias	Despliegue
UE	ETC	DSRC	5,795~5,815 GHz	Adoptada en 2004
	STI-C	ITS G5	5,855~5,925 GHz	Despliegue de infraestructura en algunos Estados Miembros desde 2016
	STI	ETSI EN 302 686	63,72~65,88 GHz	
	STI	FM	87,5~108 MHz	
EE.UU.	ETC	DSRC	902~928 MHz	Adoptada en 2004
	STI-C	WAVE	5,850~5,925 GHz	Despliegue en vehículos a gran escala previsto a partir de 2021
	TIS	FM	87,5~108 MHz	
Canadá	STI-C	WAVE	5,850~5,925 GHz	
China	STI-C	LTE V2X	5,905~5,925 GHz	Adoptada en 2018
Japón	ETC	DSRC	5,795~5,805 GHz y 5,835~5,845 GHz	Adoptada en 2001
	STI-C	ITS Connect	755,5-764,5 MHz	Desplegada en 2015
	VICS	Radiodifusión MF	76~90 MHz	Adoptada en 1996
		DSRC	5,770~5,850 GHz	Adoptada en 2015
Corea	ETC	DSRC	5,795~5,815 GHz	Adoptada en 2004
	STI-C	WAVE, V2X celular	5,855-5,925 GHz	Adoptada en 2016
	TIS	Radiodifusión MF	88~108 MHz 1 452~1 492 MHz	
Singapur	STI-C	WAVE	5,855~5,925 GHz	-
Australia	STI-C	WAVE	5,855~5,925 GHz	-

CUADRO 42

**Utilización de frecuencias por radares en automóviles en ondas milimétricas en la Región 1**

	ICM 24,05 to 24,25 GHz		76 a 77 GHz			77 a 81 GHz		
	Reglamentación	Norma	Reglamentación	Norma	Informe/notas	Reglamentación	Norma	Informe/notas
Europa CEPT, EU	ERC/REC 70-03 Anexo 5 DECISIÓN DE APLICACIÓN DE LA COMISIÓN 2013/752/EU	ETSI EN 302 858 (2013-07)	ERC/REC 70-03 Anexo 5 ECC/DEC/(02)01 DECISIÓN DE APLICACIÓN DE LA COMISIÓN 2017/1483/EU	ETSI EN 301 091-1 (2006-11)	Informes CEPT 35, 36 y 37	2004/545/EC ERC/REC 70-03 Anexos 5 y 13 ECC/DEC/(04)03	ETSI EN 302 264-1 (2009-04)	ECC/REP 056 Parcialmente: Informe CEPT 003 Informes CEPT 46 y 37
Rusia	Decisión SFMC No. 07-20-03-001 Anexo 7		Decisión SFMC No. 07-20-03-001 Anexo 7		Apéndice 1 Resolución del Comité Estatal de Radiofrecuencias N.º 10-09-03 de 29 de octubre de 2010	Decisión SFMC No. 07-20-03-001 Anexo 7		Apéndice 1 Resolución del Comité Estatal de Radiofrecuencias N.º 10-09-03 de 29 de octubre de 2010
Estados Árabes (por ejemplo, Arabia Saudita, Omán, EAU)	EAU-TRA: Reglamentación de dispositivos de banda ultraancha y corto alcance	Especificación técnica CITC Doc. Número: RI054 (Rev 2)	EAU-TRA: Reglamentación de dispositivos de banda ultraancha y corto alcance CITC	Especificación técnica CITC Doc. Número: RI049 (Rev 2)		77-82 GHz -SRR Decisión de la TRA No 133/2008 de 28-Oct-08		

CUADRO 43

**Utilización de frecuencias por radares en vehículos en ondas milimétricas en América del Norte y del Sur**

	ICM 24,05 a 24,25 GHz		76 a 77 GHz			77 a 81 GHz		
	Reglamentación	Norma	Reglamentación	Norma	Informe/notas	Reglamentación	Norma	Informe/notas
EE.UU.	FCC Part 15/15.249		FCC Part 15/15.253			Planificada (NPRM FCC15-16)		
Canadá		RSS-310	Políticas de utilización del espectro SP-47 GHz	RSS 251				
Brasil	Resolución ANATEL No. 506		Resolución ANATEL No. 506					

CUADRO 44

**Utilización de frecuencias por radares en vehículos en ondas milimétricas en Asia-Pacífico**

	ICM 24.05 to 24.25 GHz		76 a 77 GHz			77 a 81 GHz		
	Reglamentación	Norma	Reglamentación	Norma	Informe/notas	Reglamentación	Norma	Informe/notas
Corea (República de)	Reglamentación técnica para dispositivos sin licencia del MSIT (Notificación 2020-58)		Reglamentación técnica para dispositivos sin licencia del MSIT (Notificación 2020-58)			Reglamentación técnica para dispositivos sin licencia del MSIT (Notificación 2020-58)		
China	Especificación técnica para equipos de radiocomunicaciones con micropotencia (corto alcance) de categoría G		Especificación técnica para equipos de radiocomunicaciones con micropotencia (corto alcance, parte XIV					

CUADRO 44 (fin)

	ICM 24.05 to 24.25 GHz		76 a 77 GHz			77 a 81 GHz		
	Reglamentación	Norma	Reglamentación	Norma	Informe/notas	Reglamentación	Norma	Informe/notas
Japón	Ordenanza del Ministerio del Interior y Comunicaciones (46-2010)	ARIB STD-T73	Ordenanza de regulación de la notificación de equipos radioeléctricos del MIC (643-1997)	ARIB STD-T48		Ordenanza de regulación de la notificación de equipos radioeléctricos del MIC (4432012)	ARIB STD-T111	
Singapur			Especificación técnica de dispositivos de corto alcance de la IMDA	IMDA TS SRD		Especificación técnica de dispositivos de banda ultraancha (UWB) de la IMDA		
Tailandia	Notificación sobre reglas de concesión de licencias para equipos de radiocomunicación de radar en vehículos	NBTC TS 1011-2560 Sección 2.1.1	Notificación sobre reglas de concesión de licencias para equipos de radiocomunicación de radar en vehículos	NBTC TS 1011-2560 Sección 2.1.2		Notificación sobre reglas de concesión de licencias para equipos de radiocomunicación de radar en vehículos	NBTC TS 1011-2560 Sección 2.1.3	
Viet Nam	Reglamentación de los requisitos técnicos y operativos de dispositivos de corto alcance (Circular N.º 46/2016/TT-BTTTT)		Reglamentación de los requisitos técnicos y operativos de dispositivos de corto alcance (Circular N.º 46/2016/TT-BTTTT)			Reglamentación de los requisitos técnicos y operativos de dispositivos de corto alcance (Circular N.º 46/2016/TT-BTTTT)		

CUADRO 45

Utilización de radares en automóviles en ondas milimétricas en Asia-Pacífico

País	Aplicación	Tecnología/norma	Banda de frecuencias	Año de despliegue planificado o efectivo
Australia	Sección 66 transmisores de sistemas de radar en vehículos de corto alcance y banda ultraancha	Clase de licencia de radiocomunicaciones (dispositivos con bajo potencial interferente) 2015	22-26,5 GHz	–
	Sección 66 Transmisores de radiodeterminación		24,0-24,25 GHz	
	Radar en vehículos de largo alcance (control de navegación inteligente) Sección 69 Transmisores de radiodeterminación		76-77 GHz	
	Sección 70 Transmisores de radiodeterminación		77-81 GHz	
China	Radares de alcance vehicular	Nota sobre la promulgación de la especificación técnica de equipos de radiocomunicaciones con micropotencia (corto alcance)	24,00-24,25 GHz	Adoptada en 2005
			76-77 GHz	
	Radares de alcance vehicular	Ministerio de Industria y TI, Nota sobre los radares en vehículos de corto alcance en la banda de frecuencias de 24 GHz	24,25-26,65 GHz	Adoptada en 2012
	Radares de alcance vehicular	Radar	77-81 GHz	Experimento práctico en 2017
	Sistemas de radares en vehículos	HKCA1075 Exención de la Orden de licencias	76-77 GHz <sup>21</sup>	2005
77-81 GHz <sup>21</sup>			2017	

<sup>21</sup> Esta frecuencia se utiliza en Hong Kong, China.

CUADRO 45 (continuación)

País	Aplicación	Tecnología/norma	Banda de frecuencias	Año de despliegue planificado o efectivo
Japón	Reconocimiento medioambiental (detección de obstáculos)	Sistema de ondas cuasimilimétricas	24,0-24,25 GHz	Adoptada en 2010
			24,25-29 GHz	
		Sistema de ondas milimétricas	60-61 GHz	Adoptada en 1995
			76-77 GHz	Adoptada en 2011 (ancho de banda ocupado: 500 MHz) Revisada en 2015 (ancho de banda ocupado: 1 GHz)
		77-81 GHz	Adoptada en 2012 para 78-81 GHz Revisada en 2017 para la inclusión de bandas superiores a 77 GHz.	
Corea (República de)	Radar anticolidión en vehículos	Radar	24,25-26,65 GHz	2012 (El dispositivo de «radar en automóvil» puede instalarse hasta el 31 de diciembre de 2021 y puede utilizarse hasta el final de su vida útil.)
			76-77 GHz	2008
			77-81 GHz	2016
	Detección de incidentes en carretera	Radar en carretera en ondas milimétricas	34,275-34,875 GHz	Septiembre de 2014
Singapur	Sistemas de radar de corto alcance, como control de navegación automático y sistemas de alerta anticolidión para vehículos	Radar IMDA TS SRD	76-77 GHz	2002
	Radar en vehículos	Radar IMDA TS UWB	77-81 GHz	2008

CUADRO 45 (fin)

País	Aplicación	Tecnología/norma	Banda de frecuencias	Año de despliegue planificadoo efectivo
Tailandia	Aplicación de radar en vehículos	Norma NBTC 1011-2560	22,00-24,05 GHz	Reglamentación adoptada en 2018. Licencias de fabricación e importación para utilización en Tailandia autorizadas hasta el 31 de diciembre de 2023. A partir de esa fecha la autorización se aplicará únicamente a las piezas de repuesto.
	Aplicación de radar en vehículos	Norma NBTC 1011-2560	24,05-24,25 GHz	Reglamentación adoptada en 2007 y revisada en 2018
	Aplicación de radar en vehículos	Norma NBTC 1011-2560	24,25-26,65 GHz	Reglamentación adoptada en 2014 y revisada en 2018. Licencias de fabricación e importación para utilización en Tailandia autorizadas hasta el 31 de diciembre de 2023. A partir de esa fecha la autorización se aplicará únicamente a las piezas de repuesto
	Aplicación de radar en vehículos	Norma NBTC 1011-2560	76-77 GHz	Reglamentación adoptada en 2006
	Aplicación de radar en vehículos	Norma NBTC 1011-2560	77-81 GHz	Reglamentación adoptada en 2018
Viet Nam	Aplicaciones de corto alcance no específicas, incluidos los radares en vehículos de corto alcance	Dispositivos con bajo potencial interferente	24,00-24,25 GHz	Reglamentación adoptada en 2009
	Radar en vehículos	Radar	76-77 GHz	2012
	Radar en vehículos	Radar	77-81 GHz	2016



## Anexo C

### Publicaciones sobre STI

#### 1 Generalidades

En las siguientes cláusulas se presenta una lista no exhaustiva de las publicaciones sobre STI pertinentes de la UIT. Se incluyen resúmenes para facilitar la consulta.

#### 2 Publicaciones de la UIT

##### 2.1 Recomendación de la CMR

Recomendación 208 (CMR-19)

###### *recomienda*

1 que las administraciones consideren la posibilidad de utilizar las bandas de frecuencias armonizadas a escala mundial o regional, o partes de las mismas, que se indican en las versiones más recientes de las Recomendaciones (por ejemplo, UIT-R M.2121), cuando planifiquen y desplieguen aplicaciones de los STI evolutivos, habida cuenta del *reconociendo b)* anterior;

2 que las administraciones tengan en cuenta, si procede, los problemas de coexistencia entre las estaciones de los STI y las estaciones de los servicios existentes (por ejemplo, estaciones terrenas del SFS), habida cuenta del *considerando f)*,

##### 2.2 Recomendaciones UIT-R

- UIT-R M.1452 Radars de ondas milimétricas para evitar colisiones entre vehículos y sistemas de radiocomunicaciones para aplicaciones de sistemas de transporte inteligentes
- UIT-R M.1453 Sistemas de transporte inteligentes – Comunicaciones especializadas de corto alcance a 5,8 GHz
- UIT-R M.1890 Intelligent transport systems – Guidelines and objectives
- UIT-R M.2057 Características del sistema de radares en automóviles que funcionan en la banda de frecuencias 76-81 GHz para aplicaciones de sistemas de transporte inteligentes
- UIT-R M.2084 Normas relativas a la interfaz radioeléctrica de las comunicaciones bidireccionales de vehículo a vehículo y de vehículo a infraestructura para aplicaciones de sistemas de transporte inteligentes
- UIT-R M.2121 Armonización de las bandas de frecuencias para los sistemas de transporte inteligentes en el servicio móvil

##### 2.3 Informes UIT-R

- UIT-R M.2228 Advanced intelligent transport systems (ITS) radiocommunication
- UIT-R M.2322 Systems characteristics and compatibility of automotive radars operating in the frequency band 77.5-78 GHz for sharing studies
- UIT-R F.2394 Compatibility between point-to-point applications in the fixed service operating in the 71-76 GHz and 81-86 GHz bands and automotive radar applications in the radiolocation service operating in the 76-81 GHz bands

UIT-R M.2444      Examples of arrangements for Intelligent Transport Systems deployments under the mobile service

UIT-R M.2445      Intelligent transport systems (ITS) usage

### **3            Otras referencias de STI**

ARC-IT

Importante actualización de la arquitectura de referencia de sistemas de transporte inteligentes (STI) nacionales, que integra el contenido de la Arquitectura STI nacional Versión 7.1 y la CVRIA Versión 2.2

ARIB STD-T48

Millimeter-Wave Radar Equipment for Specified Low Power Radio Station  
([https://www.arib.or.jp/english/std\\_tr/telecommunications/std-t48.html](https://www.arib.or.jp/english/std_tr/telecommunications/std-t48.html))

ARIB STD-T75

Dedicated Short-Range Communication System  
([https://www.arib.or.jp/english/std\\_tr/telecommunications/std-t75.html](https://www.arib.or.jp/english/std_tr/telecommunications/std-t75.html))

ARIB STD-T109

700 MHz Band Intelligent Transport Systems  
([https://www.arib.or.jp/english/std\\_tr/telecommunications/std-t109.html](https://www.arib.or.jp/english/std_tr/telecommunications/std-t109.html))

ARIB STD-T111

79 GHz Band High-Resolution Radar  
([https://www.arib.or.jp/english/std\\_tr/telecommunications/std-t111.html](https://www.arib.or.jp/english/std_tr/telecommunications/std-t111.html))

CEN EN 12253

Road transport and traffic telematics – Dedicated short-range communication – Physical layer using Microwave at 5.8 GHz

Decisión de aplicación de la Comisión (UE) 2019/1345 de 2 de agosto de 2019 que modifica la Decisión 2006/771/CE en la que se actualizan las condiciones técnicas armonizadas de la utilización del espectro radioeléctrico por dispositivos de corto alcance.

Decisión ERC (92)02

Las bandas de frecuencias se atribuyeron a la introducción coordinada de sistemas telemáticos de transporte por carretera.

Decisión ECC (08)01

Utilización armonizada de sistemas de transporte inteligentes (STI) de seguridad en la banda de frecuencias 5875-5935 MHz.

Decisión ECC (09)01

Utilización armonizada de la banda de frecuencias 63,72-65,88 GHz para sistemas de transporte inteligentes (STI).

Decisión de la CE 2006/771/CE, modificada por 2019/1345/UE

Decisión ECC (02)01

Las bandas de frecuencias se atribuyeron a la introducción coordinada de sistemas telemáticos de transporte por carretera

Recomendación ERC 70-03

Relating to the use of Short-Range Devices (SRD)

ETSI EN 300 674-2

Transport and Traffic Telematics (TTT); Dedicated Short Range Communication (DSRC) transmission equipment (500 kbit/s / 250 kbit/s) operating in the 5,8 GHz Industrial, Scientific and Medical (ISM) band; Part 2: Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of the Directive 2014/53/EU;

ETSI EN 302 571

Intelligent Transport Systems (ITS); Radiocommunications equipment operating in the 5 855 MHz to 5 925 MHz frequency band; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU

ETSI EN 302 663

Intelligent Transport Systems (ITS); Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band

ETSI EN 302 665

Intelligent Transport Systems (ITS) communication architecture

ETSI EN 302 686

Intelligent Transport Systems (ITS); Radiocommunications equipment operating in the 63 GHz to 64 GHz frequency band; Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive

ETSI TS 102 687

Intelligent Transport Systems (ITS); Decentralized Congestion Control Mechanisms for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz range; Access layer part

ETSI TS 102 792

Intelligent Transport Systems (ITS); Mitigation techniques to avoid interference between European CEN Dedicated Short-Range Communication (CEN DSRC) equipment and Intelligent Transport Systems (ITS) operating in the 5 GHz frequency range

ETSI TS 102 724

Intelligent Transport Systems (ITS); Harmonized Channel Specifications for Intelligent Transport Systems (ITS) operating in the 5 GHz frequency band

ETSI TS 103 175

Intelligent Transport Systems (ITS); Cross Layer DCC Management Entity for operation in the ITS G5A and ITS G5B medium

IEEE 1609.0™-2013

IEEE Guide for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) – Architecture

IEEE 1609.2™-2016

IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments – Security Services for Applications and Management Messages

IEEE 1609.3™-2016

IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) – Networking Services

IEEE 1609.4™-2016

IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) – Multi-channel Operation

IEEE 1609.11™-2010

IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) – Over-the-Air Electronic Payment Data Exchange Protocol for Intelligent Transportation Systems (ITS)

IEEE 1609.12™-2016

IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) – Identifier Allocations

SAE J2735 March, 2016

Dedicated Short Range Communications (DSRC) Message Set Dictionary

SAE J2945/1 March, 2016

On-board System Requirements for V2V Safety Communications

TTAK.KO-06.0175/R1

Vehicle communication system Stage 1: Requirements

TTAK.KO-06.0193/R1

Vehicle communication system Stage 2: Architecture

TTAK.KO-06.0216/R1

Vehicle communication system Stage 3: PHY/MAC

TTAK.KO-06.0234/R1

Vehicle communication system State 3: Networking

CCSA 2015-1616T-YD

General technical requirements of LTE-based vehicular communication

CCSA 2016-1853T-YD

Technical requirements of air interface of LTE-based vehicular communication





Unión Internacional de  
Telecomunicaciones  
Place des Nations  
CH-1211 Ginebra 20  
Suiza

ISBN: 978-92-61-32743-9

SAP id



9 789261 327439

44037

Publicado en Suiza  
Ginebra, 2021

Derechos de las fotografías: Shutterstock