



Escola Politècnica Superior
de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TRABAJO FINAL DE CARRERA

Título: Diseño de un sistema de comunicaciones V2R

Autor: Arnau Casabó Gomi

Director: José Luis Valenzuela

Fecha: 13 de octubre 2010

Título: Diseño de un sistema de comunicaciones V2R

Autor: Arnau Casabó Gomi

Director: José Luis Valenzuela

Fecha: 13 de octubre 2010

Resumen

Este Trabajo de Final de Carrera (TFC) tiene como objetivo el diseño y la realización de un sistema de comunicaciones V2R (*Vehicle to Roadside*), mediante tecnología Bluetooth que permita la comunicación entre vehículos e infraestructura viaria. Dicho sistema estará alimentado eléctricamente a través de placas solares que le darán autonomía y reducirán el impacto medioambiental.

Estas comunicaciones inalámbricas forman parte de las denominadas redes cooperativas VANET (*Vehicular Ad-Hoc Networks*), que se caracterizan por facilitar la comunicación entre vehículos y entre vehículos e infraestructura viaria, lo que puede ser de gran utilidad para reducir el número de accidentes de tráfico, además de proporcionar una conducción más agradable y fluida.

Las razones de la utilización de dispositivos *Bluetooth* son sus magníficas características de robustez, bajo coste y bajo consumo. En este TFC se mostrarán los resultados de varios estudios realizados sobre las características de estos dispositivos, como la velocidad de transmisión de ficheros, la cobertura o la configuración de parámetros que permiten la conexión en un entorno de grandes velocidades.

Parece claro que el siguiente paso en los servicios para la automoción apunta al vehículo conectado, por lo que un punto de interés del TFC será el estudio de mercado de estos sistemas. Este sector se identifica como uno de los mercados con mayor potencial de crecimiento, ya que aportará muchas ventajas a los conductores, como predicción de los tiempos de viaje, reacción de manera más eficaz ante incidentes imprevistos o reducción de la contaminación de los vehículos. Por su parte, las autoridades viarias podrán mejorar la gestión y el control de la red de carreteras, aumentar su capacidad, maximizar la eficiencia de los sistemas de transporte público o mejorar la seguridad de todos los conductores.

Title: Design of a V2R communications system

Author: Arnau Casabó Gomi

Director: José Luis Valenzuela

Date: October 13th, 2010

Overview

This Final Degree Project (*TFC*) takes as an aim the design and the accomplishment of a V2R (Vehicle to Roadside) communications system, by means of Bluetooth technology that allows the communication between vehicles and vial infrastructure. The above mentioned system will be fed electrically across solar plates that will give autonomy and will reduce the environmental impact.

These wireless communications are part of the cooperative networks called VANET (Vehicular Ad-Hoc Networks), which are characterize for facilitating the communication between vehicles and between vehicles and infrastructure, which can be of great usefulness to reduce the number of traffic accidents, beside providing a more agreeable and fluid conduction.

The reasons of the utilization of Bluetooth devices are its magnificent characteristics of hardiness, under cost and under consumption. In this project there will appear the results of several studies realized on the characteristics of these devices, as the files transmission speed, the coverage or the result of different configuration of parameters that allow the connection in an environment of big speeds.

It seems to be clear that the following step in the services for vehicles, points at the connected vehicle, for what a point of interest of the *TFC* will be the market research of these systems. This sector is identified as one of the markets by major potential of growth, since it will contribute with many advantages to the drivers, as prediction of trip times, reaction in a more effective way before unforeseen incidents or reduction of the pollution of the vehicles. For its part, the vial authorities will be able to improve the management and control of the roads network, to increase its capacity, to maximize the efficiency of the public transport systems or to improve the safety of all the drivers.

Agradecimientos:

Quiero agradecer al profesor José Luis Valenzuela la posibilidad que me ha dado de realizar este Trabajo de Final de Carrera. Con su ayuda, he descubierto un sistema de comunicación muy interesante que será de gran importancia dentro de pocos años.

También quiero agradecer la ayuda de Fran Sánchez, su paciencia y sus incansables explicaciones sobre Linux, que me han sido imprescindibles para realizar los estudios del trabajo.

También quiero agradecer la compañía de todos los compañeros y profesores con los que me he cruzado durante estos años en la universidad. He aprendido algo de todos ellos.

Por supuesto, quiero agradecer todo el apoyo que me ha dado mi familia. Gracias a los esfuerzos de mis padres he podido estudiar esta carrera y optar a un futuro mejor. Por último, agradecer la paciencia de mi novia y su apoyo en todo momento.

Muchas gracias a todos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. SISTEMA V2R	2
1.1. Introducción	2
1.2. Sistemas Inteligentes de Transporte.....	3
1.2.1. Implantación de los ITS	4
1.2.2. Tecnología en los métodos de transporte	4
1.2.3. Evolución en los ITS en Europa	5
1.2.4. ITS en vehículo e infraestructura.....	9
1.3. Elementos de las comunicaciones cooperativas.....	10
1.3.1. <i>Roadside Units</i>	10
1.3.2. <i>On Board Unit</i>	10
1.4. Redes ad-hoc	11
1.5. Redes VANET (Vehicular Ad-hoc Network)	12
1.6. WAVE (Wireless Access in Vehicular Environment)	13
1.7. CALM (Communication Access for Land Mobiles).....	13
1.8. Modelo de propagación en comunicaciones cooperativas	14
1.8.1. <i>Large Scale Fading</i>	14
1.8.2. <i>Small-scale fading</i>	15
1.8.3. Simulación de las comunicaciones V2R	15
1.9. Proyectos y organizaciones	17
1.10. Negocio en el mercado de los ITS	25
1.10.1. Tráfico.....	26
1.10.2. Gestión de flotas.....	26
1.10.3. ITS en el vehículo	27
1.10.4. Peajes.....	28
CAPÍTULO 2. DISEÑO DEL SISTEMA	29
2.1. Introducción	29
2.2. Cajas de protección EMI.....	29
2.3. Bluetooth.....	30
2.3.1. Características.....	30
2.3.2. Protocolos.....	32
2.3.3. Modulación	33
2.3.4. Perfiles.....	33
2.4. Panel solar.....	35
2.5. Impacto medioambiental del sistema.....	37

CAPÍTULO 3. ESTUDIOS, RESULTADOS Y CONCLUSIONES	38
3.1. Introducción.....	38
3.2. Conexión de dispositivos y transmisión de ficheros	38
3.2.1. RFCOMM.....	38
3.2.2. OBEX.....	40
3.2.3. Inquiry y page scan	42
3.2.4. Tiempo de transferencia de ficheros	46
3.3. Cobertura	47
3.3.1. RSSI	47
3.3.2. Hcidump.....	47
3.3.3. IAC.....	48
3.3.4. Alcance de los dispositivos Bluetooth	48
3.4. Conclusiones.....	50
BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXO A: IMÁGENES DEL SISTEMA.....	52
ANEXO B: SCRIPTS	54
B.1. Conexión de dispositivos	54
B.2. Tiempo de transmisión de ficheros	55
B.3. Configuración del dispositivo	56
ANEXO C: TABLAS DE RESULTADOS Y OTRAS GRÁFICAS	57
C.1. Conexión de dispositivos	57
C.2. Tiempo de transmisión de ficheros	61

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1.1.1. Esquema de un sistema V2R.....	2
Figura 1.1.2. Ejemplo de comunicación V2R.....	3
Figura 1.2.1. Centro de control aéreo.....	5
Figura 1.2.2. Red transeuropea de transporte.....	7
Figura 1.2.3. Ejemplo de ITS en la infraestructura vial.....	10
Figura 1.3.1. On Board Unit.....	10
Figura 1.4.1. Ejemplo de una red ad-hoc.....	11
Figura 1.5.1. Ejemplo de red VANET.....	12
Figura 1.8.1. Función densidad de probabilidad.....	15
Figura 1.8.2. Ecuación del modelo FSP.....	15
Figura 1.8.3. Ecuación del modelo ad-hoc 802.11.....	15
Figura 1.9.1. Diagrama general de COOPERS.....	18
Figura 1.9.2. Diagrama general de CVIS.....	18
Figura 2.2.1. Circuito de interferencia.....	29
Figura 2.2.2. Cajas de protección <i>EMI</i>	30
Figura 2.3.1. Scatternet.....	31
Figura 2.3.2. Protocolos Bluetooth.....	32
Figura 2.4.1. Proceso de absorción de energía solar.....	36
Figura 2.4.2. Célula fotovoltaica.....	36
Figura 3.2.1. Circuitos de la norma RS-232.....	38
Figura 3.2.2. Pila de protocolos Bluetooth.....	40
Figura 3.2.3. Proceso de Inquiry.....	42
Figura 3.2.4. Establecimiento de conexiones Bluetooth.....	43
Figura 3.2.5. Tiempo de conexión Inquiry Standard.....	44
Figura 3.2.6. Tiempo de conexión Inquiry Interlaced.....	44
Figura 3.2.7. Tiempo de conexión Page Standard.....	45
Figura 3.2.8. Tiempo de conexión Page Interlaced.....	45
Figura 3.2.9. Gráfica acumulativa modo Inquiry.....	46
Figura 3.2.10. Gráfica acumulativa modo Page.....	47
Figura 3.3.1. Mapa de pruebas.....	48
Figura 3.3.2. Mapa de cobertura.....	49
Figura A.1. Placa de montaje.....	52
Figura A.2. Panel solar.....	52
Figura A.3. Sistema de comunicaciones V2R.....	53
Figura C.1. Tiempo de conexión Inquiry.....	58
Figura C.2. Tiempo de conexión Page.....	61

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla. C.1. Tiempo de conexión Inquiry Standard.....	57
Tabla. C.2. Tiempo de conexión Inquiry Interlaced.....	58
Tabla. C.3. Tiempo de conexión Page Standard.....	59
Tabla. C.4. Tiempo de conexión Page Interlaced.....	60
Tabla. C.5. Tiempo de transmisión Inquiry 4096.....	62
Tabla. C.6. Tiempo de transmisión Inquiry 512.....	63
Tabla. C.7. Tiempo de transmisión Inquiry 64.....	63
Tabla. C.8. Tiempo de transmisión Page 4096.....	64
Tabla. C.9. Tiempo de transmisión Page 512.....	65
Tabla. C.10. Tiempo de transmisión Page 64.....	66

INTRODUCCIÓN

La red vial representa uno de los factores clave en las economías modernas. El transporte por carretera recoge un significativo porcentaje del PIB y proporciona empleo a una gran cantidad de ciudadanos de la Unión Europea.

Esta red tiene un coste crítico, los accidentes en carretera, que son una de las causas de mortalidad con tasas más altas. Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) al automóvil y los Sistemas de Transporte Inteligente (*ITS*) pueden ayudar a reducir estas cifras.

Las TIC contribuirán a mejorar la seguridad en la conducción de forma cooperativa, complementando los esfuerzos que se vienen llevando a cabo de forma autónoma en los vehículos desde mediados de los años 80 (airbag, ABS, control de estabilidad, etc.).

La seguridad cooperativa tiene que ver con la comunicación entre los vehículos y entre ellos y la infraestructura, es decir, se basa en que los automóviles pasen de ser elementos autónomos a ser elementos cooperativos. Por otro lado, los servicios deberán contribuir a que los transportes sean más limpios a través de facilitar un uso más eficiente de los recursos viarios, lo cual reducirá la congestión del tráfico y la contaminación que este hecho provoca.

El objetivo de este proyecto es el diseño de un sistema de comunicaciones V2R (*Vehicle to Roadside*) mediante tecnología Bluetooth que comunique vehículos e infraestructura vial. Estos sistemas de comunicación contienen tres elementos clave como son las OBU's (*On Board Unit*) que son los elementos integrados en los vehículos, las RSU (*Roadside Unit*) elementos instalados en las infraestructuras viarias y los CTT (Centros de Control de Tráfico), encargados de realizar las medidas de control de tráfico pertinentes en cada caso, formando los sistemas cooperativos comentados anteriormente.

Así pues, este trabajo constará de tres partes. En la primera se explicará todo lo relacionado con las comunicaciones V2R, como pueden ser los Sistemas Inteligentes de Transporte, los elementos que forman una comunicación cooperativa o la arquitectura de dicha comunicación, además de los diferentes proyectos existentes a nivel europeo sobre este tipo de comunicaciones.

En el segundo capítulo se explicará el diseño realizado, comentando cada uno de sus elementos, Bluetooth, panel solar y cajas de protección EMI, además de realizar el estudio del impacto medioambiental que provoca el sistema.

Por último, en el tercer capítulo se muestran diferentes estudios realizados sobre las características de los dispositivos Bluetooth. Estos estudios se realizan con el fin de comprobar el comportamiento de esta tecnología para este tipo de entornos. Se trata de características importantes para comunicaciones vehiculares, es decir de grandes velocidades, como pueden ser su cobertura o el tiempo de transmisión de ficheros.

CAPÍTULO 1. SISTEMA V2R

1.1. Introducción

El incremento del volumen de tráfico ha sido subestimado en el pasado y según varios estudios, todo apunta a que seguirá aumentando en el futuro, por lo que es imprescindible ampliar la capacidad y la eficiencia de la red vial. Es por este motivo que se están desarrollando medidas de control de tráfico como los sistemas de comunicación cooperativo V2R (*Vehicle to Roadside*) en el ámbito de los Sistemas Inteligentes de Transporte (*ITS*).

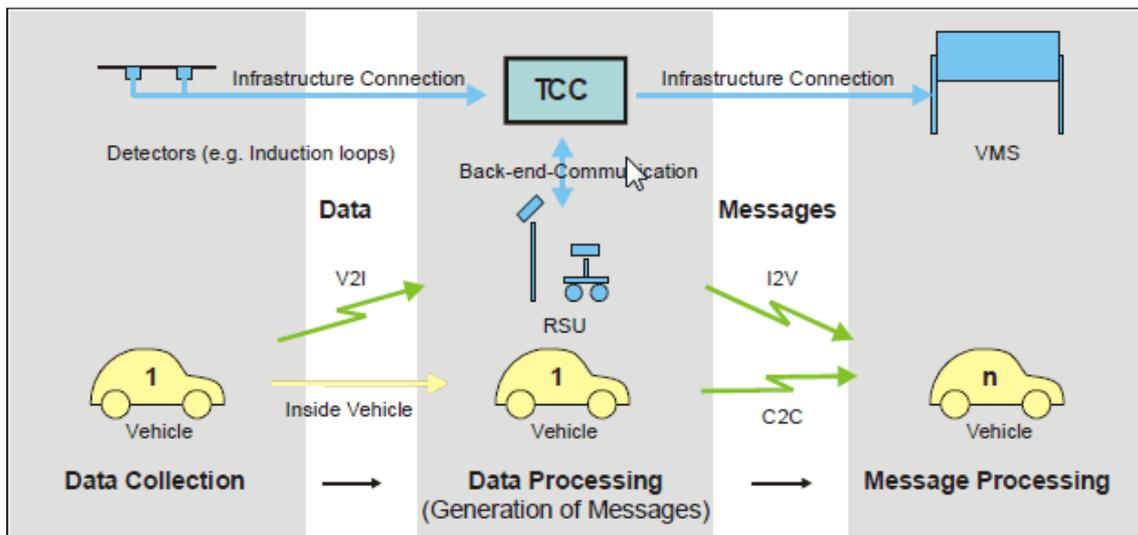


Fig. 1.1.1 Esquema de un sistema V2R

Los sistemas V2R son aquellos que comunican los vehículos y los elementos de la infraestructura vial, conocidos como *Roadside Units* (RSU). Las RSU actúan como intermediarias de comunicación entre las *vehicular ad-hoc network* (VANET) y los centros de control de tráfico (TCC). La información recopilada por los vehículos y reunida en las RSU puede ser utilizada por los centros de control de tráfico para realizar las medidas apropiadas de control de tráfico. Asimismo, los TCC pueden mandar información a cualquier vehículo de la red, especialmente útil en momentos de mala visibilidad como puede ser niebla o lluvia fuerte.

Los vehículos, infraestructura y TCC van a ser los elementos que van a permitir tener un mayor control sobre las medidas de tráfico a elegir, para prevenir accidentes y armonizar el volumen de vehículos tanto en autopistas como carreteras rurales.

El 60% de los accidentes de tráfico se deben a adelantamientos imprudentes, velocidades elevadas o el incumplimiento de las distancias de seguridad. Los sistemas cooperativos basados en comunicaciones WLAN pretenden prevenir este tipo de accidentes mediante aplicaciones que comparten información a través de redes ad-hoc, de esta forma los conductores implicados pueden corregir su conducción.

Por otra parte, hay información que los vehículos en sí no pueden detectar, como son por ejemplo carreteras en obras, por lo que esta información tiene que ser entregada desde otra fuente. En este contexto, las RSU pueden aumentar la eficiencia de las redes ad-hoc vehiculares (VANET), al mandar información de seguridad relevante en este tipo de zonas. Todas estas advertencias pueden enviarse a los TCC, lo que permitiría a las autoridades realizar las pertinentes medidas de seguridad de forma localizada. Así pues, las RSU serán elementos vitales para las futuras comunicaciones cooperativas de seguridad.

El alcance de estas aplicaciones cubre las medidas de control de tráfico tradicionales. Entre ellas se encuentra la información de tráfico (estado del tráfico o tiempo de viaje), eventos peligrosos para el conductor (accidentes o averías de un automóvil, vías en obras o superficie de carreteras en malas condiciones) y medidas de control avanzadas (límites de velocidad variables o carriles cortados).

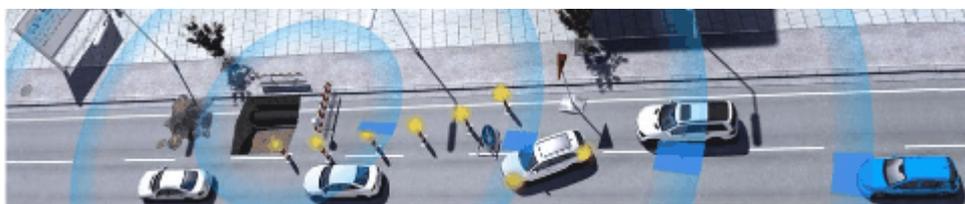


Fig. 1.1.2 Ejemplo de comunicación V2R

Los elementos de estas comunicaciones cooperativas intercambiarán información que puede ser relevante para algunas decisiones automatizadas de las cuales pueden depender vidas humanas, por eso, es obligatorio asegurarse de que no habrá intervenciones maliciosas que puedan afectar a la integridad de los usuarios de las vías u otros partícipes de la comunicación.

1.2. Sistemas Inteligentes de Transporte

Los ITS se pueden definir como un conjunto de aplicaciones avanzadas dentro de la tecnología informática, electrónica y de comunicaciones que, desde un punto de vista social, económico y medioambiental, están destinadas a mejorar la movilidad, seguridad y productividad del transporte, optimizando la utilización de las infraestructuras existentes, aumentando la eficiencia del consumo de energía y mejorando la capacidad del sistema de transporte.

El sector del transporte contribuye en gran medida al funcionamiento y competitividad de la economía europea: el transporte aéreo aporta un 2,6% al PIB de la UE y el campo del transporte terrestre genera el 11% de ese PIB, empleando alrededor de 16 millones de personas, sin embargo, el transporte es el responsable del 25% de todas las emisiones de CO₂ de Europa. De todos modos, también existe en este campo un importante papel para las tecnologías ITS que permiten unos sistemas más eficientes, resultando en menores consumos, como por ejemplo, la provisión de información topográfica o el estado del tráfico al vehículo.

A nivel europeo, la congestión y una insuficiente infraestructura reducen la productividad y la competitividad de un país, aumentan el coste del transporte y deterioran el medio ambiente. Las mejoras que introducen los ITS se consiguen mediante la provisión de información en tiempo real a los usuarios del transporte público y privado (favoreciendo en este caso la comunicación vehículo-infraestructura y vehículo-vehículo), permitiendo a los transportistas de mercancías y a las administraciones fronterizas una mayor comodidad y agilidad en las gestiones.

1.2.1. Implantación de los ITS

La implantación de los ITS contribuye significativamente a resolver problemas presentes en los sistemas de transporte. Sin embargo, no hay que perder de vista los procesos desarrollados en algunos países, donde la experiencia muestra que la explotación de las tecnologías ITS sólo tiene un impacto significativo si los gobiernos tienen voluntad de colaborar en el desarrollo de las arquitecturas necesarias.

Una implantación adecuada de los ITS trata de alcanzar los siguientes objetivos fundamentales:

- Mejora de manera sostenible en la seguridad de las personas y mercancías involucradas o afectadas por el transporte y el tráfico.
- Optimización de la explotación de los recursos de transporte, atendiendo a su capacidad, disponibilidad, fiabilidad, etc., tanto de manera individual para cada modo de transporte, como conjuntamente.
- Armonización, estandarización, definición de compatibilidades entre sistemas y claridad en su presentación al usuario. Para este punto se tienen en cuenta aspectos económicos, socio-culturales y ecológicos.

1.2.2. Tecnología en los métodos de transporte

El mayor desarrollo en este campo ha tenido lugar en el transporte aéreo, como pionero y agente punta en esta tecnología, debido a las necesidades de ordenación del espacio aéreo, con sistemas de localización y control de vuelo en las relaciones entre aviones y aeropuertos. Así, los sistemas de ayuda a las maniobras de aterrizaje y despegue de aeronaves (*ILS – International Landing System, MLS – Microwave Landing System*), las radiobalizas, los sistemas de ayuda a la navegación (*VOR – VHF Omnidirectional Range, GNSS*) y los sistemas radar han permitido conseguir el actual nivel de desarrollo y seguridad del transporte aéreo.

El ferrocarril, por sus características de constituir un sistema guiado linealmente ha necesitado desde su origen, por razones de seguridad, la necesidad de regular su circulación y es donde los avances tecnológicos han sido los más permanentes, apoyados por su interacción continua entre vehículos y vía. Por ejemplo, la tecnología *GSM-R, Global System for Mobile communications for Railways*, permite la conectividad celular eficiente en trenes.

El transporte marítimo ha sido un tradicional usuario de sistemas radioeléctricos de ayuda a la navegación debido a sus especiales características, si bien los requisitos de este tipo de modalidad de transporte son menores que en el transporte aéreo. Los sistemas de radionavegación terrestres o por satélite, tipo *LORAN-C – Long Range Aid for Navegation* y *GPS – Global positioning System*, junto con los sistemas *RADAR, Radio Detection And Ranging*, para detección de obstáculos evitando la colisión con ellos, han sido cruciales en el desarrollo de este modo de transporte.



Fig. 1.2.1 Centro de control aéreo

1.2.3. Evolución en los ITS en Europa

1.2.3.1. Etapa inicial: 1984-1994

Durante los primeros pasos se observa un especial interés en el desarrollo de la telemática para la mejora de la seguridad vial. Así, los primeros esfuerzos se enfocan hacia ese segmento de aplicación, tal es el caso del Programa *DRIVE, Dedicated Road Infrastructure for Vehicle safety in Europe*.

Desde mediados de los 80, los principales programas de ITS de Europa han sido patrocinados y/o coordinados por una progresión de organizaciones supranacionales. Entre ellas destacan las siguientes:

EUREKA. Establecida en 1985 como una iniciativa de coordinación de investigación de 19 naciones europeas. Su objetivo fue estimular la investigación y desarrollo cooperativos entre industrias y gobiernos en Europa.

En 1988, la Comunidad Europea adoptó *DRIVE*. Sus metas fueron identificar las mejoras potenciales de la seguridad en la carretera y reducir la congestión en la red de carreteras europeas mediante el apoyo y explotación de la investigación y desarrollo de tecnologías de información y telecomunicaciones.

ERTICO, *European Road Transport Telematics Implementation Coordination Organization*, establecida en 1991, es una asociación público-privada cuyo objetivo principal es la implantación de los sistemas ITS en el ámbito europeo, representando los intereses de la industria manufacturera, operadores de carretera, proveedores de servicio, operadores de telecomunicaciones y administradores públicos. ERTICO es la contraparte europea de organizaciones tales como ITS América y VERTIS, *Vehicle Road and Traffic Intelligence Society*.

1.2.3.2. Etapa de consolidación: 1994-2001

A consecuencia del creciente interés de Europa en el desarrollo de los ITS, el Consejo Europeo, en diciembre de 1993, impulsó la creación de dos grupos de trabajo. Estos grupos tuvieron como sectores de análisis, las redes de información por un lado y las redes de energía y transportes por otro.

La presentación de sus propuestas se produjo en Junio de 2004 en el Consejo Europeo de Corfú, en las que se instaba a avanzar urgentemente en la Sociedad de la Información y las Comunicaciones y a desarrollar acciones en telemática asociadas al transporte, especialmente en los sectores de la carretera y el tráfico aéreo. En Octubre de 1994, mediante la “Resolución del Consejo sobre Telemática en el Sector del Transporte”, se apuntó en la dirección fundamental de homogeneizar y normalizar los diferentes sistemas y procesos en el marco europeo como condición *sine qua non* para lograr la compatibilidad, interoperabilidad y eficiencia del sistema.

Finalmente, fruto de la comunicación sobre Aplicaciones Telemáticas del Transporte en Europa de la Comisión al Parlamento y al Consejo Europeos (noviembre 1994), surge un nuevo grupo en septiembre de 1995. Este grupo recibió las directrices de:

- Concentrarse en desarrollar los sistemas transeuropeos de servicios telemáticos: gestión del tráfico, información al usuario, servicios de valor añadido, etc.
- Garantizar la interoperabilidad del sistema en todo el ámbito europeo, asegurando la creación de un mercado común para los productos y servicios telemáticos.
- Definir y desarrollar los estándares necesarios.
- Desarrollar estas iniciativas en medidas sobre todos los sistemas de transporte.

En el informe se presentó una lista de iniciativas que se consideraban prioritarias para trabajar inmediatamente en ellas y una segunda lista para trabajar en el futuro.

- *RDS-TMC* o servicio de información del estado del tráfico, con interoperabilidad e intercambio de datos entre países.
- Campo del peaje electrónico (pórticos de peaje).
- Gestión de datos en tiempo real, especialmente asociado a mercancías.
- Mejorar la interfaz hombre-máquina.
- Avanzar en la arquitectura de los sistemas telemáticos.
- Servicios de información general y asistencia durante el viaje (estado del tráfico, incidencias, existencia de peajes, meteorología, tramos de concentración de accidentes o áreas de alto nivel de contaminación o polen).
- Oficinas de operación y control del tráfico urbano.
- Mejorar el resto de servicios de los otros modos de transporte urbano.
- Sistemas de mejora, potenciación y priorización de los servicios de transporte colectivo.
- Sistemas de control y seguridad activa en los vehículos.

Estas iniciativas y estrategias se desarrollaron bajo el soporte de los dos Programas Marco de I+D desarrollados durante este periodo: IV y V Programa Marco, entre 1994-1998 y 1998-2002 respectivamente. Mientras que los proyectos del IV Programa Marco presentaban aspectos más generales referidos a la gestión, la viabilidad técnica, la normalización, la capacidad operativa de los sistemas o el grado de aceptación de los mismos, en los proyectos del V se ha avanzado en la vertiente más práctica y de implantación de estos sistemas, con especial atención a las redes transeuropeas.

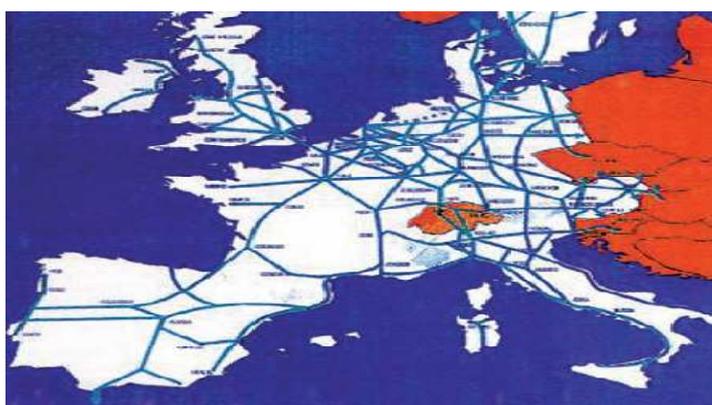


Fig. 1.2.2 Red transeuropea de transporte

1.2.3.3. Etapa posterior al Libro Blanco del Transporte: 2001-2009

La publicación del Libro Blanco de Políticas del Transporte en Europa, 2001, y su posterior revisión, 2006, han supuesto el apoyo definitivo de la Unión

Europea al sector del transporte desde nuevos puntos de vista: seguridad, sostenibilidad, medioambiente, internalización de costes, intermodalidad y eficiencia, principalmente.

En este mismo documento se recogen muchos de los esfuerzos realizados en las etapas anteriores referentes a la investigación y aplicación de la telemática como una de las medidas fundamentales para:

- Reducir la siniestralidad en el sector del transporte, especialmente en la carretera.
- Reducir las externalidades ambientales negativas del sector del transporte, especialmente de carretera y marítimo.
- Minimizar las situaciones de congestión en los accesos a los centros urbanos.
- Aumentar la información entre el usuario, el conductor, la infraestructura y el gestor.
- Optimizar la cadena de transporte, minimizando su coste sobre la producción y mejorando la competitividad.
- Mejorar el control en las fronteras y puntos de ruptura modal, especialmente en el transporte de mercancías.

El plan de acción *eEurope* (2001-2005) ha demostrado igualmente ser un medio de aportación muy importante facilitando la aplicación de nuevas soluciones, acelerando su desarrollo y apostando por la necesidad de contar con la iniciativa privada. Entre otros, en estos planes de acción se han definido como objetivos:

- Al menos un 50% de las grandes ciudades europeas deberían disponer de un servicio de información y gestión del tráfico.
- Igualmente, al menos un 50% de las principales autopistas europeas tendrían que contar con sistemas de detección de incidentes y de congestión, además de sistemas de gestión de tráfico.
- Todos los vehículos puestos a la venta en Europa tendrían que contar con sistemas de seguridad activos.
- Se debería avanzar, mediante acciones legislativas, en la consecución del cielo único europeo, las comunicaciones móviles ferroviarias, los sistemas marítimos de información y el proyecto de navegación civil europeo Galileo.

Las actuaciones propuestas se vertebraron principalmente mediante el VI Programa Marco de I+D (2002-2006) en una primera fase y el VII Programa Marco en la fase actual (2007-2013).

En el año 2007 los Estados Miembros prepararon una propuesta conjunta denominada *EasyWay* que comprendía la continuación de los proyectos euro-regionales SERI y ARTS. El principal objetivo de *EasyWay* es asegurar la continuidad y calidad de los servicios ofrecidos gracias a una completa difusión de los ITS en Europa, de manera que sean compatibles y armonizados. Las principales áreas de trabajo desarrolladas comprenden los sistemas de intercambio y difusión de información de tráfico y los sistemas de gestión y control de tráfico.

1.2.4. ITS en vehículo e infraestructura

Los sistemas embarcados en los vehículos tienen la principal función de interactuar con el conductor con el objetivo de proporcionarle ayuda en la tarea de conducción. Dependiendo del nivel de ayuda que le aporten, estos sistemas se dividen en:

- Sistemas Avanzados de Ayuda a la Conducción, *ADAS – Advanced Driver Assistance Systems*, que proveen información a nivel táctico y operacional de la conducción (ej.: control de velocidad).
- Sistemas de información en el vehículo, *IVIS – In Vehicle Information Systems*, que aportan información de tareas secundarias (ej.: sistema de navegación).

Estos equipos no sólo se utilizan en el transporte privado, también se incorporan en el transporte público ya que son numerosas las empresas que deciden probar y poner en práctica los sistemas en sus servicios públicos.

Los ITS incorporados a la infraestructura, a través de la información aportada al viajero, consiguen una reducción de los retrasos en el tiempo de viaje. La vigilancia avanzada del tráfico, los sistemas de control de señales y los sistemas de ordenación de las principales vías, permiten reducciones muy significativas en estos tiempos.

Numerosos estudios realizados para algunas ciudades europeas señalan que para el año 2017 la implantación de los ITS habrá propiciado la reducción de hasta un 25% en los tiempos de viaje, consiguiéndose así una disminución de los costes de operación y posibilitando una mayor productividad del sistema de transporte.



Fig. 1.2.3 Ejemplo de ITS en la infraestructura vial

1.3. Elementos de las comunicaciones cooperativas

1.3.1. *Roadside Units*

Las RSU son nodos fijos de la red ad-hoc que tienen la función básica de enviar, recibir y retransmitir paquetes para aumentar el rango de cobertura de la red, algo muy importante en las aplicaciones de seguridad vial. También pueden ofrecer acceso a internet al encontrarse conectadas a la red fija de algún operador. De esta manera, las RSU permiten a los vehículos estar conectados a la infraestructura fija, de modo que cualquier unidad de aplicación puede conectarse a internet.

1.3.2. *On Board Unit*

Las OBU's son dispositivos electrónicos que se instalan en los vehículos para poder comunicarse con otros vehículos o con la infraestructura. Un ejemplo claro puede ser el dispositivo que se utiliza para pagar los peajes.



Fig. 1.3.1 *On Board Unit*

1.4. Redes ad-hoc

Ad-hoc es una expresión latina que significa literalmente "para esto". En sentido amplio, podría traducirse ad-hoc como específico o específicamente. En el caso que nos atañe, una red ad-hoc, es una red específica cuya infraestructura solo tiene sentido en ese instante o situación, es decir su topología es variante en el tiempo.

Como definición más formal, se puede decir que una red ad-hoc está compuesta por un conjunto de nodos capaces de comunicarse a través de una interfaz inalámbrica de manera descentralizada, es decir, cada nodo está preparado para reenviar datos a los demás y la decisión sobre qué nodos reenvían los datos se toma de forma dinámica en función de la conectividad de la red. De esta manera, un nodo puede comunicarse con otro que se encuentre fuera de su rango de cobertura por medio de una comunicación multisalto, es decir, se establece un puente entre origen y destino a través de nodos intermediarios y la información se reenvía de nodo en nodo desde el emisor hasta el receptor.

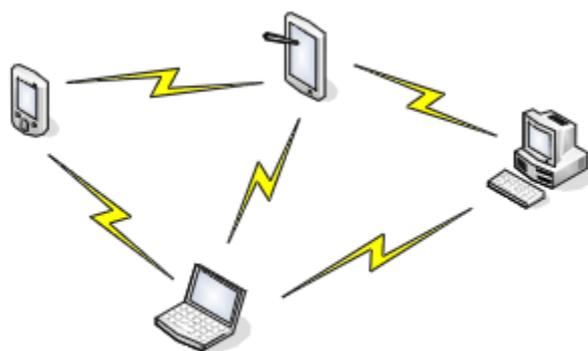


Fig. 1.4.1. Ejemplo de una red ad-hoc

Las principales características de una red ad-hoc son:

- **Movilidad:** Este aspecto es la razón de ser de las redes ad-hoc. Los nodos se pueden reubicar o simplemente ser móviles, siempre que no salgan del alcance radio.
- **Multisalto (*Multihopping*):** Una red *multihopping* es una red donde el camino de la fuente al destino atraviesa varios nodos intermedios.
- **Conservación de la energía:** Los nodos móviles (por ejemplo, PDA u ordenador portátil), tienen una batería limitada y a no ser que dispongan de algún mecanismo de carga (por ejemplo, un panel solar), no tienen capacidad de recarga. Es muy importante tener un buen rendimiento para prolongar la autonomía de las baterías.
- **Escalabilidad:** En algunos tipos de redes (por ejemplo las redes VANET), el número de nodos puede crecer hasta llegar a varios miles. Como no existe

un punto de acceso concreto, la incorporación y descarte de nodos tiene que ser un proceso sencillo y transparente.

- Seguridad: Las redes inalámbricas son vulnerables a ataques, y las redes *ad-hoc* lo son especialmente. Pueden padecer tanto ataques activos como pasivos y el atacante puede emular a un nodo legítimo y capturar paquetes de datos y control, destruir tablas de encaminamiento, etc.

1.5. Redes VANET (*Vehicular Ad-hoc Network*)

Las redes VANET provienen directamente de las redes MANET (*Mobile Ad-Hoc Network*), pero con características específicas: la comunicación es de vehículo a vehículo o de vehículo a infraestructura de comunicación.

Las comunicaciones cooperativas se plantean como el próximo gran reto dentro del sector de la automoción y de los ITS ya que por sus características, son las comunicaciones encargadas de los servicios que demanden baja latencia y requisitos de tiempo real, por ejemplo, aquellos relacionados con la seguridad vial. Además, permitirán ampliar la cobertura y capacidad de redes inalámbricas tradicionales mediante el uso de los diferentes nodos como encaminadores de información.

Las diferentes aplicaciones que ofrecen las redes VANET son varias, como por ejemplo de seguridad (un vehículo detecta un accidente y retransmite las coordenadas a los vehículos posteriores para que corrijan su conducción), conducción eficiente (vehículos en una congestión envían la información de su estado a otros vehículos para que modifiquen su ruta), ocio (los ocupantes de diferentes vehículos se pueden comunicar y transferir ficheros), medidas medioambientales (los vehículos en una retención pueden modificar las características de combustión del motor para emitir menos gases perjudiciales para el medio ambiente) y otras aplicaciones como aviso de vehículos de emergencias o servicios multimedia.

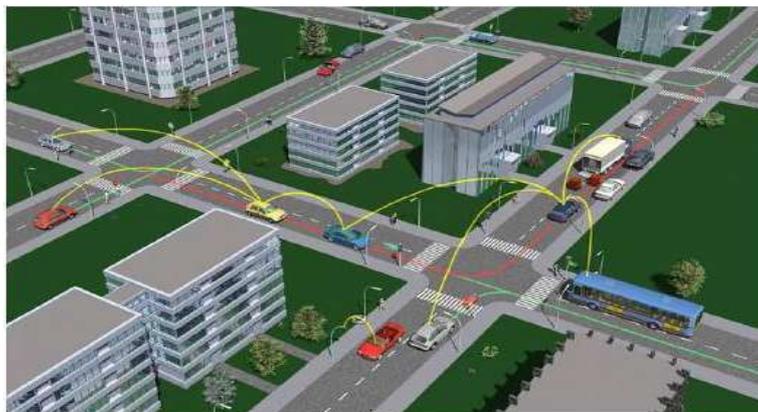


Fig. 1.5.1. Ejemplo de red VANET

1.6. WAVE (*Wireless Access in Vehicular Environment*)

WAVE es una familia de estándares diseñados para la comunicación entre vehículos en las carreteras. Se trata de una variante del estándar IEEE 802.11 de comunicación inalámbrica.

WAVE se compone de 4 estándares de la familia *IEEE 1609*.

- *IEEE P1609.1 WAVE - Resource Manager.*

Describe la arquitectura de WAVE y el flujo de datos. También define el formato de los mensajes de comando y el formato de la información almacenada.

- *IEEE P1609.2 WAVE - Security Services for Applications and Management Messages.*

Este estándar define el formato de los mensajes de seguridad y su procesamiento. El estándar también define las circunstancias para usar los mensajes de seguridad y cómo estos mensajes deben ser procesados.

- *IEEE P1609.3 WAVE - Networking Services.*

Este estándar define la capa de red y la capa de transporte, incluyendo el direccionamiento y el algoritmo de ruteo para soportar el intercambio de datos de WAVE. También define mensajes de onda corta como una alternativa a IPv6 que ocupan otras aplicaciones.

- *IEEE P1609.4 WAVE - Multi-Channel Operations.*

Este estándar provee mejoras en la capa de acceso al medio (*MAC*) del protocolo IEEE 802.11. para que soporte la operación de WAVE.

1.7. CALM (*Communication Access for Land Mobiles*)

Los sistemas de comunicación V2R están basados en la arquitectura CALM (*Communication Access for Land Mobiles*), desarrollada en el marco del proyecto europeo CVIS (*Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems*).

CALM está basado en IPv6 y proporciona un conjunto de protocolos y parámetros estandarizados para las comunicaciones inalámbricas de medio y largo alcance de alta velocidad. Además, constituye una capa de alto nivel que define reglas que rigen sobre protocolos y tecnologías inalámbricas ad-hoc ya existentes y/o desarrolladas. CALM abarca los siguientes estándares:

- Sistemas *Wireless LAN* a 5GHz (*WLAN/Wi-Fi*).
- Sistemas celulares *GSM, HSDSC, GPRS* y *3G UMTS*.
- Sistemas a 60GHz.

- Comunicación *IR*
- *DSRC*.

Esta arquitectura es capaz de determinar en todo momento qué tecnología inalámbrica está disponible en una cierta localización y decidir cuál utilizar para una comunicación óptima. Por otra parte siempre garantiza varios canales de comunicación de forma simultánea, de esta forma los vehículos y la infraestructura pueden mantener una comunicación de forma continua, incluso si por algún motivo algún canal individual no se encuentra disponible. Este hecho es muy importante para aplicaciones relacionadas con la seguridad.

Aun no existe una solución satisfactoria para algunos aspectos relevantes de las comunicaciones V2R como puede ser el acceso inalámbrico simultáneo por parte de un alto número de vehículos, ubicación y redistribución de frecuencias, identificación de *Gateway* e infraestructuras disponibles o mecanismos de priorización en la transmisión de datos.

1.8. Modelo de propagación en comunicaciones cooperativas

Debido a la gran experiencia en la caracterización del canal móvil en entornos micro celulares, existen ya numerosos modelos V2R en entornos urbanos, válidos algunos de ellos en la banda *DSRC* de 5,8/5,9 GHz y en otras bandas sin licencia de 2,4 y 5,2 GHz. Sin embargo, para autopistas y carreteras en entornos suburbanos y rurales se necesita caracterizar adecuadamente este canal, en función de la densidad de tráfico, posición del RSU y orografía del terreno.

A pesar del esfuerzo por caracterizar el canal móvil de banda estrecha, mediante modelos de propagación, y en banda ancha con parámetros y funciones de dispersión temporal y frecuencial, es necesario aún evaluar para los entornos anteriores el impacto de la densidad de tráfico en algunas estadísticas de canal, como distribución de amplitudes, funciones de correlación espacio-tiempo y densidad espectral de potencia *Doppler* espacial. Asimismo, es preciso analizar el proceso de desplazamiento y nacimiento/muerte de las contribuciones multitrayecto debido a la gran movilidad del entorno, que da lugar a un canal no estacionario.

1.8.1. *Large Scale Fading*

Los desvanecimientos lentos están provocados por obstáculos, que forman zonas de "sombra", donde el nivel de señal recibido por el receptor se encuentra por debajo del necesario. Esta variación lenta de potencia posee una función densidad de probabilidad de tipo log normal.

$$f(P_{RX}) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(P_{RX} - \langle P_{RX} \rangle)^2}{2\sigma^2}}$$

Fig. 1.8.1. Función densidad de probabilidad

El modelo de propagación en Espacio Libre (*FSP*) se usa para predecir el nivel de señal recibido cuando el transmisor y el receptor tienen visión directa (*LOS*).

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

Fig. 1.8.2. Ecuación del modelo FSP

La potencia recibida es generalmente el parámetro más importante que predicen estos modelos de propagación.

El modelo de propagación de las redes ad-hoc es básicamente una extensión del modelo de propagación en el espacio libre.

$$P_{loss} = 40 \log_{10} d + 20 \log_{10} f - 20 \log_{10} h_t h_r$$

Fig. 1.8.3. Ecuación del modelo ad-hoc 802.11

1.8.2. *Small-scale fading*

Los desvanecimientos rápidos vienen provocados por la propagación multicamino, ya que inciden en el receptor varios rayos con diferentes amplitudes, fases y retardos. Estos ecos pueden llegar en fase o contrafase y producir combinaciones constructivas o destructivas, provocando los desvanecimientos.

Es necesario desarrollar modelos de canal que contemplen transmisores y receptores con múltiples antenas (*MIMO*), dado que es muy probable que se implemente debido a la elevada disponibilidad de espacio en la carrocería del vehículo. Por lo tanto, el estudio y análisis del grado de correlación entre los distintos caminos de propagación para evaluar las prestaciones derivadas del empleo de técnicas *MIMO* en redes vehiculares, constituye una línea importante de investigación.

1.8.3. Simulación de las comunicaciones V2R

Los principales retos del estándar V2V y V2R son la fiabilidad y la inmediatez (*realtime*), especialmente en el ámbito de las aplicaciones de seguridad en el transporte. Algunas de las pruebas más representativas para evaluar las comunicaciones V2V y V2R empleando equipamiento WAVE, muestran que las

mayores carencias del estándar se encuentran en el proceso de traspaso de *handover* y en las situaciones de pérdida de visión directa por obstrucción (NLOS).

La evaluación de prestaciones mediante simulación en VANET es esencial, ya que la elevada complejidad de la red no permite habitualmente su caracterización analítica. La simulación de *IEEE* 802.11 y sus variantes está muy consolidada y estudiada, pero existen diversos retos claves a la hora de desarrollar simuladores adecuados para VANET:

- La integración de modelos de tráfico
- La fiabilidad del modelo radio
- La integración en modelos de optimización.

Respecto a los modelos radio, actualmente no contemplan características como el uso de múltiples antenas (*MIMO*), el impacto de la densidad de tráfico, la no estacionalidad del caso V2V y la importancia del ángulo de elevación. Los retos planteados son por tanto:

- Demostrar la viabilidad del estándar para aplicaciones críticas de seguridad, trabajando a nivel de simulación, en la optimización de las muestras de tráfico real en escenarios de NLOS y *handover*.
- Caracterizar a nivel de simulación el estándar 802.11p y el europeo basado en el anterior y publicado en enero de 2010, integrando simuladores con meta-heurísticos de optimización (ej., algoritmos genéticos, búsqueda tabú, etc.), para disminuir la complejidad computacional de los simuladores y aumentar la eficacia de los mismos.
- Modificar la capa física del estándar a nivel de simulación: mejorando o cambiando el sistema de codificación para hacerlo más robusto frente a las reflexiones multicamino y redistribuyendo la canalización del estándar y las frecuencias piloto, manteniendo siempre unos niveles bajos de complejidad en los receptores.
- Desarrollar *test beds* para 802.11p que validen la simulación de los escenarios críticos.
- Desarrollar modelos radio que incorporen características cruciales de la comunicación V2V, así como su implementación en tiempo real de modo que se puedan integrar en modelos de simulación.

1.9. Proyectos y organizaciones

COMeSafety



Webpage: <http://www.comesafety.org>
Start: January 2006
Duration: 4 years
Type: Specific Support Action
Funded: EC, 6th Framework Programme

El proyecto *COMeSafety* da apoyo al foro *eSafety* en todos los temas relacionados con las comunicaciones V2R y V2V como bases para los sistemas de transporte inteligentes cooperativos.

COMeSafety proporciona una plataforma abierta para el intercambio de información y presentación, con el objetivo de representar los intereses de todos los públicos y empresas.

Este proyecto apoya de forma activa el proceso de adjudicación de espectro para los ITS cooperativos como un requerimiento básico para poder tener éxito en el objetivo de mejorar la seguridad vial.

COOPERS



Webpage: <http://www.coopers-ip.eu>
Start: February 2006
Duration: 4 years
Type: integrated project
Funded: EC, 6th Framework Programme

COOPERS da soporte a *COOPerativeSystemEMS for Intelligent Road Safety* y su actividad de investigación y desarrollo Europeo (I&D) y su actividad de innovación en el Call 4 (*Cooperative Systems and in vehicle integrated safety systems*). COOPERS se basa en el desarrollo de aplicaciones telemáticas innovadoras en las infraestructuras viarias para reducir el agujero que existe entre la industria del automóvil y los operadores de infraestructura.

El objetivo del proyecto es el aumento de la seguridad vial, mediante las comunicaciones que proporcionan información directa y actualizada del estado del tráfico, entre vehículos e infraestructura en un sector de las autopistas.

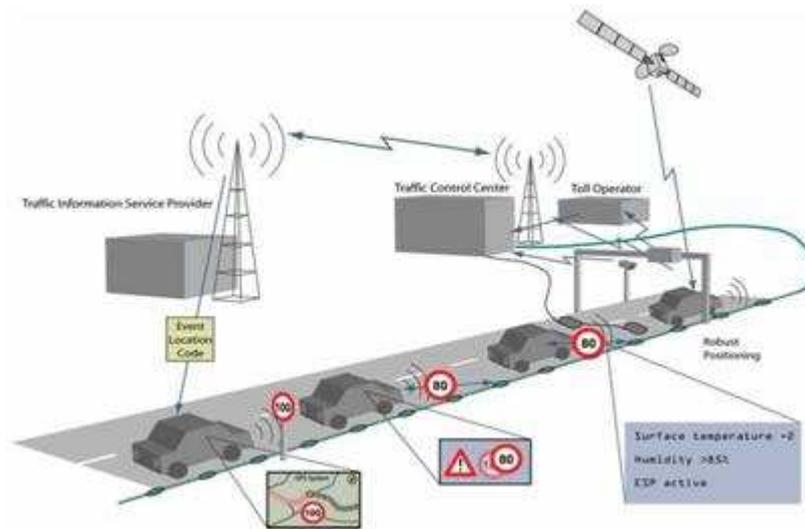


Fig. 1.9.1 Diagrama general de COOPERS

CVIS



Webpage: <http://www.cvisproject.org>

Start: February 2006

Duration: 4 years

Type: integrated project

Funded: EC, 6th Framework Programme

CVIS (*Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems*) es el mayor proyecto europeo de investigación y desarrollo con objetivos de diseño, desarrollo y tests de tecnología necesarios para permitir la comunicación entre vehículos y e infraestructura vial.

Estas comunicaciones son la base para muchas aplicaciones nuevas, útiles para incrementar la seguridad y eficiencia vial y reducción del impacto ambiental. La ambición del proyecto es empezar una revolución en la movilidad de persona y mercancías, haciendo una reestructuración completa de cómo los conductores, sus vehículos, las mercancías y las infraestructuras interactúan.



Fig. 1.9.2 Diagrama general de CVIS

Otras innovaciones clave del proyecto incluyen posicionamiento de alta precisión y mapas locales dinámicos, aplicaciones seguras para acceder a servicios online y un sistema para obtener e integrar información monitorizada de vehículos en movimiento a través de sensores en las carreteras.

CVIS desarrollará una arquitectura de comunicación basada en el estándar ISO CALM donde el IPv6 sirve como una capa común para diferentes servicios de comunicación y aplicaciones. Permitirá a un router móvil con un amplio abanico de comunicaciones, como redes móviles y redes inalámbricas, ondas de corto alcance o infrarrojos, conectarse de forma continua a vehículos con los equipos y servers la de infraestructura viaria, usando tanto el estándar IPv6 o el protocolo *fast dedicated*.

SAFESPOT



Webpage: <http://www.safespot-eu.org>
Start: February 2006
Duration: 4 years
Type: integrated project
Funded: EC, Framework Programme

SAFESPOT es un proyecto de investigación cofundado por la Comisión Europea de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones que tiene como objetivo entender cómo pueden cooperar los vehículos inteligentes y las carreteras inteligentes para mejorar la seguridad vial.

Se desarrollará un asistente de seguridad para detectar situaciones potencialmente peligrosas y que ampliará en tiempo y espacio la prevención del entorno.

El desarrollo técnico incluye:

- Comunicaciones a través de redes ad-hoc donde los nodos son los vehículos y las RSU.
- Un posicionamiento relativo bien definido.
- Mapas locales dinámicos.
- Redes de sensores inalámbricos para usar como infraestructura.

Además, existe un subproyecto (*BLADE*) que se encarga de los aspectos legales y de negocio.

SEVECOM



Webpage: <http://www.sevecom.org>
Start: January 2006
Duration: 4 years
Type: integrated project
Funded: EC, 6th Framework Programme

SeVeCom (Secure Vehicular Communication) es un proyecto fundado por la UE que se centra en proveer una completa definición y requerimientos de seguridad para comunicaciones vehiculares. Su objetivo es el de definir la arquitectura de seguridad de las redes V2R y V2V además de proponer una hoja de ruta para la integración de las funciones de seguridad de estas redes.

SeVeCom se centra en tres aspectos:

- Amenazas, privación de servicio o robo de identidad.
- Requerimientos como autenticación, disponibilidad y privacidad.
- Propiedades operacionales, incluyendo escala de red, privacidad, coste y confianza.

GEONET



Webpage: <http://www.geonet-project.eu>
Start: February 2008
Duration: 2 years
Type: STREP
Funded: EC, 7th Framework Programme

GeoNet es un consorcio europeo bien equilibrado con 7 miembros de 6 países diferentes incluyendo uno de los nuevos Estados miembros de la CE. Comprende dos institutos de investigación, una PYME y cuatro industrias. El foco de GeoNet es combinar IPv6 y capacidades de encaminamiento geográfico (GeoNetworking) en una pila común de comunicaciones.

Este trabajo está motivado por el hecho que se espera que vehículos de nueva generación sean capaces de intercambiar información (más allá de su entorno inmediato y línea de visión) con otros vehículos así como con la infraestructura vial e internet. El intercambio de información con vehículos localizados en una particular área geográfica, potencialmente lejos de la fuente de información, requiere capacidades de comunicación específicas seguras y escalables.

Sin embargo, GeoNetworking todavía carece de IPv6. GeoNet tiene que arreglar este hueco combinando GeoNetworking e IPv6 en una única pila de protocolos de comunicación, es decir IPv6 GeoNetworking. La combinación de GeoNetworking e IPv6 tendrá en cuenta tanto IPv6 como comunicaciones Non-IPv6.

FRAME, E-FRAME



Webpage: <http://www.frame-online.net>
Start: FRAME: July 2001 E-FRAME: May 2008
Duration: FRAME: 3 ¼ years E-FRAME: 3 year
Funded: EC

FRAME es el nombre genérico que se ha dado a una serie de proyectos fundados por la Comisión Europea. Los dos primeros proyectos (FRAME-S y FRAME-NET) desarrollaron y promocionaron la *European ITS Framework Architecture* producida originalmente por el proyecto KAREN. La *Framework Architecture* comprende una serie de necesidades de los usuarios y su soporte de funcionalidad.

Como resultado de estos dos proyectos realizados por FRAME, una serie de herramientas están disponibles para asistir con la ayuda de la *Framework Architecture*.

Recientemente se ha lanzado el proyecto E-FRAME, financiado por la Comisión Europea, para dar soporte al desarrollo de los sistemas cooperativos en la implementación europea de los ITS. El trabajo de este proyecto permitirá utilizar FRAME como herramienta para proporcionar información a aquellos que implementen los ITS.

eSafety Forum



Webpage: <http://www.esafetysupport.org>
Type: Platform of road safety stakeholders

Establecido a principios del año 2003 por la Comisión Europea en cooperación con la industria, asociaciones industriales y empresarios del sector público, el foro eSafety es una plataforma que implica a todos los empresarios de seguridad vial. Su principal objetivo es el de promover y monitorizar la implementación de las recomendaciones identificadas por el grupo eSafety y dar apoyo al desarrollo, implementación y uso de los sistemas eSafety. Esta organización está dirigida por el *Steering Group* que se reúne 6 veces al año y define el programa de trabajo del foro así como las tareas de los miembros y de los grupos de trabajo.

C2C Communication Consortium



Webpage: <http://www.car-to-car.org>
Type: Industrial Consortium

El *CAR 2 CAR Communication Consortium* (C2C-CC) es una organización sin ánimo de lucro formada por casi todos los fabricantes de automóviles europeos, varios proveedores, organizaciones de investigación y otros socios.

El objetivo del C2C-CC es la implementación de los sistemas cooperativos de transporte inteligente para mejorar la seguridad vial y la eficiencia de las carreteras a través de las comunicaciones y aplicaciones intra-vehiculares y con la infraestructura. La tecnología se basa en las redes ad-hoc a 5,9 GHz proporcionando una baja latencia y geo-routing.

Este consorcio es un contribuidor clave para la estandarización europea y validación de procesos de certificación. Trabaja a la par con organizaciones europeas de estandarización, en particular con ETSI TC ITS para conseguir el acuerdo común de los estándares europeos para los ITS.

CEN



Webpage: <http://www.cen.eu>
Type: Standardisation

El *European Committee for Standardization* (CEN) facilita los acuerdos en Europa, borrando las barreras entre la industria Europea y sus consumidores.

Los 30 miembros del CEN trabajan conjuntamente para desarrollar estándares europeos (ENs). Estos estándares tienen un único status ya que también son estándares nacionales en cada uno de los 30 países miembros. Con un estándar común en todos estos países, un producto puede alcanzar un mercado más amplio con mucho menos desarrollo y coste de pruebas. ENs ayuda a construir un mercado europeo interno para productos y servicios y a posicionar a Europa en la economía global. Más de 60.000 técnicos expertos así como federaciones de negocios, consumidores y otras organizaciones sociales interesadas están involucrados en la red de CEN que alcanza los 480 millones de personas.

ISO



Webpage: <http://www.iso.org>
Type: Standardisation

ISO (*International Organization for Standardization*) es una red de institutos nacionales de estandarización de 161 países, con un miembro por país, que tiene su sede en Ginebra, Suiza que coordina la organización.

ISO es una organización no gubernamental que representa el enlace entre los sectores públicos y privados. Algunos de sus miembros forman parte de la estructura de gobierno de su país.

El comité técnico responsable para los ITS es el TC204. Su grupo de trabajo, WG16, está definiendo un sistema de comunicaciones llamado CALM (*Communications Access for Land Mobiles*), que cubre todo tipo de escenarios de comunicaciones (directo y multisalvo V2V, V2R, V2I) y tipos (unicast, multicast y geocast). Efectivamente soporta cualquier tipo de comunicación (largo-alcance y redes de corto y medio alcance) para ser usada de forma simultánea y para todo tipo de aplicaciones. La capa de comunicaciones está diseñada para soportar los tipos de comunicaciones IP (IPv6) y no IP (FAST).

ETSI



Webpage: <http://www.etsi.org>
Type: Standardisation

El *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) es la organización líder en Europa de desarrollo de estándares aplicables de forma global para *Information and Communications Technologies* (ICT) incluyendo tecnologías fijas, móviles, radio, converged, broadcast e internet. ETSI es una organización independiente sin ánimo de lucro con más de 700 organizaciones miembros repartidas por más de 60 países de todo el mundo.

La base de ETSI se encuentra en el sur de Francia, donde se puede encontrar todo lo necesario para el trabajo de estandarización, incluyendo espacios para el secretariado y las reuniones, centros informáticos así como herramientas para el testeo y la validación. El centro de pruebas e interoperabilidad de ETSI tiene una reputación excelente y se ha usado para la estandarización de sistemas de otras organizaciones.

IEEE

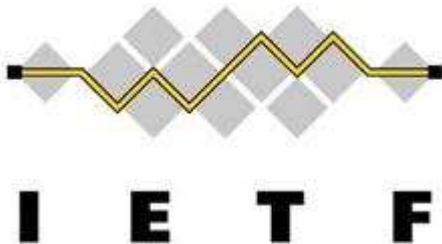


Webpage: <http://www.ieee.org>
Type: Standardisation

La organización sin ánimo de lucro, IEEE es la asociación profesional líder en el mundo para el avance tecnológico. El nombre de IEEE era en un principio un acrónimo para el *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, Inc. Hoy en día, el abanico de interés de la organización se ha ampliado en muchos campos relacionados.

El *IEEE Standards Association* (IEEE-SA) es un desarrollador líder de la industria de la estandarización en todos los campos de la industria. Globalmente conocida, la IEEE-SA tiene relaciones estratégicas con el IEC, ISO e ITU y satisface todos los requerimientos de la SDO solicitados por la *World Trade Organization*, ofreciendo más caminos para la estandarización internacional.

IETF



Webpage: <http://www.ietf.org>
Type: Standardisation

La Internet Engineering Task Force (IETF) es una gran comunidad internacional de diseñadores de redes, operadores, vendedores e investigadores preocupados por la evolución de la arquitectura de Internet. Está abierta a cualquier persona interesada.

El actual trabajo técnico de la IETF se realiza en sus grupos de trabajo, que están organizados en varias áreas (encaminamiento, transporte, seguridad). Mucha parte del trabajo se maneja vía mails. El IETF se reúne tres veces al año.

Además, han destacado los proyectos TEMPO, *Trans-European intelligent transport Systems Projects*:

- SERTI: sistema de información del tráfico y duración prevista del desplazamiento (en tiempo real) de las autopistas del arco mediterráneo en el entorno del Golfo de León.

- ARTS: proyecto que supuso el primer intento entre España, Francia y Portugal de eliminar las fronteras telemáticas, logrando una continuidad en servicios e interoperabilidad al pasar de uno a otro país.
- CENTRICO: servicios de información en el Canal de la Mancha, que ofrece a los usuarios (especialmente a los de larga distancia) los parámetros principales de las diferentes alternativas en los extremos, mejorando así la eficiencia del desplazamiento.
- VIKING: servicio de información al viajero vía Internet en los países del Norte de Europa, avanzando al usuario los principales parámetros del desplazamiento definido y sus alternativas en otros modos de transporte.
- CORVETTE: sistema de cooperación entre los operadores de carreteras en la zona alpina. Ofrece ayuda para elegir el mejor itinerario para cruzar los Alpes, especialmente interesante con los desvíos y obras que se han ejecutado en esta zona tan transitada.
- STREETWISE: servicio de integración de información sobre viajes, especialmente dirigido a mercancías para aunar los esfuerzos realizados en diferentes países y mejorar la transferencia intermodal, evitar zonas de congestión o meteorología adversa, etc.

1.10. Negocio en el mercado de los ITS

En este apartado se analizarán las oportunidades de negocio en el mercado de los Sistemas Inteligentes de Transporte, identificando algunas de las necesidades específicas traducibles a proyectos que puedan ser desarrollados por empresas.

Las tecnologías de la información y las comunicaciones pueden tener dos importantes repercusiones en el transporte. La primera, mediante la incorporación a vehículos y sistemas de control de tráfico, y la segunda, a través de la reducción de la demanda de desplazamientos con el uso de servicios apoyados en las tecnologías de la información. Entre los diversos campos de aplicación ITS se encuentran los siguientes:

- Tráfico
- Gestión de flotas
- ITS en el vehículo
- Peajes

1.10.1. Tráfico

El uso de cámaras de video comenzó a utilizarse en los años ochenta como sistema de video vigilancia en sistemas de tráfico. En la actualidad no solo son usadas para monitorización en tiempo real de carreteras sino también como sistemas de control y acceso restringido de grandes ciudades.

Los sistemas instalados actualmente son sistemas de control y monitorización en emplazamientos tan críticos como pueden ser túneles o puertos de montaña basados en sistemas de visión artificial de gran extensión en el mercado ITS para funciones tan diversas como control de incidencias, cálculo de velocidades, detección y conteo de paso de vehículos, lectura de matriculas, etc.

Los sistemas de vigilancia y captación de información de tráfico pueden ser:

- No embarcados: sensores de manguera automática; sensores de lazo conductivo; sensores piezo-eléctricos; sensores basados en fibra óptica; sensores basados en infrarrojos; sensores basados en microondas; sensores basados en ultrasonidos; radares basados en láser/LIDAR; radares basados en láser de haces perpendiculares; WESCAMMX-15; sistemas de control de la velocidad media; etc.
- Embarcados: vehículos flotantes; sistemas basados en telefonía móvil.

1.10.2. Gestión de flotas

Los tradicionales sistemas de Gestión de flotas que surgen en los años 90 a partir de la puesta en servicio del sistema de posicionamiento americano GPS de libre acceso, han sido de manera masiva instalados en flotas de transporte, autobuses, trenes, barcos o cualquier recurso móvil susceptible de ser localizado en tiempo real. En la actualidad dichos sistemas se complementan con modernas y complejas funciones de conexión a tacógrafo, identificación automática de vehículos y mercancías, conexión a bus de datos interno de los vehículos, etc.

Una de las características principales del transporte terrestre por camión, que es mayoritario en Europa (del 40 al 50% del total del tráfico) y totalmente mayoritario en España (95% del total debido a la no existencia de transporte fluvial y a un transporte ferroviario ineficiente) es su atomización, lo cual da lugar a dos problemas donde la gestión de flotas tiene un papel fundamental:

- Identificación del mejor transporte para la mejor ruta. La resolución de este problema debe realizarse por medios informáticos que permitan una eficiente asignación de cargas a medios de transporte y un sistema de comunicaciones eficiente que permita dirigir cada camión al lugar adecuado para realizar un próximo servicio.

- El transporte terrestre en general es realizado por empresas pequeñas con flota reducida y sin las medidas económicas suficientes para sostener un sistema de dirección de flota y asignación de carga eficiente por lo que ha habido iniciativas de ámbito estatal o autonómico tendentes a agrupar flotas y asignarles cargas de manera homogénea dotando a los camiones de sistemas de comunicación y de dirección para mejorar la gestión de su flota. Ello no resulta sencillo debido a la competencia a la que se ven sometidas estas pequeñas compañías y a su voluntad de independencia y resistencia al control.

1.10.3. ITS en el vehículo

Uno de los campos donde más se ha innovado en los últimos años ha sido en las aplicaciones o soluciones de comunicación con el vehículo, bien desde otro vehículo (V2V) o bien desde la propia infraestructura (V2R). El objetivo es a partir de la red viaria y por la red de dispositivos OBU's instalados, generar información de interés en tiempo real para el conductor (incidencias de tráfico, predicciones meteorológicas, rutas alternativas etc.) así como el acceso a servicios de valor añadido (información de hoteles, gasolineras etc.). Para todos ellos existen alternativas de comunicaciones de corto, medio y largo alcance.

Otro de los servicios más novedosos generados en el entorno de *ITS* del vehículo es la normativa europea *eCALL* en relación a la llamada de auxilio desde el vehículo en caso de urgencia o emergencia. Asimismo dentro de este ámbito se encuentran los sistemas *e-Safety* y los servicios asociados a los sistemas embarcados en los vehículos: Sistemas *ADAS* (sistemas de Ayuda al conductor) y Sistemas *IVIS* (Información en el vehículo).

Dentro de la iniciativa *eSafety* de la Unión Europea, se distinguen dos generaciones de sistemas:

- Sistemas autónomos (basados en sensores y comunicaciones intra-vehiculares). Algunos de los ejemplos de sistemas autónomos que conducen a reducciones de consumo y emisiones son los siguientes:

Control de crucero adaptativo (*ACC*), el cual fomenta una circulación más uniforme, lo que redundaría en ahorros de consumo superiores al 3%, un sistema "*stop and go*" para entornos urbanos o congestionados, la monitorización de la presión en los neumáticos, dada la influencia de esta variable en la seguridad y el consumo, un indicador de cambio de marcha para hacer trabajar al motor en los regímenes más adecuados, lo que se estima que redundaría en una reducción de consumo del 3% y unos calculadores de consumo que proporcionan información instantánea y promediada al conductor sobre dicha variable.

- Sistemas cooperativos: Las comunicaciones con el exterior del vehículo prometen mayores mejoras, aunque debe tenerse en cuenta que, para el correcto funcionamiento de los sistemas a los que proporcionan información dichas comunicaciones, se aprovecha también el flujo interno de datos existente en los buses de los vehículos. Así, los sistemas cooperativos (que,

por otra parte, pueden dar asistencia a algunos sistemas autónomos) suponen una apuesta de futuro clara para lograr la sostenibilidad del transporte, sobre todo por su utilidad en la reducción del impacto medioambiental del tráfico de los vehículos de carretera.

1.10.4. Peajes

El control automático de peaje es uno de los campos donde avances más significativos se han realizado en los últimos años. Han proliferado los puestos de peaje automáticos con el servicio Vía-T donde, a través de una prescripción al servicio, el vehículo con las tarjetas identificativas correspondientes no debe de parar para el pago del peaje. El sistema consiste en equipar el vehículo con un dispositivo OBU (RFID activo) vinculando una cuenta bancaria que al paso por el peaje comprueba los datos de este a través de una cámara de visión artificial. Dentro de las soluciones existentes en Europa de peaje automático se difiere en la diferente configuración que tiene el OBU, pudiendo ser desde unas simple tarjeta RFID alimentada con la pila de un botón (como es en España) hasta sistemas basados en un dispositivo GPS/GPRS con capacidad de funciones avanzadas complementarias (gestión de flotas, pago por uso, etc.)

La Directiva 2004/52/EC requiere la instauración de un servicio europeo de telepeaje que permita la interoperabilidad completa de vehículos ligeros en 2013. Además, permite 3 tecnologías a elección de cada Estado:

- GNSS (localización por satélite): Actualmente en Europa, sólo un par de sistemas de peaje electrónico operativos emplean GNSS (probablemente el más conocido es *Toll Collect*). Un sistema basado en GNSS cuenta con varias ventajas importantes comparado con un sistema basado en DSRC, en concreto la flexibilidad de configurar y cambiar los esquemas de peaje y la capacidad de proporcionar servicios adicionales de valor añadido. No obstante, algunos aspectos de GNSS siguen cuestionándose, en concreto, el efecto de la precisión y errores de la posición y la disponibilidad de la señal (a nivel de vehículo).
- DSRC (microondas de corto alcance a 5.8GHz): Hace años que el peaje electrónico basado en comunicaciones DSRC entre vehículos e infraestructura se ha convertido en el estándar europeo frente a otras soluciones a nivel mundial. En España el uso masivo de peaje basado en DSRC ha permitido asegurar la interoperabilidad entre todas las autopistas con soluciones diferentes (VIA-T, Liber-T). La compleja tecnología e infraestructura de dichos sistemas les limita principalmente a entornos interurbanos dejando a los ámbitos urbanos otras soluciones tales como ANPR (*Automatic Number Plate Recognition*) que vincula una factura a la matrícula identificada. Este es el ejemplo del sistema de peaje de Londres.
- Norma GSM-GPRS (comunicaciones móviles).

CAPÍTULO 2. DISEÑO DEL SISTEMA

2.1. Introducción

El sistema de comunicaciones que se ha diseñado se insertará en una caja del tipo *EMI* (*Electro-Magnetic-Interference*) para protegerlo de las interferencias electromagnéticas. Estará alimentado eléctricamente por un panel solar que le dará autonomía y minimizará el impacto medioambiental.

2.2. Cajas de protección EMI

Por interferencia electromagnética (EMI) se puede entender la presencia de voltaje o corriente no deseada que puede aparecer en un equipo o en sus circuitos, como resultado del funcionamiento de otro aparato eléctrico o por fenómenos naturales. Hay que remarcar que solo se habla de interferencia siempre y cuando se provoque un mal funcionamiento en el receptor.

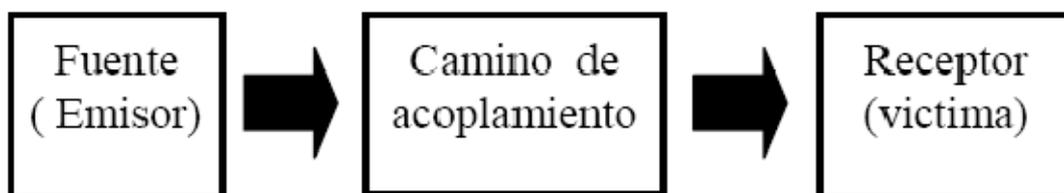


Fig. 2.2.1. Circuito de interferencia

El acoplamiento entre sistemas consiste en que un dispositivo interacciona y perturba el funcionamiento de otro. Existen cuatro modos de acoplamiento:

- Conducción (corriente eléctrica).
- Acoplo inductivo (campo magnético).
- Acoplo capacitivo (campo eléctrico).
- Radiación (campo electromagnético).

La interferencia electromagnética puede ser radiada o conducida. Fuentes típicas de las emisiones radiadas son los equipos de radio y los transmisores de radar, así como los equipos eléctricos de generación y transformación de la energía eléctrica. La manera en la cual la interferencia electromagnética externa se introduce en un circuito se llama modo de acoplamiento.

La interferencia electromagnética radiada se propaga a través del aire hacia el circuito víctima. Una antena, o un cable que puede actuar como una antena, sirve de acoplamiento a la interferencia electromagnética afecten al circuito víctima. La interferencia electromagnética conducida se acopla desde la fuente al circuito víctima a través de conexiones comunes, bien mediante el cableado o bien a través de la estructura metálica.



Fig. 2.2.2. Cajas de protección EMI

2.3. Bluetooth

Bluetooth define un estándar global, tanto hardware como software, de comunicación inalámbrica. Esta tecnología posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes equipos mediante un enlace por radiofrecuencia en distancias cortas, tanto si se refiere a ambientes de trabajo cerrados (oficinas, despachos, etc.) como si se refiere a espacios públicos.

Uno de los objetivos de esta tecnología es la posibilidad de reemplazar o eliminar la gran cantidad de cables y conectores que enlazan unos dispositivos con otros. Además esta tecnología pretende facilitar la interacción y sincronización de los diferentes dispositivos tanto móviles como fijos que se desee. Otro objetivo es la de obtener una tecnología de bajo coste y potencia que posibilite dispositivos baratos.

2.3.1. Características

Bluetooth fue diseñado para operar en un entorno de radiofrecuencia ruidoso, y para ello utiliza un esquema de reconocimiento rápido y saltos de frecuencia para garantizar la robustez del enlace. Este sistema opera en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, libre para ISM (Industrial, Científica y Médica) más exactamente comenzando en 2.402 GHz y acabando en 2.4835 GHz, con canales RF de $f = 2402 + k$ MHz siendo $k = 0.78$.

Bluetooth brinda una conexión punto-a-punto o conexión punto-a-multipunto. Dos o más unidades compartiendo el mismo canal forman una piconet. Cada piconet tiene una secuencia de salto diferente y un maestro que puede tener hasta siete esclavos activos. Además, puede haber un número ilimitado de esclavos en estado parked o aparcados. Estos esclavos no están activos en el canal sin embargo están sincronizados con el maestro con el fin de asegurar una rápida iniciación de comunicación. El maestro es el responsable de la sincronización entre los dispositivos de la piconet, su reloj y saltos de frecuencia controlan al resto de dispositivos. Además el maestro es quien, de

manera predeterminada, lleva a cabo el procedimiento de búsqueda y establecimiento de la conexión. Los esclavos simplemente se sincronizan y siguen la secuencia de saltos determinada por el maestro.

La topología Bluetooth permite la interconexión de varias piconets formando una scatternet, Aunque no existe sincronización entre piconets, un dispositivo puede pertenecer a varias de ellas haciendo uso de la multiplexación por división del tiempo (TDD), aunque el dispositivo solo está activo en una piconet a la vez.

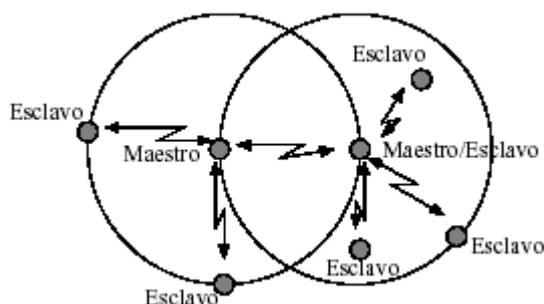


Fig. 2.3.1. Scatternet

El canal físico contiene 79 frecuencias de radio diferentes, las cuales son accedidas de acuerdo a una secuencia de saltos aleatoria. El valor de saltos estándar es de 1600 saltos/s. El canal está dividido en time slots o slots, cada slot corresponde a una frecuencia de salto y tiene una longitud de 625 us. Cada secuencia de salto en una piconet está determinada por la dirección del maestro (48 bits). Todos los dispositivos conectados a la piconet están sincronizados con el canal en salto y tiempo. En una transmisión, cada paquete debe estar alineado con el inicio de un slot y puede tener una duración de hasta cinco time slots. Durante la transmisión de un paquete la frecuencia es fija. Para evitar fallos en la transmisión (crosstalk), el maestro inicia enviando en los time slots pares y los esclavos en los time slots impares.

La seguridad de Bluetooth es un tema importante y a la vez pendiente en la mayoría de los dispositivos. Una gran parte de los productos en el mercado sufren la interceptación de comunicaciones. No obstante las grandes compañías del sector de las telecomunicaciones y productoras de este tipo de equipos están tomando medidas tanto a nivel de hardware como software.

Bluetooth debe tener en cuenta dos aspectos fundamentales para ofrecer una conexión segura. En primer lugar la confianza con el dispositivo con el que se va a conectar. Un dispositivo podrá acceder a los distintos servicios residentes en el otro dependiendo de su grado de confianza. Como mayor sea esta, mayor será el acceso a los servicios, en cambio una medida baja de confianza hará que el dispositivo poco confiable sólo pueda acceder a los llamados servicios básicos o servicios en abierto del dispositivo receptor.

El segundo aspecto es a qué nivel de protocolos se desea que se produzca la seguridad. Si se desea que la seguridad se base en las capas bajas de la pila de protocolos y el procedimiento de seguridad se inicie antes de que el canal

haya sido establecido entonces se trata de seguridad a nivel de enlace. Si en cambio la seguridad es brindada por las capas altas de la pila y se inicia después de que el canal se haya establecido será seguridad a nivel servicio.

2.3.2. Protocolos

Uno de los principales objetivos de la tecnología Bluetooth es conseguir que aplicaciones de dispositivos diferentes mantengan un dialogo fluido. Para conseguirlo, ambos deben ejecutarse sobre la misma pila de protocolos.

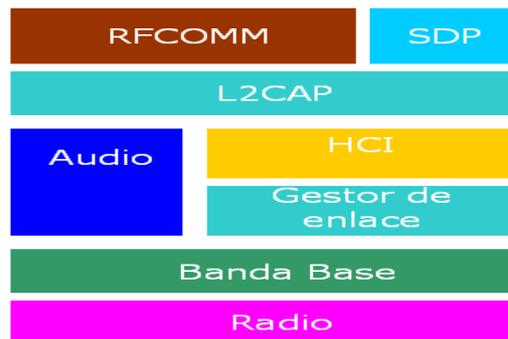


Fig. 2.3.2. Protocolos Bluetooth

La pila está constituida por dos clases de protocolos. Una primera clase llamada de protocolos específicos, que implementa los protocolos propios de Bluetooth y una segunda clase formada por el conjunto de protocolos adoptados de otras especificaciones. Esta división en clases en el diseño de la pila de protocolos de Bluetooth, permite aprovechar un conjunto muy amplio de ventajas de ambas. La utilización de protocolos no específicos ofrece la ventaja de la interacción de esta tecnología con protocolos comerciales ya existentes, así como la posibilidad de que Bluetooth este abierto a implementaciones libres o nuevos protocolos de aplicación de uso común. La pila de protocolos se puede dividir en cuatro capas lógicas:

- Núcleo de Bluetooth: Radio, Banda Base, LMP, L2CAP, SDP.
- Sustitución de cable: RFCOMM.
- Protocolos adoptados: PPP, UDP, TCP, IP, OBEX, WAP, IRMC, WAE.
- Control de telefonía: TCS-binary, AT-Commands.

El llamado núcleo de Bluetooth, ha sido implementado en su totalidad por el SIG, no obstante otros como RFCOMM y TCS-binary, los han desarrollado siguiendo las recomendaciones de otras instituciones de telecomunicaciones.

Como es una norma abierta en cuanto a los protocolos que corren encima de los protocolos específicos de transporte, se pueden hacer implementaciones que usen protocolos tan usados como FTP o HTTP por ejemplo.

2.3.3. Modulación

La modulación que emplea Bluetooth es GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) con un producto ancho de banda por tiempo $BT=0.5$. Este tipo de modulación permite un bajo coste. El índice de modulación debe estar entre 0.28 y 0.35. Un uno binario se representa por una desviación positiva de frecuencia y un cero binario como una desviación negativa. La desviación mínima no ha de ser menor de 115 KHz.

2.3.4. Perfiles

Son un conjunto de mensajes y procedimientos de la especificación Bluetooth para una situación de uso concreta del equipo. Los perfiles se encuentran asociados con las aplicaciones. Los perfiles permiten que no sea necesario implementar en un determinado dispositivo toda la pila de protocolos, sólo la parte que va a necesitar. Si el dispositivo tiene muy poca memoria y/o capacidad de procesamiento y se implementa en él toda la pila de protocolos con la carga de proceso y espacio que ello implica puede que se provoque que el dispositivo sea totalmente ineficiente para la comunicación, por ejemplo ratones, auriculares.

Además de la ventaja anterior el concepto de perfil se utiliza para asegurar la interoperabilidad entre varias unidades Bluetooth que cumplan los mismos perfiles. Cada dispositivo Bluetooth tiene al menos un perfil, es decir, una aplicación para la cual se puede utilizar el dispositivo. Cuando dos dispositivos deben comunicarse entre ellos, deben tener un perfil compartido. Si por ejemplo quiere transferir un archivo desde un ordenador preparado para Bluetooth a otro, ambos ordenadores deben admitir el perfil de transferencia de archivos.

Todos los dispositivos Bluetooth deben soportar el perfil de acceso genérico (Generic Access Profile) como mínimo. Este perfil en particular define el descubrimiento o hallazgo de dispositivos, procedimientos de conexión y procedimientos para varios niveles de seguridad. También se describen algunos requerimientos de interfaz al usuario. Otro perfil universal, aunque no es requerido, es el perfil de acceso a descubrimiento de servicios (Service Discovery Access Profile), el cual define los protocolos y parámetros asociados requeridos para acceder a los perfiles. Un número de perfiles han sido definidos incluyendo TCS, RFCOMM y OBEX. Algunos de estos requieren la implementación de otros, y todos ellos requieren la implementación de perfiles genéricos.

- Perfil de acceso genérico. (GAP).

Este perfil define los procedimientos generales para el descubrimiento y establecimiento de conexión entre dispositivos Bluetooth. El GAP maneja el descubrimiento y establecimiento entre unidades que no están conectadas y asegura que cualquier par de unidades Bluetooth, sin importar su fabricante o aplicación, puedan intercambiar información a través de Bluetooth para descubrir qué tipo de aplicaciones soportan las unidades. También define aspectos relacionados con los niveles de seguridad.

- Perfil de Aplicación del Descubrimiento de Servicio (SDAP).

Este perfil define las características y los procedimientos que un dispositivo Bluetooth usa para descubrir los servicios registrados en otros dispositivos y para recuperar cualquier información disponible deseada pertinente a estos servicios. El SDAP es dependiente del GAP.

- Perfil de Puerto Serie. (SPP)

El Serial Port Profile (SPP) define los requerimientos específicos para posibilitar la emulación del puerto serie en los dispositivos Bluetooth usando el protocolo RFCOMM entre parejas de dispositivos.

- Perfil genérico de intercambio de objetos. (GOEP)

Este perfil define cómo los dispositivos Bluetooth deben soportar los modelos de intercambio de objetos, incluyendo el perfil de transferencia de archivos, el de carga de objetos y el de sincronización. Los dispositivos más comunes que usan este perfil son las agendas electrónicas, PDAs y teléfonos móviles.

- Perfil de Teléfono Inalámbrico.

Este perfil define como un teléfono móvil puede ser usado para acceder a un servicio de telefonía de red fija a través de una estación base. Es usado para telefonía inalámbrica de hogares u oficinas pequeñas. El perfil incluye llamadas a través de una estación base, haciendo llamadas de intercomunicación directa entre dos terminales y accediendo adicionalmente a redes externas. Es usado por dispositivos que implementan el llamado "teléfono 3-en-1".

- Perfil de Intercomunicación.(IP)

El Intercom Profile (IP) define los requerimientos necesarios por parte de los dispositivos Bluetooth para soportar comunicaciones entre parejas de teléfonos con soporte Bluetooth. Estos requerimientos son expresados en términos de servicios para el usuario final. Popularmente, este perfil se conoce con el nombre de "Walkie-Talkie".

- Perfil de acceso telefónico a redes o perfil de networking de marcación (DNP)

Este perfil define los protocolos y procedimientos que deben ser usados por dispositivos que implementen el uso del modelo llamado Puente Internet. Este perfil es aplicado cuando un teléfono o modem es usado como un modem inalámbrico.

- Perfil de FAX (FP)

El perfil Fax Profile define los requerimientos necesarios para que los dispositivos Bluetooth adquieran soporte de transferencia de Fax. Permitirá que teléfonos Bluetooth puedan enviar y recibir faxes.

- Perfil de Manos Libres o de casco telefónico.

Este perfil define los requerimientos, para dispositivos Bluetooth, necesarios para soportar el uso de manos libres. En este caso el dispositivo puede ser usado como unidad de audio inalámbrico de entrada/salida. El perfil soporta comunicación segura y no segura.

- Perfil de Acceso a LAN (LAP)

El perfil de acceso a LAN define cómo pueden acceder los dispositivos que utilizan la tecnología inalámbrica Bluetooth a los servicios de una LAN mediante el protocolo PPP. De esta manera pueden crearse puntos de acceso inalámbricos.

- Perfil de Transferencia de Archivos.

Este ofrece la capacidad de transferir un archivo de un dispositivo Bluetooth a otro, inclusive permite navegar por el contenido de las carpetas del dispositivo.

- Perfil de Transferencia de Objetos

Este ofrece la capacidad de transferir un objeto de un dispositivo Bluetooth a otro.

- Perfil de Sincronización.

Este perfil provee sincronización dispositivo a dispositivo de programas de gestión de información personal, como agendas telefónicas, calendario, mensajes y notas de información.

2.4. Panel solar

Un panel solar es un módulo que aprovecha la energía de la radiación solar. El término comprende a los colectores solares utilizados para producir agua caliente y a los paneles fotovoltaicos utilizados para generar electricidad.

Los paneles fotovoltaicos están formados por numerosas celdas que captan la radiación luminosa (fotones procedentes de la radiación solar). Estos fotones impactan sobre la superficie de la célula y allí son absorbidos por materiales semiconductores, como el silicio, liberando a los electrones de los átomos a los que pertenecían. Así, los electrones comienzan a circular por el material produciendo la electricidad en forma de corriente continua a baja tensión.

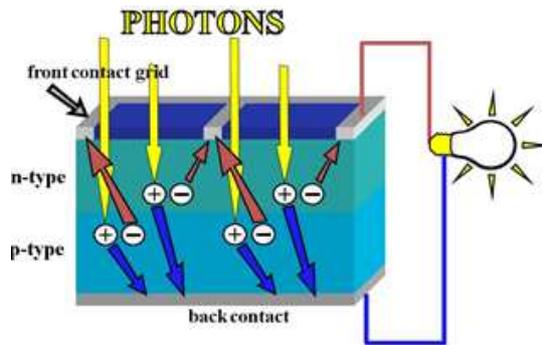


Fig. 2.4.1. Proceso de absorción de energía solar

Estas células se conectan entre sí como un circuito en serie para así aumentar la tensión de salida de la electricidad, al mismo tiempo varias redes de circuito paralelo se conectan para aumentar la capacidad de producción eléctrica que podrá proporcionar el panel.

La estructura de los paneles solares está compuesta, entre otras cosas, por un generador solar, un acumulador, un regulador de carga y un inversor. Como el tipo corriente eléctrica que proporcionan los paneles solares es corriente continua, muchas veces se usa un inversor y/o convertidor de potencia para transformar la corriente continua en corriente alterna, que es la que se utiliza habitualmente en casas, oficinas y comercios.

Silicio cristalino y arseniuro de galio son los materiales típicamente usados para las celdas solares. Los cristales de arseniuro de galio son creados especialmente para el uso fotovoltaico, mientras que los cristales de silicio están disponibles en lingotes estándar más baratos, producidos principalmente para el consumo de la industria microelectrónica. Cuando es expuesto a luz solar directa, una celda de Silicio de 6cm de diámetro puede producir una corriente de alrededor 0,5 amperios a 0,5 voltios.

La cimentación y el sustrato deben ser conductores térmicos, ya que las celdas se calientan al absorber la energía infrarroja que no es convertida en electricidad. Debido a que el calentamiento de las celdas reduce la eficacia de operación es deseable minimizarlo. Los ensamblajes resultantes son llamados paneles solares o grupos solares.



Fig. 2.4.2. Célula fotovoltaica

2.5. Impacto medioambiental del sistema

Los posibles impactos de las comunicaciones V2R, será la necesidad de nuevas infraestructuras, o estructuras de refuerzo, en las cercanías de las vías a transitar por donde se quiera dar este tipo de servicio, lo que provocará un impacto directo, tanto material como sobre el entorno, cosa que requerirá un uso responsable y adecuado a la hora de su colocación.

Aun así, el sistema de comunicaciones que se describe en este TFC pretende disminuir el impacto medioambiental utilizando fuentes de energía renovables como son los paneles solares.

Además, estos sistemas de comunicación también se diseñan para informar a los conductores, evitar congestiones y obtener una conducción menos contaminante, tanto para vehículos privados como para transporte público.

CAPÍTULO 3. ESTUDIOS, RESULTADOS Y CONCLUSIONES

3.1. Introducción

Los estudios realizados para este proyecto se basarán en la cobertura y el tiempo de transmisión de ficheros.

3.2. Conexión de dispositivos y transmisión de ficheros

A continuación se describe el proceso para la conexión y la transmisión de información entre dos dispositivos. Se han utilizado RFCOMM para realizar conexiones entre dispositivos y OBEX para la transmisión de ficheros.

3.2.1. RFCOMM

El protocolo RFCOMM (Radio Frequency Communication) proporciona una emulación del funcionamiento del puerto serie a través del protocolo L2CAP. Se basa en el estándar ETSI TS 07.10, tomando de éste un subconjunto con las partes más relevantes y realizando algunas adaptaciones.

El protocolo permite hasta 60 conexiones simultáneas (canales RFCOMM) entre dos dispositivos Bluetooth y permite emular los 9 circuitos de la interfaz RS-232.

Esta interfaz designa una norma para el intercambio serie de datos binarios entre un equipo terminal de datos y un equipo de comunicación de datos.

Pin Circuit Name
102 Signal Common
103 Transmit Data (TD)
104 Received Data (RD)
105 Request to Send (RTS)
106 Clear to Send (CTS)
107 Data Set Ready (DSR)
108 Data Terminal Ready (DTR)
109 Data Carrier Detect (CD)
125 Ring Indicator (RI)

Fig. 3.2.1. Circuitos de la norma RS-232

Existen dos tipos de conexiones RFCOMM para dispositivos Bluetooth, “*bind*” y “*listen-connect*”.

El comando *bind* se utiliza sólo para habilitar un canal *RFCOMM*, primer paso para una conexión. El comando a utilizar es el siguiente:

```
# rfcomm bind <rf_ch> <bdaddr> [ch]
```

Donde:

- <rf_ch> es el canal sobre el que crear la conexión rfcomm.
- <bdaddr> es la dirección MAC del dispositivo destino.
- <ch> es el canal del dispositivo que presta el servicio de puerto serie.

Para comprobar que se ha habilitado el canal correctamente el comando a utilizar y el mensaje que se tiene que recibir es:

```
# rfcomm
```

```
rfcomm<rf_ch>: <bdaddr> channel [ch] clean
```

Para eliminar el canal creado se tiene que utilizar el comando:

```
# rfcomm release <rf_ch>
```

Por otro lado, para realizar una conexión entre dos dispositivos Bluetooth, se utiliza el método "listen-connect". En este caso, se tienen que configurar los dos dispositivos. Un terminal será el servidor y el otro el cliente.

En el servidor, se utilizará el comando:

```
# rfcomm listen <dev> [ch]
```

En el cliente, el comando será:

```
# rfcomm connect <dev> <bdaddr> [ch]
```

Donde:

- <dev> es el dispositivo que se conectará, /dev/rfcomm0.
- [ch] es el canal que el dispositivo escuchará para realizar la conexión.
- <bdaddr> es la dirección MAC del servidor.

El mensaje que tiene que aparecer es el siguiente:

```
Connected /dev/rfcomm0 to <bdaddr> on channel [ch]  
Press CTRL-C for hangup
```

Si se utiliza el comando rfcomm para comprobar la conexión de los dispositivos, tiene que aparecer un mensaje como el siguiente:

```
rfcomm0: <bdaddr_server> -> <bdaddr_client> channel [ch] connected [reuse-  
dlc release-on-hup tty-attached]
```

3.2.2. OBEX

Obex (*Object Exchange*) es un protocolo de comunicaciones que facilita el intercambio de objetos binarios entre dispositivos. Es mantenido por la *Infrared Data Association (IrDA)* pero ha sido adoptada también por el *Bluetooth Special Interest Group* y por la sección *SyncML* de la *Open Mobile Alliance (OMA)*.

OBEX es similar en diseño y funcionalidad a HTTP, protocolo en el que el cliente utiliza un transporte fiable para conectarse a un servidor y así recibir o proporcionar objetos. No obstante, OBEX difiere en algunos puntos importantes:

- Transporte: HTTP funciona normalmente sobre un puerto TCP/IP. OBEX, en cambio, es implementado sobre una pila en Banda Base/Link Manager/L2CAP/RFCOMM al utilizar Bluetooth.
- Transmisiones binarias: HTTP utiliza texto legible por el ser humano, mientras que OBEX utiliza tripletes binarios llamadas para intercambiar información sobre una petición o un objeto. Éstos, resultan más simples de elaborar para dispositivos con características limitadas.
- Soporte para realizar sesiones: Las transacciones HTTP carecen inherentemente de estado. Generalmente, un cliente HTTP establece una conexión, efectúa una sola petición, recibe respuesta y cierra la conexión. En OBEX, una sola conexión de transporte podría utilizarse para efectuar varias operaciones relacionadas entre sí. De hecho, las últimas novedades de la especificación OBEX permiten almacenar la información del estado de una conexión intacta incluso si la conexión finalizó inesperadamente.

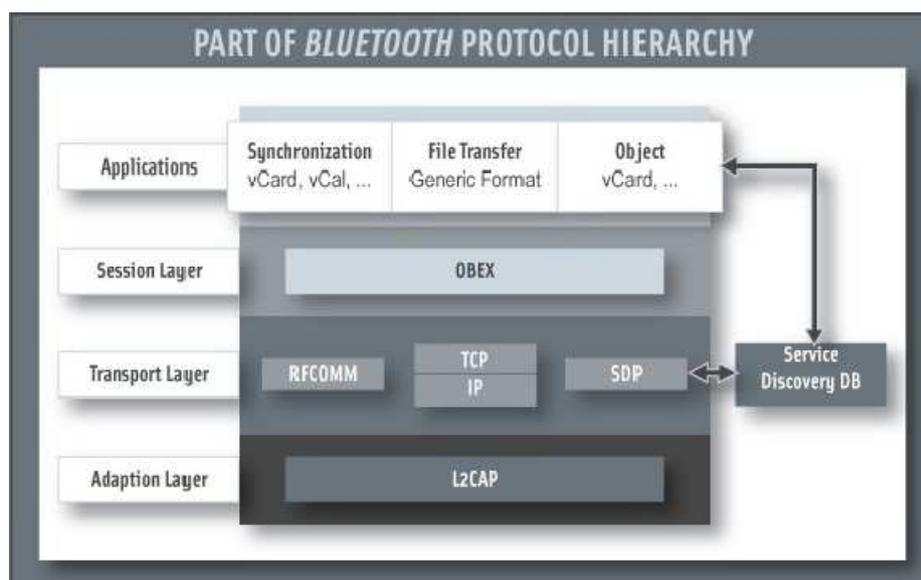


Fig. 3.2.2. Pila de protocolos Bluetooth

Obex es el conjunto de varios perfiles de alto nivel:

- Perfil Generic Object Exchange
- Perfil Object Push
- Perfil File Transfer
- Perfil de sincronización
- Perfil de Imagen básica
- Perfil de Impresión básica

Para realizar la transmisión de ficheros, se ha utilizado el perfil File Transfer.

ObexFTP es una biblioteca que une todo lo necesario para transferencias y exposición de ello vía un interfaz simple. Hay una muestra de línea de mando incluida para cliente "obexftp" y para servidor "obexftpd". Además del FTP la biblioteca ObexFTP proporciona el acceso al PUSH, GOEP y servicios SYNCH. Esto funciona sobre Linux, FreeBSD, NetBSD y Win32.

El método de utilización de este perfil es el siguiente:

Al igual que en RFCOMM, se necesita un cliente y un servidor. Uno será el que envíe los ficheros y el otro el que los reciba. En el servidor se utilizará el siguiente comando, útil para activar la recepción de ficheros:

```
# obexpushd -B
```

El cliente que va a mandar los ficheros, va a usar el comando:

```
# obexftp -b <bdaddr> -p <file>
```

Donde:

- -b indica que se trata de Bluetooth.
- <bdaddr> es la dirección MAC destino.
- -p (*put*) indica que se quiere enviar un fichero.
- <file> es la ruta donde se encuentra el fichero.

Si por el contrario queremos coger un archivo del servidor, el cliente tendrá que activar el modo de recepción de ficheros como se ha mostrado anteriormente y tendrá que utilizar el comando:

```
# obexftp -b <bdaddr> -g <file>
```

- -g (*get*) indica que se quiere coger un fichero.

3.2.3. Inquiry y page scan

Page e inquiry normalmente son los primeros estados en los que se encuentra un Bluetooth después de pasar por el estado de *standby*. Inquiry es el estado en el que un dispositivo descubre a otro Bluetooth dentro de su rango de cobertura y page es el procedimiento de conexión de dispositivos.

El procedimiento de descubrimiento y conexión de dispositivos Bluetooth empieza cuando uno de estos elementos entra en el sub-estado de *inquiry* para descubrir otros terminales.

Las especificaciones Bluetooth definen los códigos de acceso de *inquiry* (IAC), que permiten a un dispositivo especificar el tipo de aparato que busca, como PDAs, impresoras, o puntos de acceso. Durante el proceso de *inquiry*, los equipos generan una secuencia de *inquiry hopping*, que se obtiene a partir del reloj del dispositivo y el IAC elegido. Esta secuencia cubre un subconjunto de 32 canales de los 79 disponibles en la tecnología Bluetooth.

Una vez el elemento ha generado la secuencia de *inquiry hopping*, difunde los mensajes de *inquiry* al tiempo que cambia de forma secuencial a los canales definidos en la secuencia. Los terminales que deseen ser detectados, entrarán de forma periódica en el sub-estado de *inquiry scan* y también saltarán de acuerdo con la secuencia de *inquiry hopping*.

Si el dispositivo que realiza en *inquiry scan* recibe algún mensaje de *inquiry*, entra en el sub-estado de *inquiry response* y responde con un mensaje de *inquiry response*. Este mensaje incluye la dirección y el reloj, ambos necesarios para establecer una conexión Bluetooth.

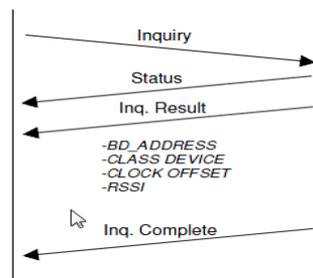


Fig. 3.2.3. Proceso de inquiry

Una vez obtenidos estos dos parámetros, el terminal local entra en el sub-estado de *paging* para establecer la conexión con el terminal remoto. En este estado, el dispositivo local genera una secuencia de salto basada en la dirección y en una estimación del reloj del dispositivo remoto. Entonces, el dispositivo envía de forma repetitiva mensajes de *page* mientras salta por la secuencia de canales generada. Si un elemento permite a otros equipos conectarse a él, entrará de forma periódica en el sub-estado de *page scan*.

Cuando el elemento esclavo recibe un paquete de *page*, este responde al máster con un paquete de respuesta de *page*. Para recibir la respuesta, el máster envía un paquete de *Frequency Hopping Synchronization (FHS)* al

esclavo que incluye su dirección y reloj. Una vez el esclavo ha recibido el paquete, manda un paquete de reconocimiento al máster, el cual genera una nueva secuencia de salto a partir de su propia dirección y su propio reloj. El esclavo usa la dirección y reloj del máster para generar la misma secuencia de salto, que le permitirá saltar a los mismos canales mientras estén conectados.

Una vez el proceso de *paging* se ha completado, los dispositivos pasan al estado conectado. El máster manda un *poll packet* al esclavo para verificar que la transición de la secuencia de *page hopping* a la nueva secuencia de salto se ha realizado correctamente. En caso de ser correcta, los dos dispositivos continúan con el *frequency hopping* en un modelo pseudo-aleatorio basado en la dirección y reloj del máster durante la conexión.

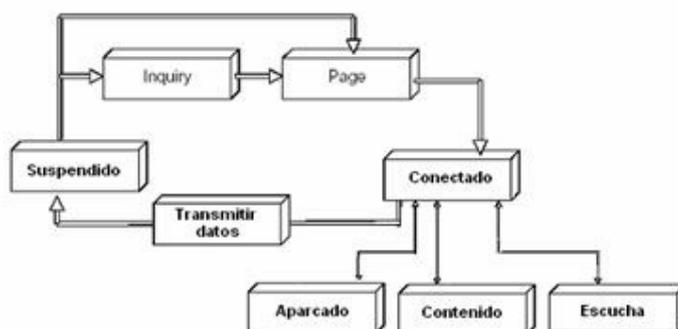


Fig. 3.2.4. Establecimiento de conexiones Bluetooth

El escaneo de dispositivo Bluetooth se puede configurar de modo estándar o entrelazado. Durante un escaneo estándar, el dispositivo escucha durante el tiempo que dura el *window time*. Por otro lado, en el modo entrelazado el escaneo se mantiene durante dos *window time*. En cada ventana de escaneo, el dispositivo sólo escucha a una frecuencia de salto. La ventana tiene que ser suficientemente largas para explorar por completo 16 frecuencias.

Además de los modos de escaneo, los dos parámetros configurables son el *window time* y *interval time*. El primero indica el tiempo durante el cual el dispositivo Bluetooth estará escaneando en busca de otros dispositivos y el segundo parámetro se define como el intervalo entre el principio de dos escaneos consecutivos, que tiene que ser igual o mayor al *window time*.

Para el estudio, se ha dejado el *window time* fijo con un valor de 18 (11,25ms) y se ha variado el *interval time* entre 64 (40ms), 512 (320ms) y 4096 (2,56s).

```
# hciconfig -a <hci> <mode> 18 :<int>
```

Donde:

- <hci> es el dispositivo Bluetooth.
- <mode> indica el modo de escaneo que se quiere configurar y puede ser *inquiry* o *page*.

- <int> indica el valor del intervalo entre escaneos.

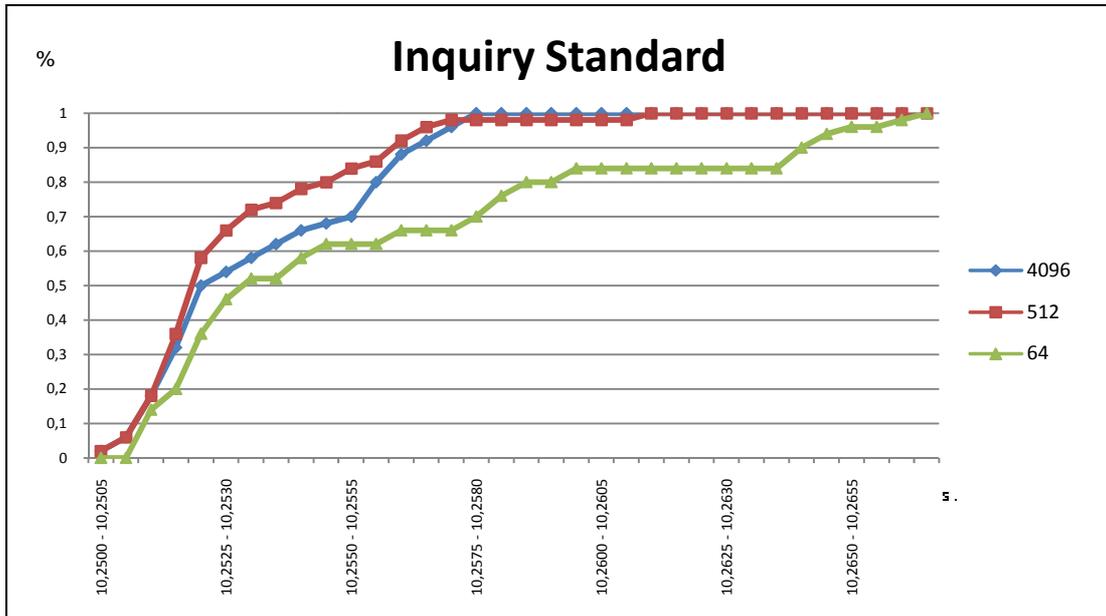


Fig. 3.2.5. Tiempo de conexión Inquiry Standard

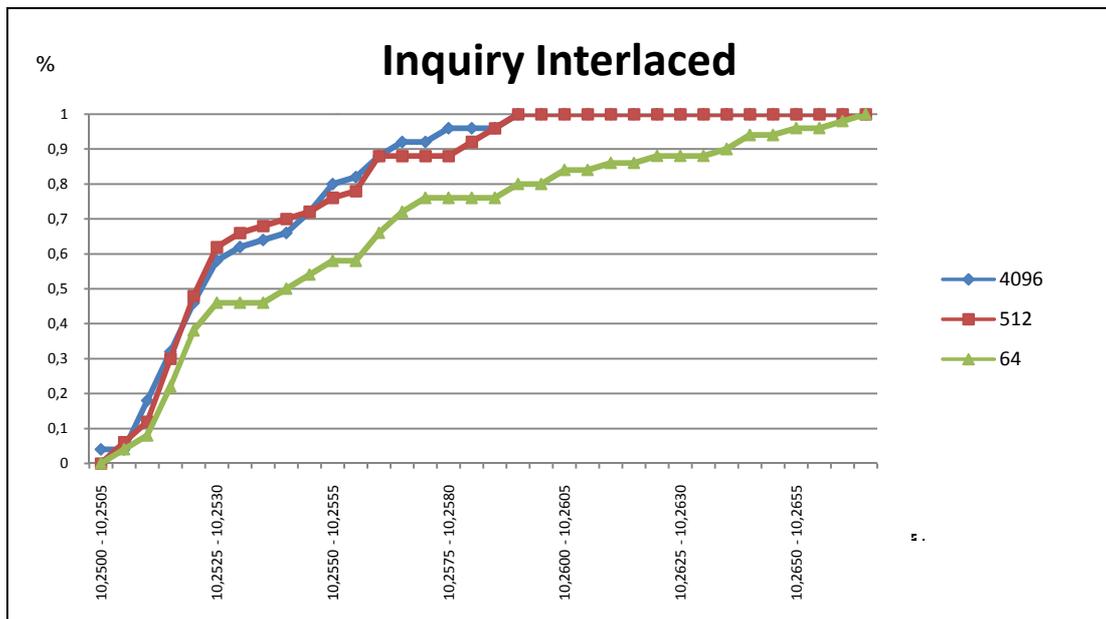


Fig. 3.2.6. Tiempo de conexión Inquiry Interlaced

Como se observa en las gráficas anteriores, en el proceso de inquiry, la diferencia entre el modo estándar y el modo interlaced no difieren mucho en lo que a tiempo de conexión se refiere. Lo que se puede percibir es que con un tiempo de intervalo de 64 (40ms) se tarda más en conseguir conectar dos dispositivos.

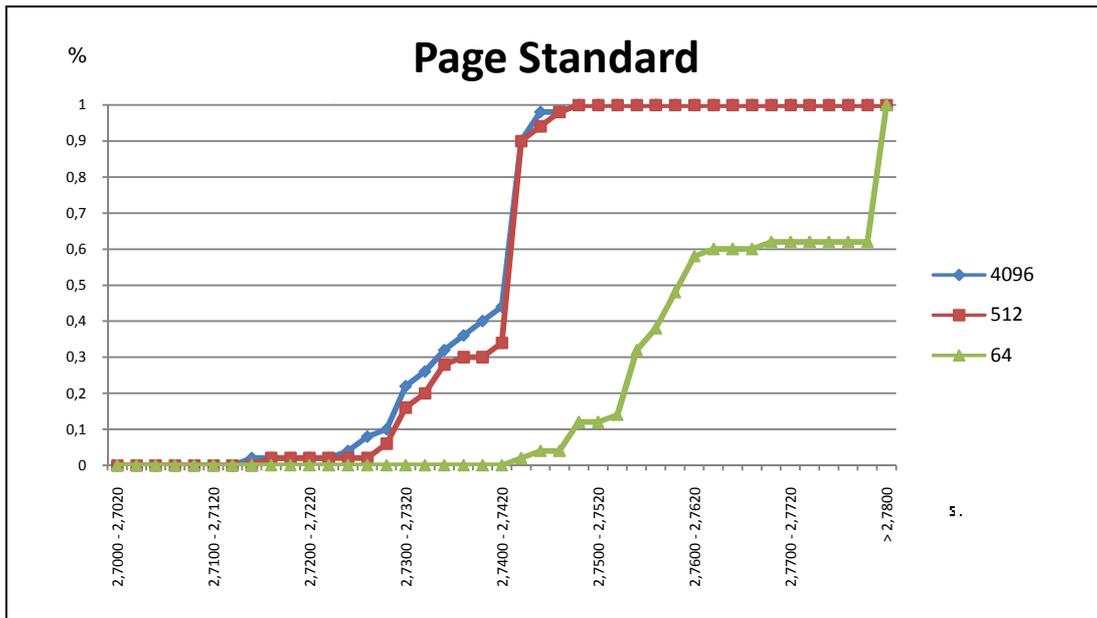


Fig. 3.2.7. Tiempo de conexión Page Standard

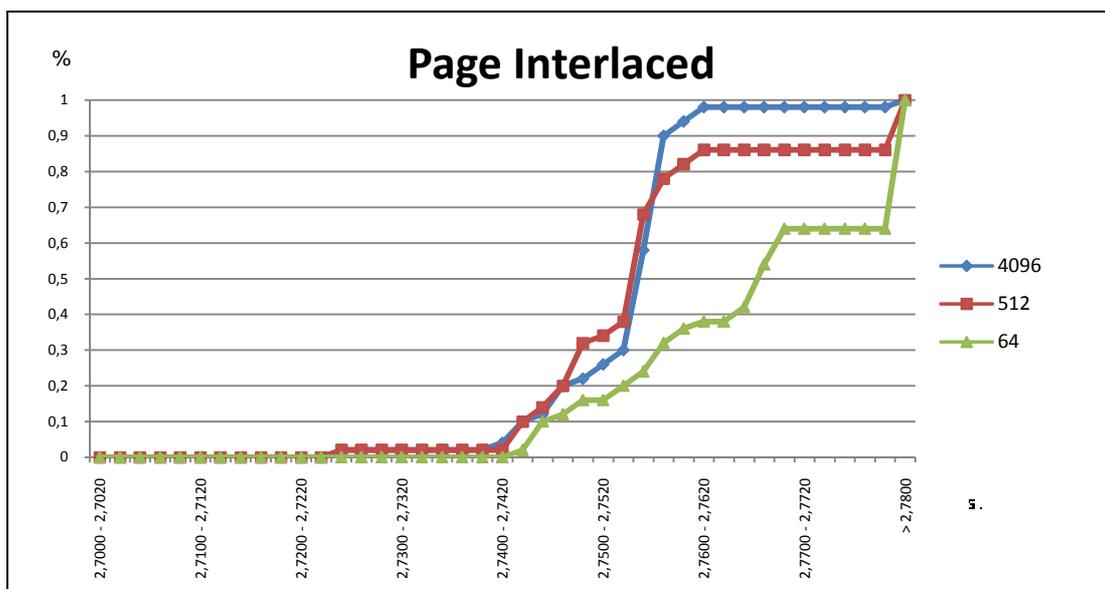


Fig. 3.2.8. Tiempo de conexión Page Interlaced

Por lo que se refiere a la conexión page, se observa que los modos estándar o entrelazado sí que difieren en lo que a tiempo de conexión se refiere. El modo entrelazado tarda unos 15ms más. En cuanto al tiempo de intervalo, al igual que en la conexión inquiry, el valor de 64 es el menos interesante ya que tarda más tiempo en conseguir conectar los dispositivos.

Por lo visto anteriormente, se configurará el dispositivo con el modo estándar y con un tiempo de intervalo de 512 (320ms).

3.2.4. Tiempo de transferencia de ficheros

En este apartado, se mostrarán los resultados del estudio realizado para medir el tiempo de transferencia de ficheros utilizando los modos descritos anteriormente. Lo que interesa de este estudio es comprobar si hay una diferencia significativa del tiempo que se tarda en mandar ficheros de diferentes tamaños utilizando un modo de conexión u otro.

Para crear archivos de distintos tamaños, se puede utilizar el siguiente comando:

```
# dd if=/dev/zero of=/home/arnau/Bluetooth/CLIENT/fichero.txt bs=X count=1
```

Donde:

- if indica el directorio del fichero de muestra.
- of indica donde se guarda el fichero creado.
- bs indica el tamaño del fichero creado en bytes.
- count indica el número de repeticiones del fichero.

Para realizar el estudio se han creado ficheros de 1, 10, 100, 1000 y 10000 bytes. Además, se han transmitido los ficheros 300 veces para poder hacer un estudio medio del tiempo que se tarda en transmitirlos en los dos modos.

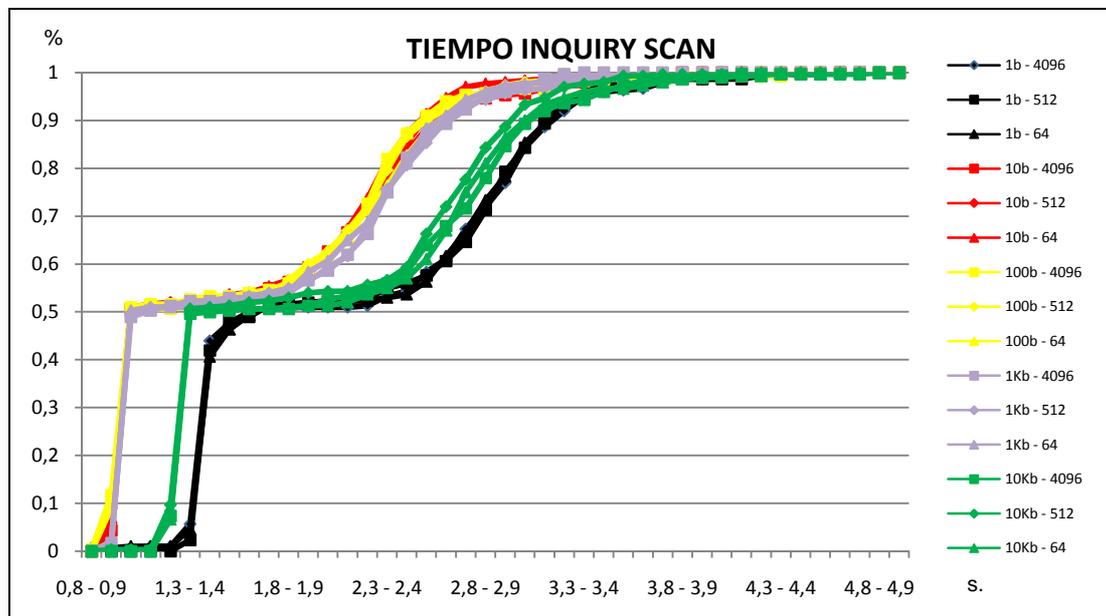


Fig. 3.2.9. Gráfica acumulativa modo inquiry

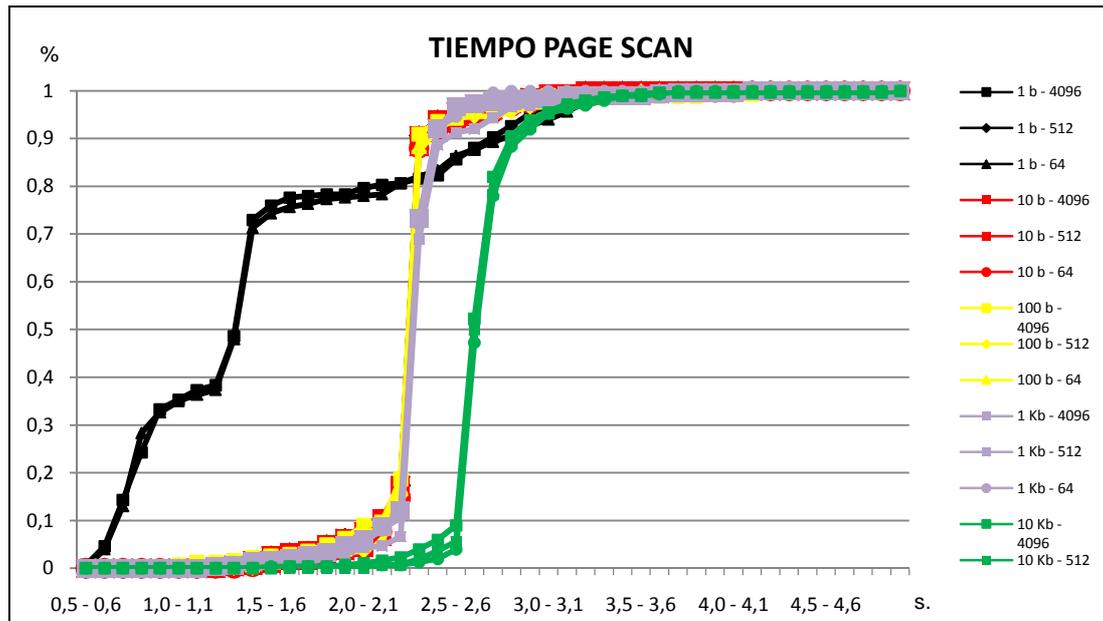


Fig. 3.2.10. Gráfica acumulativa modo page

Como puede verse en las gráficas anteriores, los diferentes parámetros de intervalo no afectan al tiempo de transmisión de ficheros, ya sea al hacer un inquiry o al hacer un page. El método de inquiry necesita unos 3,5 segundos para mandar los archivos y el método de page unos 3. Se puede concluir que al hacer un inquiry se necesita más tiempo ya que el dispositivo receptor tiene que mandar una información de la que ya dispone cuando realizas un page.

3.3. Cobertura

El segundo estudio con pruebas de campo ha sido el estudio de cobertura de los dispositivos Bluetooth. Esta prueba se ha realizado situando un dispositivo en un punto elevado y el segundo en un vehículo para conocer su alcance.

3.3.1. RSSI

RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) es un indicador del nivel de potencia que se obtiene en el receptor. Este indicador sirve para conocer el nivel de cobertura que tienen los dispositivos, como por ejemplo existe en los teléfonos móviles. Como es obvio, se recibirá más potencia cuanto mayor sea el RSSI. Este sistema elimina la necesidad de hardware adicional en los dispositivos inalámbricos de pequeño tamaño y exhibe unas propiedades apropiadas respecto al consumo de potencia y coste.

3.3.2. Hcidump

Hcidump es un analizador de paquetes de Linux. Lee paquetes que provienen y se dirigen a dispositivos Bluetooth e imprime por pantalla órdenes, eventos y datos de forma legible para el ser humano. El comando para su utilización es:
hcidump -X -V

3.3.3. IAC

El Código de Acceso de Búsqueda (*Inquiry Access Code*) es utilizado para procesos de búsqueda de dispositivos. Se llama *IAC* general (GIAC) cuando se quiere descubrir a otras unidades Bluetooth dentro del rango, o *IAC* dedicado (DIAC) cuando se desea descubrir unidades de un tipo específico.

Se han realizado pruebas con esta característica para realizar búsquedas concretas de dispositivos. Normalmente, el IAC de los dispositivos Bluetooth es 0x9e8b33. El primer paso de esta prueba ha sido modificar el IAC de un dispositivo con el siguiente comando:

```
# hciconfig hci0 set iac 0x9e8b34
```

A continuación, en otro dispositivo, se realiza la búsqueda de este dispositivo con el comando:

```
# hcitool -i hci0 inq --iac=0x9e8b34
```

En caso de encontrar el dispositivo, el *inquiry* nos mostrará la dirección MAC, que normalmente es el dato más interesante.

3.3.4. Alcance de los dispositivos Bluetooth

Las pruebas realizadas han consistido en situar un dispositivo Bluetooth a unos 50m de altura con un IAC determinado (0x9e8b34) y otro dispositivo dentro de un coche. El segundo dispositivo realizaba búsquedas del primero y con el analizador de paquetes *hcidump* se conocía el nivel de potencia recibido.

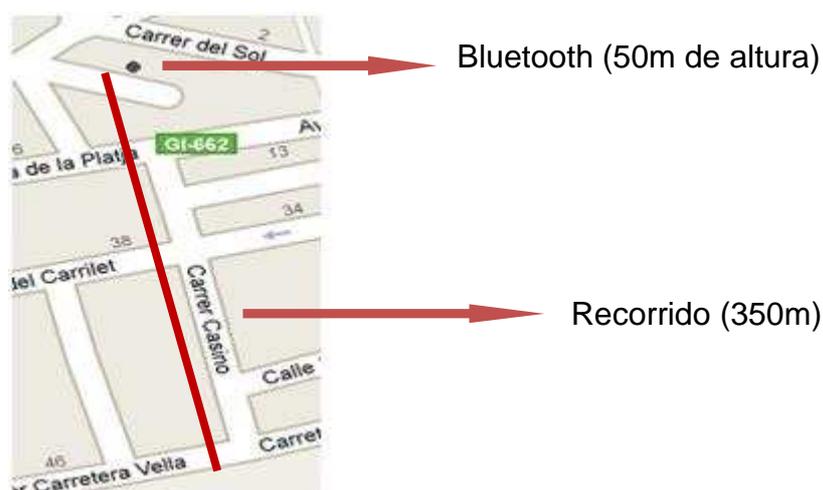


Fig. 3.3.1. Mapa de pruebas

Merece la pena comentar, que era necesaria una visión directa del dispositivo para poder realizar las pruebas. En caso contrario, no se detectaba el Bluetooth.

Para el estudio, en el dispositivo situado a 50m de altura, se le modificaba el IAC con el comando:

```
# hciconfig hci0 set iac 0x9e8b34
```

Con el dispositivo del vehículo, se realizaba una búsqueda de ese dispositivo con el comando:

```
# hcitool -i hci0 inq --iac=0x9e8b34
```

Y en otro terminal se iniciaba el hcidump.

```
# hcidump -X -V
```

El mapa de cobertura resultante es:

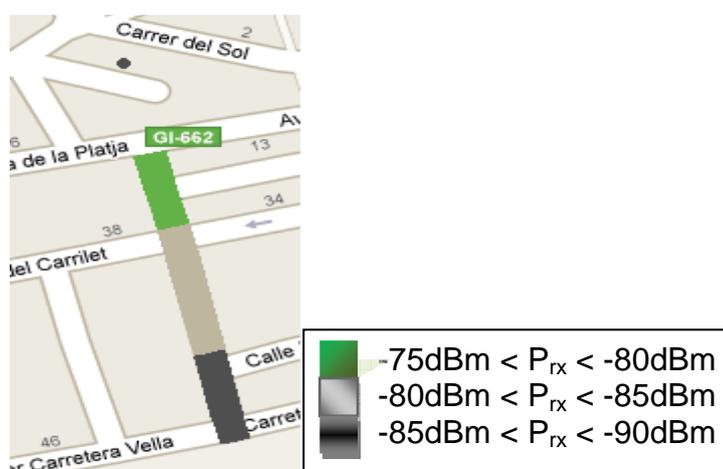


Fig. 3.3.2. Mapa de cobertura

Era importante apuntar con el dispositivo Bluetooth del vehículo al otro dispositivo para obtener mejores valores de RSSI. Como se puede comprobar por la imagen, se conseguía detectar el dispositivo a una distancia de unos 300m, pero el nivel de señal era mínimo y menos de -90dBm ya no los detectaba por lo que debe ser su sensibilidad. Para concluir, se puede decir que en esta prueba se ha alcanzado una cobertura de unos 300-350 metros, pero solo en una dirección. Si añadimos la misma distancia en dirección contraria, se podría decir que este dispositivo Bluetooth tiene un alcance de entre 600 y 700 metros. También es importante que haya una visión directa entre dispositivos para poder alcanzar estas distancias.

3.4. Conclusiones

Antes de empezar este proyecto, mi conocimiento sobre las comunicaciones V2R era nulo así como el funcionamiento de la tecnología Bluetooth o del sistema operativo Linux. Con el sistema operativo he podido realizar conexiones Bluetooth o modificar parámetros de los dispositivos, cosa que me ha sido de gran utilidad para comprender el funcionamiento de esta tecnología tan usada en todo el mundo.

Estos conocimientos que he adquirido, me han sido imprescindibles para realizar los estudios de cobertura y de transmisión de ficheros. Estos estudios tienen mucha trascendencia en las comunicaciones V2R, ya que éstas se encuentran en entornos no estacionarios donde la rapidez de conexión y transmisión de información son de vital importancia. Además, es importante que a pesar de que la tecnología Bluetooth no se distingue por su alcance, se ha conseguido recibir información a una distancia considerable.

Respecto al tiempo de conexión entre dispositivos, el modo de configuración más adecuado es el standard, al tardar menos. Por lo que al tiempo de intervalo se refiere, el más adecuado es el de 512 (320ms) por el mismo motivo. En cuanto a la transmisión de ficheros, hay que decir que el tiempo de intervalo entre escaneos no interfiere mucho en los dos modos utilizados, el inquiry y el page. Aun así, y como es normal, se tarda más en enviar datos al hacer un inquiry ya que hay mas procesos que al realizar un page. Además, es ligeramente mejor utilizar el modo estándar que el entrelazado ya que tarda menos tiempo en conectar los dispositivos Bluetooth. En cuanto a la potencia recibida, merece la pena comentar que es importante que los dispositivos tengan visión directa ya que en caso contrario, la señal se atenúa de forma importante. A pesar de esto, se llegan a distancias de más de 300 metros, lo que puede ser muy útil para el tipo de comunicaciones que se han estudiado.

Un aspecto muy importante en los TFC es un estudio del impacto medioambiental que provocan los proyectos realizados. En este caso, el sistema diseñado no sólo no contamina (aparte de la fabricación del material necesario), sino que sirve para evitar, en la medida de lo posible, la contaminación provocada por los vehículos. La información que mande el sistema puede servir para indicar a los vehículos caminos alternativos y así evitar situaciones realmente contaminantes como son las retenciones. Otro aspecto importante del sistema para evitar la contaminación será su alimentación con energía renovable, concretamente se ha instalado un panel solar.

Por otro lado, este proyecto me han hecho venir en conocimiento los Sistemas Inteligentes de Transporte, ámbito dónde se colocan las comunicaciones V2R y de gran importancia debido al papel que desempeñan para evitar los accidentes viarios y para la mejora de la eficiencia de la red de transporte. Además, he descubierto que detrás de estos sistemas existe un negocio que va al alza ya que todos los gobiernos consideran de vital importancia, como he comentado anteriormente, la mejora de la eficiencia de las vías de transporte y la reducción de la siniestralidad en las carreteras.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Remondo, D., “*Redes Ad Hoc*”, Transparencias Intensificació en Xarxes Telemàtiques, Universitat Politècnica de Catalunya, Castelldefels, 2006.
- [2] COMeSafety_European_ITS_Communication_Architecture, “*European ITS Communication Architecture Overall Framework Proof of Concept Implementation*”, München, Germany, 2010.
- [3] Ming-Fong Jhang and Wanjiun Liao, “*On Cooperative and Opportunistic Channel Access for Vehicle to Roadside (V2R) Communications*”, Department of Electrical Engineering, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, 2008.
- [4] David Quesada Pimentel, Ivan Lequerica, Asier Alonso, Juan Miguel González y Jesús Javier Rodríguez Gutiérrez, “*Transporte Inteligente de Mercancías Intermodal*”, Oviedo, 2008.
- [5] Stephan Eichler, “*Performance Evaluation of the IEEE 802.11p WAVE Communication Standard*”, Institute of Communication Networks, Technische Universität München, München.
- [6] R. A. Santos, V. Rangel Licea, L. Villaseñor y A. Edwards, “*Wireless Propagation Characteristics for Vehicular Ad-Hoc Networks in Motorway Environments*”, Department of Engineering in Telecommunications, University of Colima, México.
- [7] J.M. de Fuentes, A.I. González-Tablas, A. Ribagorda, B. Ramos, “*Protocolo de creación de evidencias en entornos vehiculares*”, Universidad Carlos III, Madrid, 2009.
- [8] Ministerio de Fomento ©, “*Los Sistemas Inteligentes de Transporte. Su aplicación a los modos terrestre, marítimo y aéreo*”, 2010.
- [9] Andy P. Schalk, “*I2V Communication Technologies to improve driving safety along motorways*”, Austria.
- [10] José Ignacio Gil Bailén, “*Bluetooth, visión general de una red inalámbrica*”, Universitat de València, 2004.
- [11] Consejería de innovación, ciencia y empresa, “*Estado del arte y tendencias generales del mercado en el ámbito de las TIC aplicadas a los Sistemas Inteligentes de Transporte*”.
- [12] Vehicular Ad-Hoc Network (VANET), <http://en.wikipedia.org/wiki/VANET>
- [13] Estándar 802.11, http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11#802.11b
- [14] Dhoutaut, D., Régis, A., Spies, F., “*Impact of Radio Propagation Models in Vehicular Ad Hoc Networks Simulations*”, Laboratoire d’Informatique de l’Université de Franche Comté, France, 2006.

ANEXO A: IMÁGENES DEL SISTEMA

A continuación se mostraran imágenes del sistema diseñado:

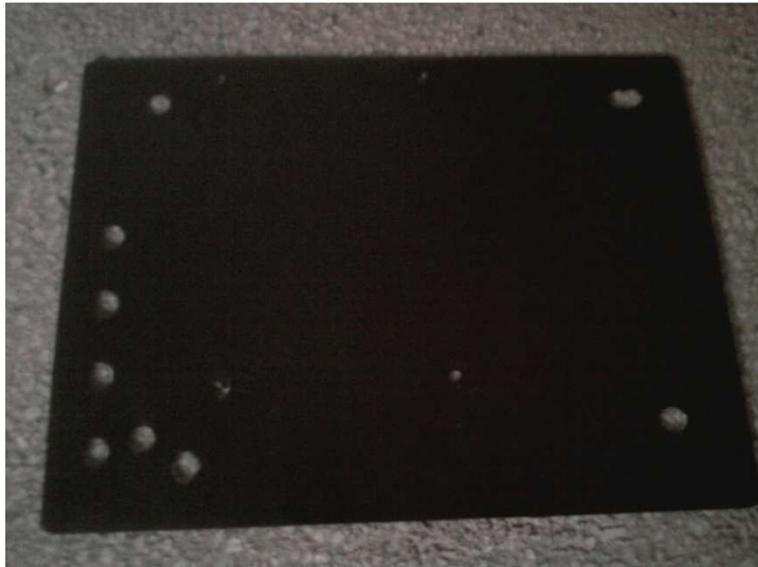


Fig. A.1. Placa de montaje

En esta placa metálica montaremos los elementos del sistema de comunicaciones. Esta placa se ha agujereado para poder instalar los elementos del sistema. Además, se ha lijado y se ha pintado para tener una buena presentación.



Fig. A.2. Panel solar

Esta placa solar se encargará de alimentar el sistema de comunicaciones V2R.



Fig. A.3. Sistema de comunicaciones V2R

Imagen del sistema de comunicaciones diseñado. En la placa metálica se han instalado los elementos que forman el sistema. Éste está compuesto por la batería que se carga a través del panel solar, el dispositivo Bluetooth instalado en un hub USB y un sistema que alimenta a ambos elementos.

En este prototipo no se ha instalado ningún ordenador, pero para próximos prototipos sería el siguiente paso, ya que de esta forma se podría reconfigurar el dispositivo Bluetooth para dotarlo de más capacidades a través de internet.

ANEXO B: SCRIPTS

A lo largo del trabajo, se han utilizado varios scripts para agilizar el proceso de captura de datos. A continuación se muestran los utilizados.

B.1. Conexión de dispositivos

- INQUIRY

```
#!/bin/bash
sudo hciconfig hci0 up #ACTIVAMOS EL DISPOSITIVO
INT=4096 #TIEMPO DE INTERVALO
REP=1 #NUMERO DE REPETICIÓN
sudo hciconfig -a hci0 iscan #MODO DE ESCANEEO INQUIRY
sudo hcitool cmd 0x03 0x0047 0x00 #PERMITE EL ESCANEEO EN MODO
STANDARD. PARA EL MODO INTERLACED TERMINARÍA EN 0x01

while [ $REP -le 50 ]
do
    INT=4096
    sudo hciconfig -a hci0 inqparms 18:$INT #CONFIGURACIÓN DE
    PARÁMETROS
    while [ $INT -ge 64 ]
    do
        date +%s.%N >> tiempo.txt; hcitool -i hci0 inq --
        iac=0x9e8b34; date +%s.%N >> tiempo.txt #CÁLCULO DEL TIEMPO
        DEL PROCESO
        sleep 3
        INT=$(( $INT / 8 )) #DISMINUIMOS EL TIEMPO DE INTERVALO
    done
    REP=$(( $REP + 1 )) #SE AUMENTA EL NÚMERO DE REPETICIÓN
done
```

- PAGE

```
#!/bin/bash
sudo hciconfig hci0 up #ACTIVAMOS EL DISPOSITIVO
INT=4096 #TIEMPO DE INTERVALO
REP=1 #NUMERO DE REPETICIÓN
sudo hciconfig -a hci0 pscan MODO DE ESCANEEO SCAN
sudo hcitool cmd 0x03 0x0047 0x00 #PERMITE EL ESCANEEO EN MODO
STANDARD. PARA EL MODO INTERLACED TERMINARÍA EN 0x01

while [ $REP -le 50 ]
do
    INT=4096
    sudo hciconfig -a hci0 pageparms 18:$INT #CONFIGURACIÓN DE
    PARÁMETROS
    date +%s.%N >> TiempoPage.txt; hcitool -i hci0 name
    00:09:DD:50:2C:51 ; date +%s.%N >> TiempoPage.txt #CÁLCULO
    DEL TIEMPO DEL PROCESO
    sleep 20
    REP=$(( $REP + 1 )) #SE AUMENTA EL NÚMERO DE REPETICIÓN
done
```

B.2. Tiempo de transmisión de ficheros

```
#!/bin/bash
sudo hciconfig hci0 up # ACTIVAMOS EL DISPOSITIVO
INT=4096
REP=150
sudo hciconfig -a hci0 iscan #PERMITE EL ESCANEADO EN MODO INQUIRY.
pscan PARA EL MODO PAGE.

sudo hcitool cmd 0x03 0x0047 0x01 # MODO INTERLACED

#ACTIVAMOS EL MODO DE RECEPCION DE FICHEROS, RECIBIMOS UN FICHERO,
ESPERAMOS 3 SEGUNDOS Y MANDAMOS OTRO FICHERO. PONEMOS VAR A 1 PARA
SALIR DEL BUCLE

while [ $REP -le 300 ]
do
    INT=4096
    sudo hciconfig -a hci0 pageparms 18:$INT # PARA EL MODO
INQUIRY inqparms

    while [ $INT -ge 64 ]
    do

#SE CREA UN FICHERO DE 1B Y SE ENVIA AL SERVER
dd if=/dev/zero
of=/home/arnau/Escriptori/Bluetooth_v2/CLIENT_MEDIDAS_TIEMPO_
SCAN/fichero_1b.txt bs=1 count=1

date +%s.%N >> tiempo.txt; obexftp -b 00:09:DD:50:2C:51 -p
/home/arnau/Escriptori/Bluetooth_v2/CLIENT_MEDIDAS_TIEMPO_SCA
N/fichero_1b.txt; date +%s.%N >> tiempo.txt

sleep 3

##SE CREA UN FICHERO DE 10B Y SE ENVIA AL SERVER
dd if=/dev/zero
of=/home/arnau/Escriptori/Bluetooth_v2/CLIENT_MEDIDAS_TIEMPO_
SCAN/fichero_10b.txt bs=10 count=1

echo "10 b / $INT / $REP" >> tiempo.txt
date +%s.%N >> tiempo.txt; obexftp -b 00:09:DD:50:2C:51 -p
/home/arnau/Escriptori/Bluetooth_v2/CLIENT_MEDIDAS_TIEMPO_SCA
N/fichero_10b.txt; date +%s.%N >> tiempo.txt

sleep 3

#SE CREA UN FICHERO DE 100B Y SE ENVIA AL SERVER
dd if=/dev/zero
of=/home/arnau/Escriptori/Bluetooth_v2/CLIENT_MEDIDAS_TIEMPO_
SCAN/fichero_100b.txt bs=100 count=1

echo "100 b / $INT / $REP" >> tiempo.txt
date +%s.%N >> tiempo.txt; obexftp -b 00:09:DD:50:2C:51 -p
/home/arnau/Escriptori/Bluetooth_v2/CLIENT_MEDIDAS_TIEMPO_SCA
N/fichero_100b.txt; date +%s.%N >> tiempo.txt

sleep 3
```

```

#SE CREA UN FICHERO DE 1KB Y SE ENVIA AL SERVER
dd if=/dev/zero
of=/home/arnau/Escriptori/Bluetooth_v2/CLIENT_MEDIDAS_TIEMPO_
SCAN/fichero_1Kb.txt bs=1024 count=1

echo "1 Kb / $INT / $REP" >> tiempo.txt
date +%s.%N >> tiempo.txt; obexftp -b 00:09:DD:50:2C:51 -p
/home/arnau/Escriptori/Bluetooth_v2/CLIENT_MEDIDAS_TIEMPO_SCA
N/fichero_1Kb.txt; date +%s.%N >> tiempo.txt

sleep 3

#SE CREA UN FICHERO DE 10KB Y SE ENVIA AL SERVER
dd if=/dev/zero
of=/home/arnau/Escriptori/Bluetooth_v2/CLIENT_MEDIDAS_TIEMPO_
SCAN/fichero_10Kb.txt bs=10240 count=1

echo "10 Kb / $INT / $REP" >> tiempo.txt
date +%s.%N >> tiempo.txt; obexftp -b 00:09:DD:50:2C:51 -p
/home/arnau/Escriptori/Bluetooth_v2/CLIENT_MEDIDAS_TIEMPO_SCA
N/fichero_10Kb.txt; date +%s.%N >> tiempo.txt

sleep 3

INT=$(( $INT/8 ))
done
REP=$(( $REP+1 ))
done

```

B.3. Configuración del dispositivo

El dispositivo instalado en el *RSU* se configurará de la siguiente manera:

```

sudo hciconfig hci0 up # SE ACTIVA EL DISPOSITIVO
sudo hciconfig hci0 piscan # SE ACTIVA EL MODO PAGE E INQUIRY

sudo hciconfig hci0 name
Estado_del_trafico:_Atasco_en_Ronda_de_Dalt_Recomendacion:_Ronda_Litor
al # SE CONFIGURA EL NOMBRE DEL DISPOSITIVO

sudo hciconfig -a hci0 set iac 0x9e8b34 # SE CONFIGURA EL CÓDIGO DE
ACCESO

```

El dispositivo del vehículo sólo tendría que buscar el dispositivo con el siguiente comando:

```

sudo hcitool -i hci1 scan --flush --refresh --numrsp=1 --iac=0x9e8b34

```

ANEXO C: TABLAS DE RESULTADOS Y OTRAS GRÁFICAS

A continuación se mostrarán las tablas utilizadas para realizar las gráficas mostradas en el trabajo.

C.1. Conexión de dispositivos

INQ STANDARD	4096	ACUM	%	512	ACUM	%	64	ACUM	%
10,2500 - 10,2505	2	2	0,04	0	0	0	0	0	0
10,2505 - 10,2510	0	2	0,04	3	3	0,06	2	2	0,04
10,2510 - 10,2515	7	9	0,18	3	6	0,12	2	4	0,08
10,2515 - 10,2520	7	16	0,32	9	15	0,3	7	11	0,22
10,2520 - 10,2525	7	23	0,46	9	24	0,48	8	19	0,38
10,2525 - 10,2530	6	29	0,58	7	31	0,62	4	23	0,46
10,2530 - 10,2535	2	31	0,62	2	33	0,66	0	23	0,46
10,2535 - 10,2540	1	32	0,64	1	34	0,68	0	23	0,46
10,2540 - 10,2545	1	33	0,66	1	35	0,7	2	25	0,5
10,2545 - 10,2550	3	36	0,72	1	36	0,72	2	27	0,54
10,2550 - 10,2555	4	40	0,8	2	38	0,76	2	29	0,58
10,2555 - 10,2560	1	41	0,82	1	39	0,78	0	29	0,58
10,2560 - 10,2565	3	44	0,88	5	44	0,88	4	33	0,66
10,2565 - 10,2570	2	46	0,92	0	44	0,88	3	36	0,72
10,2570 - 10,2575	0	46	0,92	0	44	0,88	2	38	0,76
10,2575 - 10,2580	2	48	0,96	0	44	0,88	0	38	0,76
10,2580 - 10,2585	0	48	0,96	2	46	0,92	0	38	0,76
10,2585 - 10,2590	0	48	0,96	2	48	0,96	0	38	0,76
10,2590 - 10,2595	2	50	1	2	50	1	2	40	0,8
10,2595 - 10,2600	0	50	1	0	50	1	0	40	0,8
10,2600 - 10,2605	0	50	1	0	50	1	2	42	0,84
10,2605 - 10,2610	0	50	1	0	50	1	0	42	0,84
10,2610 - 10,2615	0	50	1	0	50	1	1	43	0,86
10,2615 - 10,2620	0	50	1	0	50	1	0	43	0,86
10,2620 - 10,2625	0	50	1	0	50	1	1	44	0,88
10,2625 - 10,2630	0	50	1	0	50	1	0	44	0,88
10,2630 - 10,2635	0	50	1	0	50	1	0	44	0,88
10,2635 - 10,2640	0	50	1	0	50	1	1	45	0,9
10,2640 - 10,2645	0	50	1	0	50	1	2	47	0,94
10,2645 - 10,2650	0	50	1	0	50	1	0	47	0,94
10,2650 - 10,2655	0	50	1	0	50	1	1	48	0,96
10,2655 - 10,2660	0	50	1	0	50	1	0	48	0,96
10,2660 - 10,2665	0	50	1	0	50	1	1	49	0,98
10,2665 - 10,2670	0	50	1	0	50	1	1	50	1

Tabla. C.1. Tiempo de conexión Inquiry Standard

INQ INTERLACED	4096	ACUM	%	512	ACUM	%	64	ACUM	%
10,2500 - 10,2505	1	1	0,02	1	1	0,02	0	0	0
10,2505 - 10,2510	2	3	0,06	2	3	0,06	0	0	0
10,2510 - 10,2515	6	9	0,18	6	9	0,18	7	7	0,14
10,2515 - 10,2520	7	16	0,32	9	18	0,36	3	10	0,2

10,2520 - 10,2525	9	25	0,5	11	29	0,58	8	18	0,36
10,2525 - 10,2530	2	27	0,54	4	33	0,66	5	23	0,46
10,2530 - 10,2535	2	29	0,58	3	36	0,72	3	26	0,52
10,2535 - 10,2540	2	31	0,62	1	37	0,74	0	26	0,52
10,2540 - 10,2545	2	33	0,66	2	39	0,78	3	29	0,58
10,2545 - 10,2550	1	34	0,68	1	40	0,8	2	31	0,62
10,2550 - 10,2555	1	35	0,7	2	42	0,84	0	31	0,62
10,2555 - 10,2560	5	40	0,8	1	43	0,86	0	31	0,62
10,2560 - 10,2565	4	44	0,88	3	46	0,92	2	33	0,66
10,2565 - 10,2570	2	46	0,92	2	48	0,96	0	33	0,66
10,2570 - 10,2575	2	48	0,96	1	49	0,98	0	33	0,66
10,2575 - 10,2580	2	50	1	0	49	0,98	2	35	0,7
10,2580 - 10,2585	0	50	1	0	49	0,98	3	38	0,76
10,2585 - 10,2590	0	50	1	0	49	0,98	2	40	0,8
10,2590 - 10,2595	0	50	1	0	49	0,98	0	40	0,8
10,2595 - 10,2600	0	50	1	0	49	0,98	2	42	0,84
10,2600 - 10,2605	0	50	1	0	49	0,98	0	42	0,84
10,2605 - 10,2610	0	50	1	0	49	0,98	0	42	0,84
10,2610 - 10,2615	0	50	1	1	50	1	0	42	0,84
10,2615 - 10,2620	0	50	1	0	50	1	0	42	0,84
10,2620 - 10,2625	0	50	1	0	50	1	0	42	0,84
10,2625 - 10,2630	0	50	1	0	50	1	0	42	0,84
10,2630 - 10,2635	0	50	1	0	50	1	0	42	0,84
10,2635 - 10,2640	0	50	1	0	50	1	0	42	0,84
10,2640 - 10,2645	0	50	1	0	50	1	3	45	0,9
10,2645 - 10,2650	0	50	1	0	50	1	2	47	0,94
10,2650 - 10,2655	0	50	1	0	50	1	1	48	0,96
10,2655 - 10,2660	0	50	1	0	50	1	0	48	0,96
10,2660 - 10,2665	0	50	1	0	50	1	1	49	0,98
10,2665 - 10,2670	0	50	1	0	50	1	1	50	1

Tabla. C.2. Tiempo de conexión Inquiry Interlaced

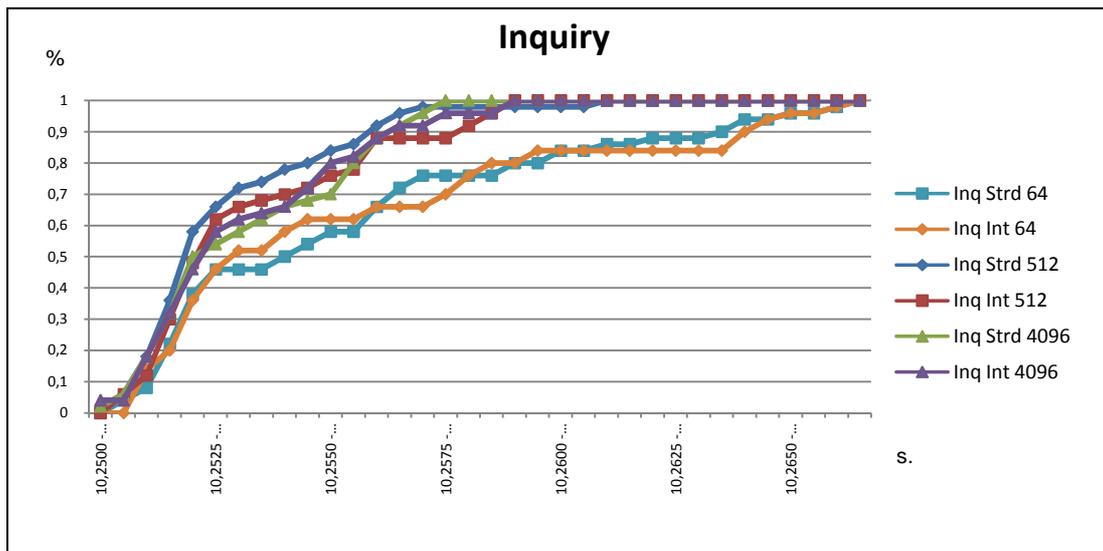


Fig. C.1. Tiempo de conexión Inquiry

2,7100 - 2,7120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,7120 - 2,7140	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,7140 - 2,7160	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,7160 - 2,7180	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,7180 - 2,7200	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,7200 - 2,7220	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,7220 - 2,7240	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,7240 - 2,7260	1	1	0,02	1	1	0,02	0	0	0
2,7260 - 2,7280	0	1	0,02	0	1	0,02	0	0	0
2,7280 - 2,7300	0	1	0,02	0	1	0,02	0	0	0
2,7300 - 2,7320	0	1	0,02	0	1	0,02	0	0	0
2,7320 - 2,7340	0	1	0,02	0	1	0,02	0	0	0
2,7340 - 2,7360	0	1	0,02	0	1	0,02	0	0	0
2,7360 - 2,7380	0	1	0,02	0	1	0,02	0	0	0
2,7380 - 2,7400	0	1	0,02	0	1	0,02	0	0	0
2,7400 - 2,7420	1	2	0,04	0	1	0,02	0	0	0
2,7420 - 2,7440	3	5	0,1	4	5	0,1	1	1	0,02
2,7440 - 2,7460	1	6	0,12	2	7	0,14	4	5	0,1
2,7460 - 2,7480	4	10	0,2	3	10	0,2	1	6	0,12
2,7480 - 2,7500	1	11	0,22	6	16	0,32	2	8	0,16
2,7500 - 2,7520	2	13	0,26	1	17	0,34	0	8	0,16
2,7520 - 2,7540	2	15	0,3	2	19	0,38	2	10	0,2
2,7540 - 2,7560	14	29	0,58	15	34	0,68	2	12	0,24
2,7560 - 2,7580	16	45	0,9	5	39	0,78	4	16	0,32
2,7580 - 2,7600	2	47	0,94	2	41	0,82	2	18	0,36
2,7600 - 2,7620	2	49	0,98	2	43	0,86	1	19	0,38
2,7620 - 2,7640	0	49	0,98	0	43	0,86	0	19	0,38
2,7640 - 2,7660	0	49	0,98	0	43	0,86	2	21	0,42
2,7660 - 2,7680	0	49	0,98	0	43	0,86	6	27	0,54
2,7680 - 2,7700	0	49	0,98	0	43	0,86	5	32	0,64
2,7700 - 2,7720	0	49	0,98	0	43	0,86	0	32	0,64
2,7720 - 2,7740	0	49	0,98	0	43	0,86	0	32	0,64
2,7740 - 2,7760	0	49	0,98	0	43	0,86	0	32	0,64
2,7760 - 2,7780	0	49	0,98	0	43	0,86	0	32	0,64
2,7780 - 2,7800	0	49	0,98	0	43	0,86	0	32	0,64
> 2,7800	1	50	1	7	50	1	18	50	1

Tabla. C.4. Tiempo de conexión Page Interlaced

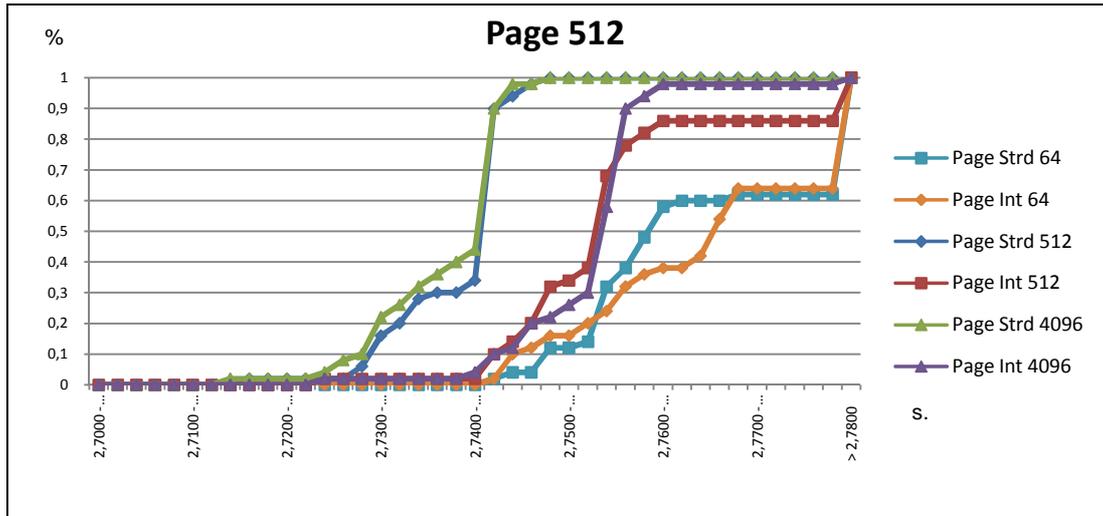


Fig. C.2. Tiempo de conexión Page

C.2. Tiempo de transmisión de ficheros

INQ 4096	1b	ACUM	10b	ACUM	100b	ACUM	1Kb	ACUM	10Kb	ACUM
0,8 - 0,9	1	0,0033	0	0,0000	1	0,0033	0	0,0000	0	0,0000
0,9 - 1,0	1	0,0033	13	0,0433	35	0,1167	5	0,0167	0	0,0000
1,0 - 1,1	2	0,0067	152	0,5067	153	0,5100	147	0,4900	0	0,0000
1,1 - 1,2	3	0,0100	153	0,5100	155	0,5167	151	0,5033	0	0,0000
1,2 - 1,3	3	0,0100	153	0,5100	155	0,5167	154	0,5133	22	0,0733
1,3 - 1,4	17	0,0567	155	0,5167	158	0,5267	157	0,5233	149	0,4967
1,4 - 1,5	132	0,4400	156	0,5200	160	0,5333	157	0,5233	150	0,5000
1,5 - 1,6	143	0,4767	156	0,5200	160	0,5333	159	0,5300	151	0,5033
1,6 - 1,7	150	0,5000	157	0,5233	162	0,5400	159	0,5300	152	0,5067
1,7 - 1,8	153	0,5100	165	0,5500	164	0,5467	160	0,5333	152	0,5067
1,8 - 1,9	153	0,5100	169	0,5633	168	0,5600	162	0,5400	152	0,5067
1,9 - 2,0	153	0,5100	178	0,5933	175	0,5833	170	0,5667	154	0,5133
2,0 - 2,1	153	0,5100	188	0,6267	185	0,6167	176	0,5867	158	0,5267
2,1 - 2,2	153	0,5100	200	0,6667	195	0,6500	186	0,6200	160	0,5333
2,2 - 2,3	154	0,5133	214	0,7133	218	0,7267	199	0,6633	163	0,5433
2,3 - 2,4	160	0,5333	237	0,7900	246	0,8200	225	0,7500	168	0,5600
2,4 - 2,5	163	0,5433	256	0,8533	262	0,8733	247	0,8233	175	0,5833
2,5 - 2,6	175	0,5833	272	0,9067	273	0,9100	262	0,8733	192	0,6400
2,6 - 2,7	183	0,6100	278	0,9267	282	0,9400	268	0,8933	204	0,6800
2,7 - 2,8	202	0,6733	281	0,9367	286	0,9533	277	0,9233	215	0,7167
2,8 - 2,9	216	0,7200	284	0,9467	287	0,9567	285	0,9500	234	0,7800
2,9 - 3,0	231	0,7700	286	0,9533	289	0,9633	288	0,9600	254	0,8467
3,0 - 3,1	253	0,8433	287	0,9567	290	0,9667	291	0,9700	268	0,8933
3,1 - 3,2	266	0,8867	290	0,9667	290	0,9667	296	0,9867	276	0,9200
3,2 - 3,3	276	0,9200	294	0,9800	293	0,9767	299	0,9967	281	0,9367
3,3 - 3,4	285	0,9500	296	0,9867	295	0,9833	300	1,0000	283	0,9433
3,4 - 3,5	288	0,9600	296	0,9867	296	0,9867	300	1,0000	288	0,9600
3,5 - 3,6	289	0,9633	296	0,9867	297	0,9900	300	1,0000	292	0,9733
3,6 - 3,7	290	0,9667	297	0,9900	299	0,9967	300	1,0000	295	0,9833
3,7 - 3,8	294	0,9800	298	0,9933	299	0,9967	300	1,0000	296	0,9867
3,8 - 3,9	296	0,9867	300	1,0000	299	0,9967	300	1,0000	296	0,9867

3,9 - 4,0	296	0,9867	300	1,0000	299	0,9967	300	1,0000	297	0,9900
4,0 - 4,1	296	0,9867	300	1,0000	299	0,9967	300	1,0000	298	0,9933
4,1 - 4,2	297	0,9900	300	1,0000	299	0,9967	300	1,0000	299	0,9967
4,2 - 4,3	298	0,9933	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	299	0,9967
4,3 - 4,4	298	0,9933	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	299	0,9967
4,4 - 4,5	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	299	0,9967
4,5 - 4,6	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	299	0,9967
4,6 - 4,7	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	299	0,9967
4,7 - 4,8	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	299	0,9967
4,8 - 4,9	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,9 - 5,0	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000

Tabla. C.5. Tiempo de transmisión Inquiry 4096

INQ 512	1b	ACUM	10b	ACUM	100b	ACUM	1Kb	ACUM	10Kb	ACUM
0,8 - 0,9	0	0,0000	0	0,0000	1	0,0033	0	0,0000	0	0,0000
0,9 - 1,0	0	0,0000	27	0,0900	32	0,1067	6	0,0200	1	0,0033
1,0 - 1,1	0	0,0000	153	0,5100	153	0,5100	148	0,4933	1	0,0033
1,1 - 1,2	0	0,0000	155	0,5167	153	0,5100	153	0,5100	1	0,0033
1,2 - 1,3	0	0,0000	156	0,5200	153	0,5100	153	0,5100	29	0,0967
1,3 - 1,4	7	0,0233	156	0,5200	154	0,5133	153	0,5100	152	0,5067
1,4 - 1,5	126	0,4200	156	0,5200	156	0,5200	154	0,5133	153	0,5100
1,5 - 1,6	145	0,4833	157	0,5233	158	0,5267	156	0,5200	154	0,5133
1,6 - 1,7	147	0,4900	159	0,5300	160	0,5333	160	0,5333	156	0,5200
1,7 - 1,8	154	0,5133	160	0,5333	160	0,5333	162	0,5400	157	0,5233
1,8 - 1,9	155	0,5167	167	0,5567	170	0,5667	165	0,5500	159	0,5300
1,9 - 2,0	156	0,5200	173	0,5767	180	0,6000	169	0,5633	162	0,5400
2,0 - 2,1	157	0,5233	187	0,6233	188	0,6267	178	0,5933	163	0,5433
2,1 - 2,2	157	0,5233	200	0,6667	201	0,6700	185	0,6167	163	0,5433
2,2 - 2,3	158	0,5267	216	0,7200	216	0,7200	203	0,6767	167	0,5567
2,3 - 2,4	165	0,5500	236	0,7867	239	0,7967	227	0,7567	170	0,5667
2,4 - 2,5	168	0,5600	250	0,8333	260	0,8667	242	0,8067	178	0,5933
2,5 - 2,6	173	0,5767	265	0,8833	270	0,9000	256	0,8533	199	0,6633
2,6 - 2,7	182	0,6067	276	0,9200	277	0,9233	270	0,9000	216	0,7200
2,7 - 2,8	194	0,6467	284	0,9467	285	0,9500	280	0,9333	233	0,7767
2,8 - 2,9	214	0,7133	287	0,9567	288	0,9600	283	0,9433	253	0,8433
2,9 - 3,0	238	0,7933	288	0,9600	292	0,9733	287	0,9567	266	0,8867
3,0 - 3,1	253	0,8433	290	0,9667	294	0,9800	289	0,9633	280	0,9333
3,1 - 3,2	269	0,8967	290	0,9667	295	0,9833	290	0,9667	284	0,9467
3,2 - 3,3	281	0,9367	292	0,9733	296	0,9867	292	0,9733	291	0,9700
3,3 - 3,4	285	0,9500	292	0,9733	296	0,9867	294	0,9800	293	0,9767
3,4 - 3,5	290	0,9667	296	0,9867	297	0,9900	296	0,9867	294	0,9800
3,5 - 3,6	293	0,9767	297	0,9900	297	0,9900	297	0,9900	298	0,9933
3,6 - 3,7	294	0,9800	297	0,9900	299	0,9967	299	0,9967	298	0,9933
3,7 - 3,8	296	0,9867	299	0,9967	299	0,9967	299	0,9967	299	0,9967
3,8 - 3,9	296	0,9867	299	0,9967	299	0,9967	299	0,9967	299	0,9967
3,9 - 4,0	296	0,9867	300	1,0000	300	1,0000	299	0,9967	299	0,9967
4,0 - 4,1	296	0,9867	300	1,0000	300	1,0000	299	0,9967	299	0,9967
4,1 - 4,2	296	0,9867	300	1,0000	300	1,0000	299	0,9967	300	1,0000
4,2 - 4,3	298	0,9933	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,3 - 4,4	299	0,9967	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,4 - 4,5	299	0,9967	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,5 - 4,6	299	0,9967	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000

4,6 - 4,7	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,7 - 4,8	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,8 - 4,9	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,9 - 5,0	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000

Tabla. C.6. Tiempo de transmisión Inquiry 512

INQ 64	1b	ACUM	10b	ACUM	100b	ACUM	1Kb	ACUM	10Kb	ACUM
0,8 - 0,9	2	0,0067	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
0,9 - 1,0	2	0,0067	21	0,0700	27	0,0900	4	0,0133	0	0,0000
1,0 - 1,1	3	0,0100	153	0,5100	151	0,5033	151	0,5033	0	0,0000
1,1 - 1,2	3	0,0100	154	0,5133	152	0,5067	153	0,5100	0	0,0000
1,2 - 1,3	3	0,0100	154	0,5133	152	0,5067	153	0,5100	20	0,0667
1,3 - 1,4	14	0,0467	155	0,5167	153	0,5100	153	0,5100	152	0,5067
1,4 - 1,5	122	0,4067	155	0,5167	153	0,5100	154	0,5133	152	0,5067
1,5 - 1,6	139	0,4633	161	0,5367	155	0,5167	154	0,5133	152	0,5067
1,6 - 1,7	148	0,4933	162	0,5400	157	0,5233	156	0,5200	152	0,5067
1,7 - 1,8	154	0,5133	166	0,5533	161	0,5367	159	0,5300	152	0,5067
1,8 - 1,9	154	0,5133	170	0,5667	167	0,5567	163	0,5433	153	0,5100
1,9 - 2,0	154	0,5133	177	0,5900	174	0,5800	175	0,5833	154	0,5133
2,0 - 2,1	154	0,5133	186	0,6200	186	0,6200	182	0,6067	154	0,5133
2,1 - 2,2	157	0,5233	202	0,6733	197	0,6567	195	0,6500	156	0,5200
2,2 - 2,3	157	0,5233	221	0,7367	214	0,7133	206	0,6867	161	0,5367
2,3 - 2,4	159	0,5300	245	0,8167	229	0,7633	226	0,7533	165	0,5500
2,4 - 2,5	161	0,5367	262	0,8733	248	0,8267	243	0,8100	171	0,5700
2,5 - 2,6	169	0,5633	274	0,9133	263	0,8767	265	0,8833	183	0,6100
2,6 - 2,7	185	0,6167	284	0,9467	273	0,9100	273	0,9100	201	0,6700
2,7 - 2,8	200	0,6667	291	0,9700	282	0,9400	283	0,9433	225	0,7500
2,8 - 2,9	220	0,7333	293	0,9767	288	0,9600	288	0,9600	243	0,8100
2,9 - 3,0	235	0,7833	294	0,9800	290	0,9667	292	0,9733	259	0,8633
3,0 - 3,1	256	0,8533	295	0,9833	293	0,9767	293	0,9767	270	0,9000
3,1 - 3,2	268	0,8933	296	0,9867	294	0,9800	294	0,9800	280	0,9333
3,2 - 3,3	282	0,9400	299	0,9967	294	0,9800	295	0,9833	284	0,9467
3,3 - 3,4	288	0,9600	299	0,9967	295	0,9833	297	0,9900	288	0,9600
3,4 - 3,5	292	0,9733	299	0,9967	296	0,9867	299	0,9967	290	0,9667
3,5 - 3,6	296	0,9867	300	1,0000	296	0,9867	299	0,9967	290	0,9667
3,6 - 3,7	297	0,9900	300	1,0000	297	0,9900	299	0,9967	292	0,9733
3,7 - 3,8	298	0,9933	300	1,0000	297	0,9900	300	1,0000	294	0,9800
3,8 - 3,9	300	1,0000	300	1,0000	297	0,9900	300	1,0000	296	0,9867
3,9 - 4,0	300	1,0000	300	1,0000	297	0,9900	300	1,0000	297	0,9900
4,0 - 4,1	300	1,0000	300	1,0000	298	0,9933	300	1,0000	297	0,9900
4,1 - 4,2	300	1,0000	300	1,0000	298	0,9933	300	1,0000	298	0,9933
4,2 - 4,3	300	1,0000	300	1,0000	298	0,9933	300	1,0000	298	0,9933
4,3 - 4,4	300	1,0000	300	1,0000	298	0,9933	300	1,0000	300	1,0000
4,4 - 4,5	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,5 - 4,6	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,6 - 4,7	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,7 - 4,8	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,8 - 4,9	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,9 - 5,0	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000

Tabla. C.7. Tiempo de transmisión Inquiry 64

PAGE 4096	1b	ACUM	10b	ACUM	100b	ACUM	1Kb	ACUM	10Kb	ACUM
0,5 - 0,6	2	0,0067	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
0,6 - 0,7	14	0,0467	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
0,7 - 0,8	43	0,1433	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
0,8 - 0,9	73	0,2433	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
0,9 - 1,0	100	0,3333	0	0,0000	1	0,0033	0	0,0000	0	0,0000
1,0 - 1,1	106	0,3533	0	0,0000	2	0,0067	0	0,0000	0	0,0000
1,1 - 1,2	112	0,3733	0	0,0000	4	0,0133	0	0,0000	0	0,0000
1,2 - 1,3	115	0,3833	1	0,0033	4	0,0133	0	0,0000	0	0,0000
1,3 - 1,4	146	0,4867	1	0,0033	5	0,0167	1	0,0033	0	0,0000
1,4 - 1,5	219	0,7300	2	0,0067	7	0,0233	1	0,0033	0	0,0000
1,5 - 1,6	228	0,7600	3	0,0100	8	0,0267	2	0,0067	0	0,0000
1,6 - 1,7	233	0,7767	5	0,0167	9	0,0300	2	0,0067	1	0,0033
1,7 - 1,8	234	0,7800	5	0,0167	11	0,0367	3	0,0100	1	0,0033
1,8 - 1,9	235	0,7833	7	0,0233	15	0,0500	7	0,0233	1	0,0033
1,9 - 2,0	235	0,7833	11	0,0367	19	0,0633	9	0,0300	2	0,0067
2,0 - 2,1	239	0,7967	13	0,0433	27	0,0900	13	0,0433	3	0,0100
2,1 - 2,2	241	0,8033	20	0,0667	29	0,0967	14	0,0467	5	0,0167
2,2 - 2,3	242	0,8067	52	0,1733	56	0,1867	20	0,0667	7	0,0233
2,3 - 2,4	245	0,8167	265	0,8833	273	0,9100	207	0,6900	12	0,0400
2,4 - 2,5	247	0,8233	274	0,9133	281	0,9367	266	0,8867	18	0,0600
2,5 - 2,6	257	0,8567	280	0,9333	283	0,9433	274	0,9133	27	0,0900
2,6 - 2,7	264	0,8800	284	0,9467	288	0,9600	276	0,9200	157	0,5233
2,7 - 2,8	271	0,9033	288	0,9600	291	0,9700	283	0,9433	246	0,8200
2,8 - 2,9	278	0,9267	292	0,9733	294	0,9800	290	0,9667	271	0,9033
2,9 - 3,0	286	0,9533	294	0,9800	295	0,9833	291	0,9700	279	0,9300
3,0 - 3,1	291	0,9700	295	0,9833	297	0,9900	294	0,9800	286	0,9533
3,1 - 3,2	294	0,9800	296	0,9867	297	0,9900	295	0,9833	290	0,9667
3,2 - 3,3	296	0,9867	297	0,9900	297	0,9900	296	0,9867	294	0,9800
3,3 - 3,4	296	0,9867	299	0,9967	297	0,9900	297	0,9900	296	0,9867
3,4 - 3,5	298	0,9933	300	1,0000	297	0,9900	297	0,9900	297	0,9900
3,5 - 3,6	300	1,0000	300	1,0000	297	0,9900	298	0,9933	297	0,9900
3,6 - 3,7	300	1,0000	300	1,0000	297	0,9900	300	1,0000	299	0,9967
3,7 - 3,8	300	1,0000	300	1,0000	297	0,9900	300	1,0000	299	0,9967
3,8 - 3,9	300	1,0000	300	1,0000	297	0,9900	300	1,0000	299	0,9967
3,9 - 4,0	300	1,0000	300	1,0000	298	0,9933	300	1,0000	299	0,9967
4,0 - 4,1	300	1,0000	300	1,0000	298	0,9933	300	1,0000	299	0,9967
4,1 - 4,2	300	1,0000	300	1,0000	298	0,9933	300	1,0000	299	0,9967
4,2 - 4,3	300	1,0000	300	1,0000	299	0,9967	300	1,0000	299	0,9967
4,3 - 4,4	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	299	0,9967
4,4 - 4,5	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	299	0,9967
4,5 - 4,6	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	299	0,9967
4,6 - 4,7	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	299	0,9967
4,7 - 4,8	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	299	0,9967
4,8 - 4,9	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	299	0,9967
4,9 - 5,0	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000

Tabla. C.8. Tiempo de transmisión Page 4096

PAGE 512	1b	ACUM	10b	ACUM	100b	ACUM	1Kb	ACUM	10Kb	ACUM
0,5 - 0,6	2	0,0067	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
0,6 - 0,7	8	0,0267	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
0,7 - 0,8	38	0,1267	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
0,8 - 0,9	78	0,2600	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
0,9 - 1,0	96	0,3200	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
1,0 - 1,1	106	0,3533	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
1,1 - 1,2	109	0,3633	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
1,2 - 1,3	114	0,3800	0	0,0000	0	0,0000	1	0,0033	0	0,0000
1,3 - 1,4	140	0,4667	2	0,0067	0	0,0000	2	0,0067	0	0,0000
1,4 - 1,5	217	0,7233	5	0,0167	0	0,0000	4	0,0133	0	0,0000
1,5 - 1,6	224	0,7467	8	0,0267	2	0,0067	5	0,0167	0	0,0000
1,6 - 1,7	227	0,7567	10	0,0333	2	0,0067	6	0,0200	0	0,0000
1,7 - 1,8	231	0,7700	11	0,0367	4	0,0133	8	0,0267	0	0,0000
1,8 - 1,9	233	0,7767	15	0,0500	7	0,0233	10	0,0333	0	0,0000
1,9 - 2,0	234	0,7800	19	0,0633	10	0,0333	14	0,0467	0	0,0000
2,0 - 2,1	235	0,7833	23	0,0767	11	0,0367	18	0,0600	0	0,0000
2,1 - 2,2	235	0,7833	31	0,1033	16	0,0533	26	0,0867	2	0,0067
2,2 - 2,3	237	0,7900	52	0,1733	46	0,1533	36	0,1200	2	0,0067
2,3 - 2,4	240	0,8000	272	0,9067	262	0,8733	220	0,7333	6	0,0200
2,4 - 2,5	242	0,8067	282	0,9400	276	0,9200	276	0,9200	11	0,0367
2,5 - 2,6	251	0,8367	287	0,9567	283	0,9433	290	0,9667	17	0,0567
2,6 - 2,7	257	0,8567	289	0,9633	284	0,9467	292	0,9733	150	0,5000
2,7 - 2,8	265	0,8833	293	0,9767	284	0,9467	293	0,9767	235	0,7833
2,8 - 2,9	267	0,8900	294	0,9800	287	0,9567	294	0,9800	272	0,9067
2,9 - 3,0	271	0,9033	296	0,9867	290	0,9667	295	0,9833	282	0,9400
3,0 - 3,1	279	0,9300	298	0,9933	290	0,9667	295	0,9833	287	0,9567
3,1 - 3,2	285	0,9500	298	0,9933	293	0,9767	297	0,9900	292	0,9733
3,2 - 3,3	289	0,9633	300	1,0000	295	0,9833	297	0,9900	294	0,9800
3,3 - 3,4	292	0,9733	300	1,0000	296	0,9867	297	0,9900	296	0,9867
3,4 - 3,5	293	0,9767	300	1,0000	298	0,9933	297	0,9900	297	0,9900
3,5 - 3,6	295	0,9833	300	1,0000	298	0,9933	297	0,9900	298	0,9933
3,6 - 3,7	297	0,9900	300	1,0000	298	0,9933	298	0,9933	299	0,9967
3,7 - 3,8	299	0,9967	300	1,0000	298	0,9933	299	0,9967	299	0,9967
3,8 - 3,9	299	0,9967	300	1,0000	299	0,9967	299	0,9967	299	0,9967
3,9 - 4,0	299	0,9967	300	1,0000	299	0,9967	299	0,9967	299	0,9967
4,0 - 4,1	299	0,9967	300	1,0000	300	1,0000	299	0,9967	300	1,0000
4,1 - 4,2	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,2 - 4,3	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,3 - 4,4	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,4 - 4,5	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,5 - 4,6	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,6 - 4,7	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,7 - 4,8	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,8 - 4,9	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,9 - 5,0	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000

Tabla. C.9. Tiempo de transmisión Page 512

PAGE 64	1b	ACUM	10b	ACUM	100b	ACUM	1Kb	ACUM	10Kb	ACUM
0,5 - 0,6	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
0,6 - 0,7	12	0,0400	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
0,7 - 0,8	39	0,1300	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
0,8 - 0,9	85	0,2833	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
0,9 - 1,0	98	0,3267	0	0,0000	1	0,0033	0	0,0000	0	0,0000
1,0 - 1,1	105	0,3500	0	0,0000	1	0,0033	0	0,0000	0	0,0000
1,1 - 1,2	109	0,3633	0	0,0000	1	0,0033	1	0,0033	0	0,0000
1,2 - 1,3	112	0,3733	0	0,0000	2	0,0067	1	0,0033	0	0,0000
1,3 - 1,4	144	0,4800	0	0,0000	2	0,0067	2	0,0067	0	0,0000
1,4 - 1,5	214	0,7133	1	0,0033	2	0,0067	4	0,0133	0	0,0000
1,5 - 1,6	223	0,7433	3	0,0100	6	0,0200	5	0,0167	1	0,0033
1,6 - 1,7	227	0,7567	4	0,0133	6	0,0200	7	0,0233	1	0,0033
1,7 - 1,8	229	0,7633	6	0,0200	8	0,0267	8	0,0267	1	0,0033
1,8 - 1,9	232	0,7733	7	0,0233	9	0,0300	8	0,0267	1	0,0033
1,9 - 2,0	233	0,7767	11	0,0367	12	0,0400	13	0,0433	1	0,0033
2,0 - 2,1	234	0,7800	16	0,0533	19	0,0633	17	0,0567	2	0,0067
2,1 - 2,2	235	0,7833	23	0,0767	28	0,0933	24	0,0800	2	0,0067
2,2 - 2,3	242	0,8067	44	0,1467	51	0,1700	32	0,1067	2	0,0067
2,3 - 2,4	246	0,8200	264	0,8800	265	0,8833	216	0,7200	4	0,0133
2,4 - 2,5	250	0,8333	275	0,9167	278	0,9267	277	0,9233	6	0,0200
2,5 - 2,6	259	0,8633	278	0,9267	283	0,9433	284	0,9467	12	0,0400
2,6 - 2,7	263	0,8767	284	0,9467	290	0,9667	293	0,9767	142	0,4733
2,7 - 2,8	268	0,8933	286	0,9533	292	0,9733	299	0,9967	234	0,7800
2,8 - 2,9	272	0,9067	290	0,9667	293	0,9767	300	1,0000	265	0,8833
2,9 - 3,0	278	0,9267	292	0,9733	295	0,9833	300	1,0000	276	0,9200
3,0 - 3,1	282	0,9400	294	0,9800	296	0,9867	300	1,0000	286	0,9533
3,1 - 3,2	287	0,9567	294	0,9800	296	0,9867	300	1,0000	289	0,9633
3,2 - 3,3	293	0,9767	295	0,9833	297	0,9900	300	1,0000	291	0,9700
3,3 - 3,4	295	0,9833	297	0,9900	297	0,9900	300	1,0000	294	0,9800
3,4 - 3,5	296	0,9867	299	0,9967	298	0,9933	300	1,0000	297	0,9900
3,5 - 3,6	296	0,9867	299	0,9967	300	1,0000	300	1,0000	297	0,9900
3,6 - 3,7	296	0,9867	299	0,9967	300	1,0000	300	1,0000	298	0,9933
3,7 - 3,8	296	0,9867	299	0,9967	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
3,8 - 3,9	296	0,9867	299	0,9967	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
3,9 - 4,0	297	0,9900	299	0,9967	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,0 - 4,1	297	0,9900	299	0,9967	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,1 - 4,2	299	0,9967	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,2 - 4,3	299	0,9967	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,3 - 4,4	299	0,9967	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,4 - 4,5	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,5 - 4,6	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,6 - 4,7	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,7 - 4,8	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,8 - 4,9	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000
4,9 - 5,0	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000	300	1,0000

Tabla. C.10. Tiempo de transmisión Page 64