

PLATAFORMA DE EVALUACIÓN DE SISTEMAS ITS COOPERATIVOS EN PISTAS DE ENSAYO

Carmelo España

Ingeniero en Telecomunicaciones. Ingeniero Investigador. Ubiquitous Wireless Communications Research (Uwicare) Laboratory, Universidad Miguel Hernández.

Gloria Pastor

Ingeniera en Telecomunicaciones. Ingeniera Electrónica. IDIADA Automotive Technology.

Óscar Muñoz

Autor expositor. Ingeniero en Telecomunicaciones. Ingeniero de Proyectos. IDIADA Automotive Technology.

Javier Gozávez

Doctor en Telecomunicaciones. Profesor en la Universidad Miguel Hernández y Director de Uwicare. Ubiquitous Wireless Communications Research (Uwicare) Laboratory, Universidad Miguel Hernández.

Massimo Olivieri

Ingeniero Electrónico y de Telecomunicaciones. Director de Proyectos, Director del departamento de Electrónica. IDIADA Automotive Technology.

RESUMEN- Los sistemas ITS Cooperativos presentan un elevado potencial para la mejora de la seguridad vial, la gestión del tráfico y la reducción del impacto medioambiental del transporte por carretera. Para poder explotar este potencial, deberán superar un proceso de evaluación y validación que incluirá extensas pruebas de campo con el fin de asegurar un funcionamiento adecuado de los sistemas ITS en escenarios reales de las vías públicas; y en el caso de las aplicaciones enfocadas a mejorar la seguridad vial, programas de evaluación en pistas de ensayo en las que se puedan ensayar los sistemas bajo condiciones críticas previas al accidente, siempre en un entorno seguro y controlado. Con este objetivo se ha desarrollado en las pistas de ensayo de IDIADA, una plataforma de evaluación que cubre un conjunto de aplicaciones básicas de seguridad, e incluye escenarios y protocolos de ensayo, equipamiento de evaluación y prototipos de sistemas ITS Cooperativos.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas cooperativos de comunicación vehicular se han identificado como una de las claves de los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS-Intelligent Transport Systems) para mejorar la seguridad vial y la gestión del tráfico. Las comunicaciones vehiculares están basadas en un intercambio dinámico de mensajes entre vehículos (V2V-Vehicle to Vehicle) o entre vehículos y elementos de infraestructura de la red vial (V2I-Vehicle to Infrastructure).

Para la entrada en mercado de los sistemas ITS cooperativos, resulta imprescindible comprobar su correcto funcionamiento en los distintos escenarios de aplicación, especialmente para aquellas funcionalidades destinadas a la mejora de la seguridad vial. En este contexto, se han lanzado pruebas de campo (FOT-Field Operacional Tests) desde USA, Japón y Europa que han mostrado la efectividad de esta herramienta para el estudio de la adecuación de los nuevos sistemas ITS a las necesidades de los usuarios. Los FOTs se llevan a cabo en escenarios reales a lo largo de la red vial, por lo que deben asegurar en todo momento que no existe ningún tipo de riesgo para la seguridad de los usuarios. Esta limitación hace necesaria la complementación de los FOTs con pruebas de los sistemas bajo condiciones críticas que garanticen la actuación de los mismos en instantes previos al accidente.

Para cubrir estas limitaciones, IDIADA Automotive Technologies (IDIADA), con la colaboración de la Universidad Miguel Hernández, está desarrollando una plataforma de ensayos para los sistemas ITS cooperativos que permitirá la evaluación de las funcionalidades de seguridad activa de estos sistemas en situaciones críticas, y en un entorno controlado que garantizará la seguridad de los ensayos. La plataforma ITS-EVAL es una de las primeras iniciativas a nivel mundial para el desarrollo y validación de los sistemas ITS Cooperativos. La plataforma en desarrollo incluye vehículos y unidades de carretera equipados con prototipos de dispositivos cooperativos WAVE o IEEE802.11p, y define una serie de protocolos de ensayo para la evaluación de un conjunto básico de aplicaciones de seguridad seleccionadas. Estas aplicaciones son:

- Intersection Collision Avoidance (ICA).
- Emergency Electronic Brake Lights (EEBL).
- Lane Change Warning (LCW).
- Head on Collision Warning (HCW).

Los protocolos desarrollados definen la situación del tráfico, las condiciones del escenario de ensayo, y los requerimientos, métricas y técnica de almacenamiento de datos para las comunicaciones cooperativas.

El resto del documento se ha organizado como sigue. En la sección 2, se presenta la plataforma ITS-EVAL, incluyendo una breve descripción de cada una de las aplicaciones seleccionadas para formar parte del conjunto básico de aplicaciones de seguridad implementadas, y una breve introducción a los prototipos ITS Cooperativos desarrollados. La sección 3 muestra los resultados obtenidos de los primeros ensayos, incluyendo ensayos de dimensionado de las comunicaciones y ensayos de la funcionalidad ICA. Finalmente, la sección 5 recoge las conclusiones obtenidas y las líneas de trabajo futuro.

2. ITS-EVAL, PLATAFORMA DE EVALUACIÓN DE SISTEMAS ITS COOPERATIVOS

Ante la necesidad de evaluar el alcance de las comunicaciones cooperativas vehiculares, y posteriormente validar el correcto funcionamiento de las aplicaciones de seguridad vial derivadas de las mismas, la plataforma ITS-EVAL ha sido diseñada para cubrir las necesidades de un conjunto de aplicaciones que constituyen una muestra representativa de las aplicaciones más relevantes a nivel mundial destinadas a la reducción de accidentes y el incremento de la seguridad vial. Este primer conjunto de aplicaciones será ampliado progresivamente con el objetivo de cubrir las necesidades de los fabricantes de vehículos y sistemas, además de promover la investigación, desarrollo e innovación dando lugar a nuevos productos, estándares y servicios en el área de las tecnologías ITS Cooperativas.

Para cubrir las necesidades de cada una de las aplicaciones seleccionadas, la plataforma ITS-EVAL comprende una serie de pistas de ensayo dentro del complejo de instalaciones de IDIADA incluyendo escenarios representativos de las aplicaciones seleccionadas como intersecciones, carretera general, escenarios de autovía con más de 2 carriles en el mismo sentido, etc. Los vehículos que participan en los ensayos están especialmente equipados para garantizar la seguridad de los ensayos. La plataforma de evaluación ITS-EVAL cuenta con equipamiento de evaluación que incluye robots de conducción, dispositivos GPS diferenciales, y una gran variedad de sensores y blancos. Con el objetivo de evaluar la idoneidad de la plataforma y protocolos implementados, y al mismo tiempo adquirir experiencia y conocimiento en sistemas ITS Cooperativos, la implementación de la plataforma incluía el desarrollo de dos prototipos de sistemas ITS Cooperativos para

comunicaciones inalámbricas V2V y V2I.

2.1 Aplicaciones ITS-EVAL

La selección de aplicaciones para ser incluidas en un primer conjunto de aplicaciones básicas, se basó en las soluciones tecnológicas que tenían un mayor impacto sobre la seguridad vial (a través de una reducción del número de accidentes más frecuentes). Este estudio estaba basado en los resultados de proyectos e iniciativas europeas como TRACE (1, 2), eIMPACT (3, 4) y SafetyNet (5, 6), además de informes e indicadores que la Dirección General de Tráfico (DGT) (7, 8) publica cada año.

La selección se completó con los resultados obtenidos del análisis de una amplia variedad de escenarios, aplicaciones y casos de uso identificados en proyectos europeos y americanos como SAFESPOT (9, 10, 11), VSC (Vehicle Safety Communications) (12, 13, 14, 15, 16) y VII (Vehicle Infrastructure Integration) (17, 18, 19). Estos proyectos comparten el objetivo común de mejorar la seguridad vial a través de las comunicaciones vehiculares cooperativas.

Finalmente, se seleccionó un conjunto de cuatro aplicaciones que resultaban las más relevantes, cubrían un amplio rango de casos de uso y presentaban mayor potencial para la mejora de la seguridad vial. Estas aplicaciones son:

1. Intersection Collision Avoidance (ICA)
2. Emergency Electronic Brake Lights (EEBL)
3. Lane Change Warning (LCW)
4. Head on Collision Warning (HCW)

A continuación, se presenta una breve descripción de cada una de las aplicaciones.

2.3.1 Intersection Collision Avoidance (ICA)

Un elevado porcentaje de los accidentes de carretera en todo el mundo, tiene lugar en intersecciones o está relacionado con intersecciones. A menudo estos accidentes se deben a una mala apreciación de la situación por parte del conductor, a falta de una correcta observación de la situación, o a inhabilidad para percibir correctamente el grado de peligro. El objetivo de la aplicación ICA es evitar las colisiones que se producen en intersecciones mediante la asistencia al conductor con tiempo suficiente para su correcta reacción. El sistema avisa al conductor mediante un mensaje de alerta, en situaciones de riesgo de colisión al cruzar una intersección. ICA contempla el empleo de sensores de infraestructura y/o comunicaciones cooperativas, para detectar la presencia, posición, carril utilizado,

velocidad y aceleración entre otros factores, de vehículos aproximándose al punto de intersección. Los sistemas ITS Cooperativos se encuentran continuamente procesando información de vehículos presentes y presentando mensajes al conductor a través de un interfaz hombre-máquina (HMI-Human Machina Interface) que es una combinación de alertas visuales y sonoras. La Figura 1. muestra un ejemplo de escenario de aplicación ICA.

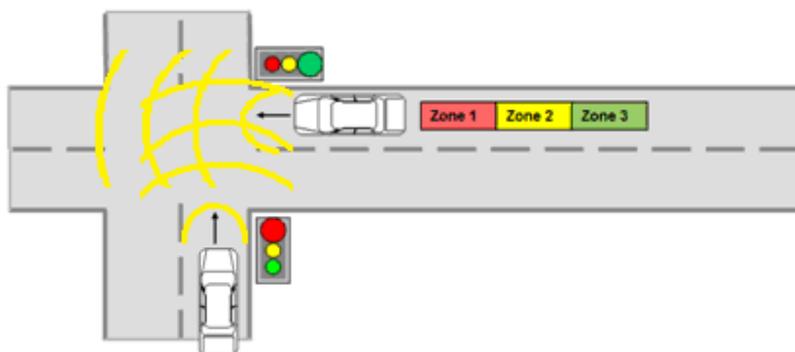


Figura 1. Ejemplo de escenario de la aplicación ICA

Los prototipos de comunicación ITS Cooperativos desarrollados, emplean una estrategia de alertas basada en la división del área de comunicación en tres zonas de precaución delimitadas por el tiempo estimado en el que se producirá la colisión. El sistema de abordaje determina si hay posibilidad de colisión en un intervalo de tiempo, considerando que ambos vehículos van a mantener su velocidad y distancia relativa. En la Zona 3, el sistema de abordaje está monitorizando la posición y el movimiento de los vehículos del entorno para poder detectar una situación de riesgo. En la Zona 2, el sistema ha detectado una situación de peligro e informa al conductor a través de un mensaje de precaución. Después del mensaje de precaución, si el vehículo entra en la Zona 1, el conductor será alertado de un peligro inminente de colisión.

2.3.2 Emergency Electronic Brake Lights (EEBL)

La aplicación EEBL trata de evitar colisiones traseras y frontales, que pueden ocurrir cuando la distancia entre dos vehículos en situación de seguimiento no es suficiente como para que el conductor reaccione a tiempo a una frenada brusca del vehículo precedente, o debido a la falta de atención del conductor. EEBL expande el campo visual del conductor a través de una generación de mensajes de alerta que son presentados a los conductores cercanos en el interior de sus vehículos. En una situación de seguimiento, se emplea la misma estrategia de alertas que para ICA, en la que el tiempo a la colisión es el tiempo que tardarían ambos vehículos en colisionar si mantuvieran su velocidad y dirección actuales. Además, el sistema asume que el vehículo precedente podría frenar con la máxima potencia de frenada en

cualquier momento. La Figura 2 muestra un ejemplo de escenario de seguimiento de la aplicación EEBL.

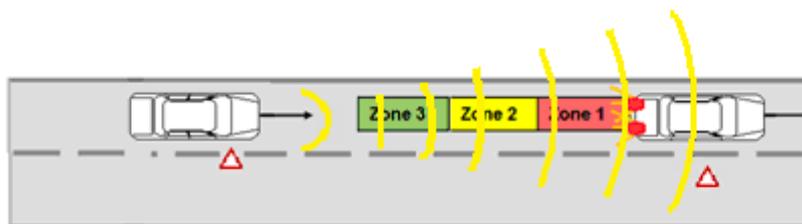


Figura 2. Ejemplo de escenario de aplicación EEBL.

2.3.3 Lane Change Warning (LCW) and Head on Collision Warning (HCW)

Las aplicaciones LCW y HCW tratan de evitar colisiones que se producen cuando un vehículo cambia de carril en una maniobra lateral colisionando con un vehículo aproximándose, ya sea en dirección contraria (HCW) o en caso de vehículos viajando en la misma dirección, colisionando lateralmente (LCW). En ambos casos, cuando el conductor se prepara para iniciar la maniobra, el sistema determina si existe riesgo de colisión, y en caso de que la maniobra no sea segura genera una alerta al conductor indicándole la necesidad de abortar la maniobra. Para determinar la probabilidad de colisión, los sistemas a bordo de los vehículos cercanos se encuentran continuamente intercambiando información de localización, carril utilizado, velocidad y aceleración, entre otros factores. La Figura 3 muestra un escenario representativo de cada aplicación.

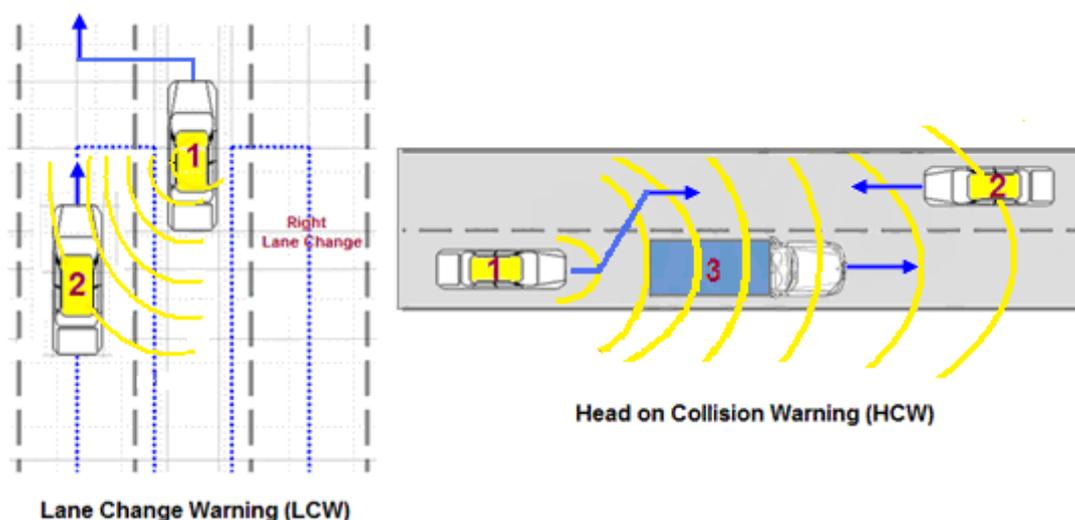


Figura 3. Ejemplo de escenarios de las aplicaciones LCW y HCW

Para LCW, el vehículo 2 se encuentra en la zona de ángulo muerto del vehículo 1 y por tanto, cuando el conductor del vehículo 1 va a iniciar el cambio al carril izquierdo, recibe una

alerta indicando que la maniobra no es segura. En el caso de HCW, el conductor del vehículo 1 no puede ver al vehículo 2 debido a la obstrucción que provoca el vehículo 3. Por tanto, si el conductor del vehículo 1 decide iniciar una maniobra de adelantamiento al vehículo 3, el sistema le solicitará abortar la maniobra debido a que no es segura. Esta situación será detectada gracias a la comunicación entre los vehículos 1 y 2.

2.2 Prototipos de Sistemas ITS Cooperativos

La implementación de la plataforma de ensayos ITS-EVAL incluía el desarrollo de dos prototipos de Sistemas ITS Cooperativos basados en tecnología WAVE/802.11p para las comunicaciones inalámbricas V2V y V2I. Estos prototipos pueden ser empleados como unidades de abordo (OBU-On Board Units) o como unidades de infraestructura (RSU-RoadSide Units) indistintamente, únicamente cambiando el tipo de antena de comunicaciones. La Figura 4 muestra un esquema del prototipo de sistema ITS Cooperativo.

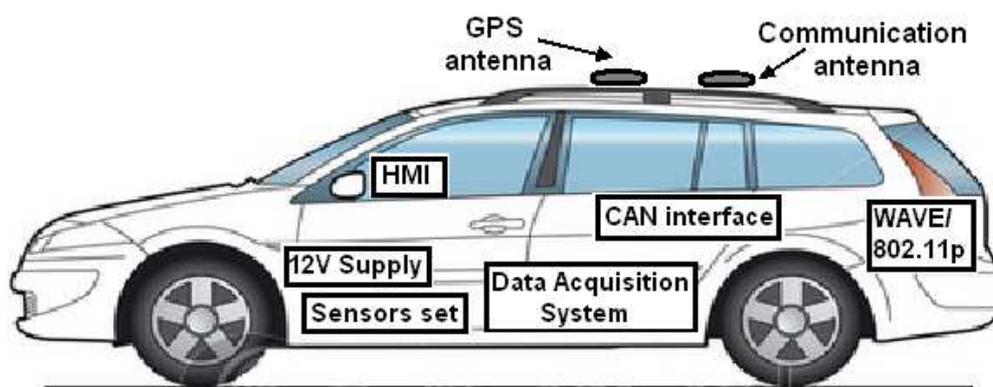


Figura 4. Esquema de vehículo instrumentado con prototipo de OBU ITS Cooperativo

Un prototipo de OBU ITS Cooperativo es un sistema experimental que incluye los elementos de hardware y software necesarios para adquisición de datos del vehículo (como posición GPS, velocidad, aceleración, etc.), procesarlos, crear tramas de comunicación y enviar/recibir las tramas en la unidad de comunicación WAVE/802.11p, y finalmente presentar la información al conductor a través de un interfaz HMI adecuado. La adquisición y almacenamiento de datos tienen lugar paralelamente.

3. ENSAYOS DE SEGURIDAD DE SISTEMAS ITS VEHICULARES

Una vez la plataforma propuesta ha sido descrita, y las aplicaciones cooperativas y equipamiento requerido han sido definidos, esta sección presenta los resultados obtenidos

de una serie de ensayos realizados. En particular, la sección 3.1 muestra los resultados obtenidos de un programa de ensayos de dimensionado de comunicaciones. Estos ensayos evalúan el comportamiento del sistema en diferentes condiciones de operación y con distintos parámetros de comunicación. Los ensayos de dimensionado de las comunicaciones son la base de la implementación y evaluación de los protocolos de comunicación y aplicaciones avanzadas. La sección 3.2 muestra la aplicación ICA desarrollada e implementada.

3.1 Fiabilidad de sistemas ITS Cooperativos

El principal objetivo de los ensayos de comunicaciones que se han llevado a cabo es evaluar el comportamiento de las comunicaciones de los sistemas WAVE/802.11p en condiciones reales y obtener resultados y conclusiones que pueden ser empleados como primer paso para la implementación de las aplicaciones seleccionadas. Un conjunto de escenarios de ensayo de comunicaciones han sido identificados y serán empleados para la evaluación del comportamiento de las comunicaciones para las aplicaciones seleccionadas. A continuación, se presentan los escenarios empleados y ensayos llevados a cabo para las aplicaciones EEBL e ICA.

3.1.1 Escenario de seguimiento/Aplicación EEBL

Los ensayos de seguimiento se han llevado a cabo para el dimensionado de las comunicaciones de la aplicación EEBL. En estos ensayos, dos vehículos equipados con prototipos OBU de sistemas ITS Cooperativos, se encontraban en una situación de seguimiento en una recta. Ambos vehículos transmitían periódicamente mensajes que contenían información de su posición y velocidad. Los parámetros de comunicación empleados en los distintos ensayos se muestran en la Tabla 1. La velocidad y distancia entre vehículos está también incluida.

Test	Packet frequency (Hz)	Data rate (Mbps)	Transmission power (dBm)	Speed (km/h)	Distance between vehicles (m)
1	2	6	5	50	300
2	2	6	20	50	300
3	2	6	5	90	100-200

Tabla 1. Parámetros para los ensayos de seguimiento.

La Figura 5 muestra los resultados de los ensayos de seguimiento, en la que se representan los que los paquetes perdidos y recibidos en función de la distancia entre vehículos y el

tiempo de colisión. Esta figura muestra que una potencia de transmisión de 5dBm (test 1) no es suficiente para establecer comunicación entre los dos vehículos a distancias de 300 m debido al elevado número de paquetes perdidos. Sin embargo, la figura 5 muestra que esta potencia de transmisión podría ser adecuada para un rango de 100-200 m (test 3). Cuando se emplea una potencia de transmisión más elevada (20 dBm, test 2), se obtiene una comunicación continua y fiable hasta los 300 m, asegurando que un mensaje de alerta puede ser presentado al conductor con suficiente tiempo como para permitir su reacción y evitar una situación de peligro.

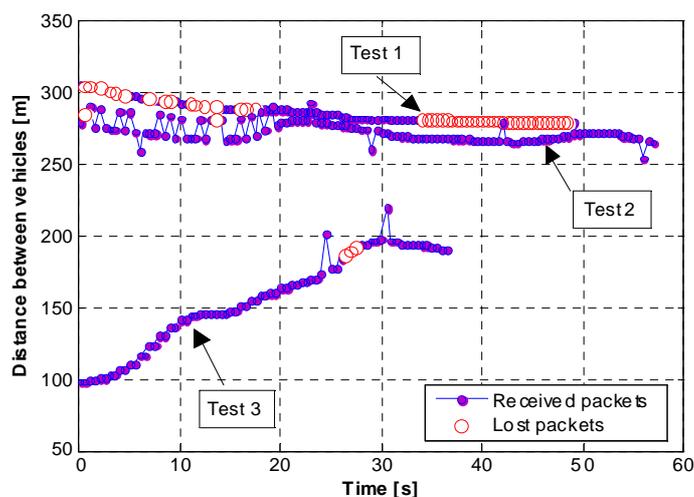


Figura 5. Distancia entre los dos vehículos para los ensayos de seguimiento y dimensionado de comunicaciones.

3.1.2 Escenario de intersección/Aplicación ICA

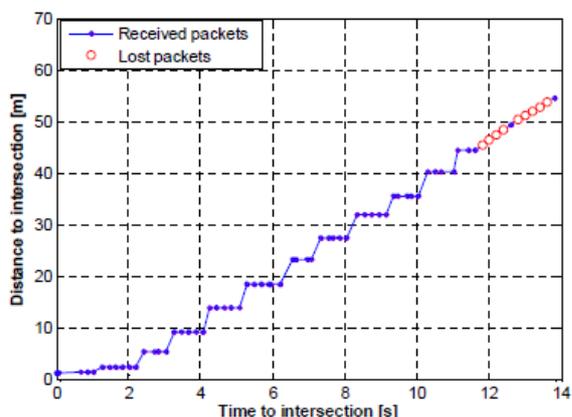
Para los ensayos de comunicaciones de la aplicación ICA, dos vehículos se sitúan a una distancia inicial de la intersección de 130 m, desde donde se aproximan a la intersección con una velocidad constante de 30 km/h y el consecuente riesgo de colisión. Los parámetros de comunicación considerados para estos ensayos se muestran en la Tabla 2. El escenario de intersección seleccionado contiene un edificio que bloquea la propagación de la señal radio. Por tanto, los dos vehículos se encuentran en una condición de propagación sin visión directa (NLOS-Non-Line Of Sight) hasta que alcanzan una distancia de 30 m del punto de intersección.

La Figura 6 muestra la cantidad de paquetes perdidos y recibidos como función del tiempo restante para alcanzar el punto de intersección. En esta gráfica sólo se consideran los paquetes recibidos y perdidos a partir del primer paquete recibido correctamente.

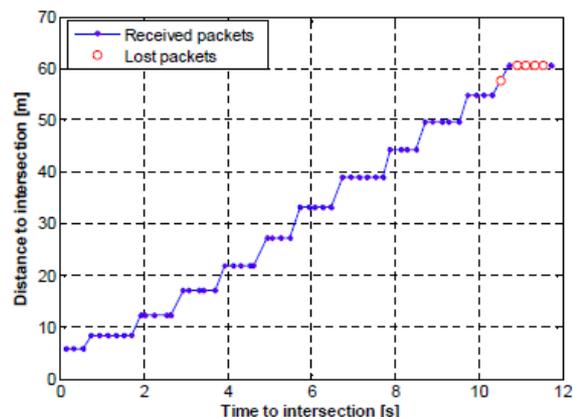
Test	Packet frequency (Hz)	Data rate (Mbps)	Transmission power (dBm)
1	5	6	10
2	5	6	20

Tabla 2. Parámetros para los ensayos en intersección.

Empleando los parámetros seleccionados, se consigue una buena recepción de paquetes, especialmente conforme los vehículos se aproximan a la intersección. La Figura 6 muestra que, mientras el primer paquete fue correctamente recibido a 55 m de la intersección con una potencia de transmisión de 10 dBm, al emplear una potencia de transmisión de 20 dBm esta distancia aumenta a 61 m y el número de paquetes perdidos se reduce. Estos resultados revelan la necesidad de niveles de potencia de transmisión adecuados para establecer comunicación entre dos vehículos a una distancia apropiada de la intersección, de manera que se pueda soportar la aplicación ICA.



(a) Test 1: transmission power 10dBm



(b) Test 2: transmission power 20dBm

Figura 6. Distancia a la intersección para los ensayos de dimensionado de comunicaciones en intersecciones.

3.2 Resultados de los ensayos de la funcionalidad ICA

En esta sección se presenta la funcionalidad implementada para la aplicación cooperativa ICA, a través de un flujo de eventos descriptivo y los resultados obtenidos de un ejemplo de ensayo de la aplicación.

3.2.1 Flujo de eventos ICA

El flujo de eventos que tiene lugar cuando dos vehículos cooperativos se aproximan a una intersección, se muestra en la Figura 7.

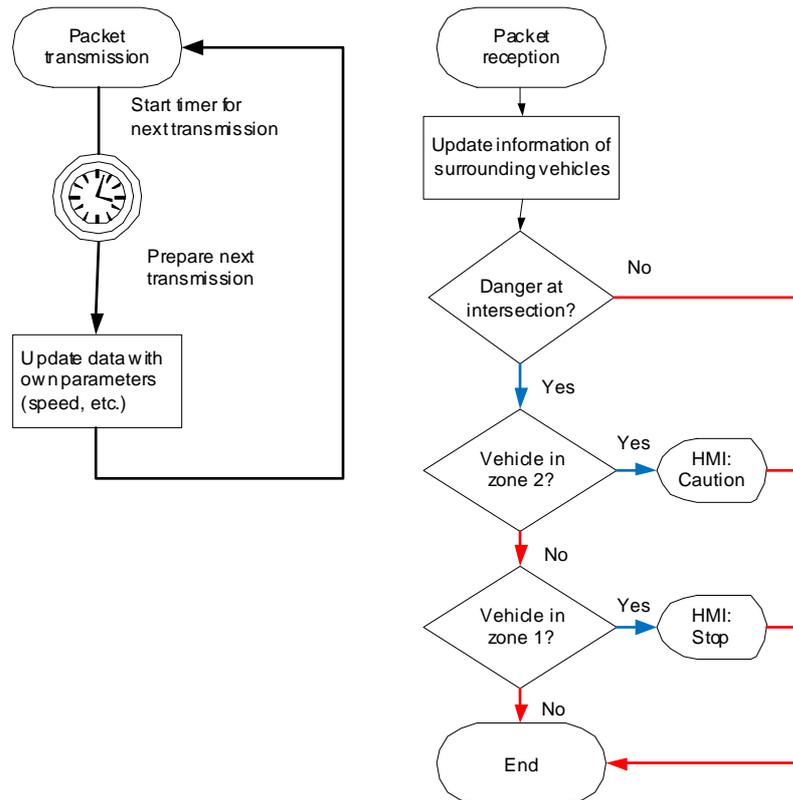


Figura 7. Diagrama del flujo de eventos ICA.

3.2.2 Ejemplo de ensayo de aplicación

De acuerdo al diagrama de flujo de eventos mostrado anteriormente, esta sección ilustra un ejemplo de la funcionalidad ICA implementada, en el que ambos conductores ignoran el mensaje de alerta 'Caution' y mantienen su velocidad a 20 km/h hasta que alcanzan el punto de intersección. De esta manera, ambos conductores serán alertados con los mensajes de 'Caution' y 'STOP' en las zonas 2 y 1 respectivamente. En este caso, las tres zonas de alerta fueron configuradas a 3 segundos de duración cada una. El escenario seleccionado para el ensayo fue una intersección con obstrucción de la señal radio causada por un edificio. Los parámetros de comunicación para este ensayo se muestran en la Tabla 3.

Packet frequency (Hz)	Data rate (Mbps)	Transmission power (dBm)
5	6	20

Tabla 3. Parámetros de comunicación para el ensayo de funcionalidad ICA.

La Figura 8(a) muestra la distancia de ambos vehículos al punto de intersección frente al tiempo. Podemos observar que ambos vehículos mantenían una velocidad constante y por tanto sus distancias y tiempos al punto de intersección eran muy similares, con el consecuente riesgo de colisionar. La Figura 8(b) muestra los mensajes HMI presentados a

los conductores en las zonas de alarma y un indicador de riesgo, además de los paquetes recibidos y los paquetes perdidos. Podemos observar que la comunicación entre los sistemas se inicia a los 60 m del punto de intersección. A una velocidad de 20 km/h los dos vehículos son capaces de intercambiar información durante más de 10 segundos antes de alcanzar el punto de intersección. Este tiempo resulta suficiente para avisar al conductor de un peligro potencial. Durante la Zona 3, ambos sistemas están monitorizando los parámetros de moción y predicen el riesgo de colisión. Al entrar en Zona 2 el HMI de abordaje alerta a los conductores con un mensaje de 'Caution', y como los conductores no reaccionan, ambos vehículos entran en Zona 1 y reciben el mensaje de 'STOP'.

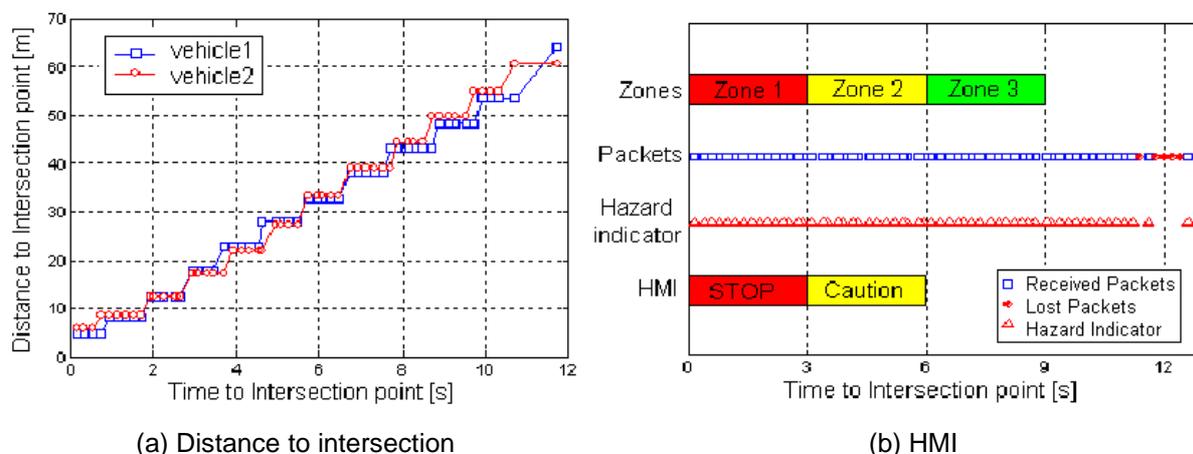


Figura 8. Ensayo de la aplicación ICA.

4. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Los resultados mostrados en este documento revelan el potencial de los sistemas vehiculares ITS Cooperativos para soportar aplicaciones de seguridad vial, y también revelan la idoneidad de la plataforma de evaluación desarrollada para la validación de tecnologías ITS Cooperativas. La plataforma ITS-EVAL está en continua ampliación y mejora para poder cubrir las necesidades de los desarrollos más avanzados en el campo de los sistemas ITS Cooperativos. Actualmente, se han identificado algunas limitaciones del equipamiento de infraestructura que serán tratadas, así como una expansión del conjunto de aplicaciones y casos de uso cubierto.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) TRACE Project. Online: <http://www.trace-project.org>
- (2) TRACE, “trace-eimpact-conference-hill”, Online: <http://www.trace-project.org/>
- (3) eIMPACT Project. Online: <http://www.eimpact.info/>
- (4) eIMPACT, “eIMPACT_D4_v2.0 - Socio-economic Impact Assessment of Stand-alone and Cooperative”, Online: <http://www.eimpact.info>
- (5) SafetyNet Project. Online: <http://www.erso.eu/safetynet/content/safetynet.htm>
- (6) SafetyNet, “BFS2008_SN-NTUA-1-3-Motorways”, Online: <http://www.erso.eu/safetynet/content/safetynet.htm>
- (7) Dirección General de Tráfico (DGT), online: <http://www.dgt.es>
- (8) DGT, “Las principales cifras de la siniestralidad vial. España 2007”. online: http://www.dgt.es/was6/portal/contenidos/documentos/seguridad_vial/estudios_inform es/Las_principales_2007.pdf
- (9) SAFESPOT Project, online: <http://www.safespot-eu.org/>
- (10) SP1: “Vehicle probe use cases and test scenarios”, SAFESPOT, Deliverable D1.2.1, September, 2006.
- (11) SP8: “Use cases, functional specifications and safety margin applications for the SAFESPOT Project”, SAFESPOT, Deliverable D8.4.4, April, 2008.
- (12) Vehicle Safety Communications (VSC), online: <http://www.nhtsa.dot.gov/>
- (13) Vehicle Safety Communications Consortium, “Vehicle Safety Communications Project - Final Report”, DOT HS 810 591, April 2006.
- (14) Vehicle Safety Communications Consortium, “VSC Main Report – Appendix B: Vehicle Safety Applications”.