

# Problemática Asociada a los Sistemas de Peaje Electrónico Basados en GNSS

P. Catalá\*, S. Montes\*, B. Úbeda\*\*, R. Toledo\*\*

\*Universidad de Valencia, \*\*Universidad de Murcia  
[pablo.catala@uv.es](mailto:pablo.catala@uv.es); [bubeda@um.es](mailto:bubeda@um.es)

## Abstract.

El proyecto que aquí presentamos estudia la problemática asociada al cobro de peajes utilizando tecnologías de posicionamiento por satélite, tanto si este se basara exclusivamente en GPS, como teniendo en cuenta las mejoras ofrecidas por los sistemas EGNOS/SISNeT, GLONASS y el futuro GALILEO, y como la sinergia de diferentes tecnologías es la clave para el desarrollo de un sistema fiable. La fusión de datos de posicionamiento junto con los datos proporcionados por el odómetro y sensores inerciales se presenta como la solución más fiable para garantizar la precisión e integridad necesarias para un sistema de peajes. Se presentan también los resultados de diversas pruebas de campo. Se diseñó y probó una aplicación de peaje con escenarios reales en la autopista AP7, en el tramo Castellón-Murcia, comprobando los casos conflictivos como circulación en carreteras paralelas o túneles, y el comportamiento de la aplicación según las tecnologías de posicionamiento que intervengan en cada caso.

## Estado del Arte de los Sistemas de Road Pricing

La primera tecnología utilizada para road pricing (tarificación de infraestructuras de carretera) fue DSRC (Comunicaciones Dedicadas de Corto Alcance). La mayoría de países que usan EFC (Electronic Fee Collection) instalaron sistemas DSRC de microondas a 5.8 GHz, que no son totalmente compatibles. El trabajo de CEN ha dado como resultado en enero de 2003 un conjunto de estándares para la compatibilidad de sistemas a 5.8 GHz. Estos estándares son los mismos que fueron lanzados como pre-estándar en 1997, y que no dan cabida a todos los sistemas DSRC en operación en la Comunidad Europea, permitiendo además dos variantes que no son totalmente compatibles. Los fabricantes no obstante han acordado desarrollar en la CE productos interoperables basados en el estándar actual.

La introducción de los sistemas de posicionamiento en EFC vino de la mano del sistema suizo HVF (Peaje a Vehículos Pesados) [1][2]. Comenzó a operar el 1 de enero de 2001, y está basado principalmente en DSRX para la detección de cruces de la frontera y tacógrafo para el conteo de kilómetros. La unidad GNSS se usa como fuente de posicionamiento de redundancia, para prevenir y detectar el fraude. El sistema de tarificación a vehículos pesados alemán LKW Maut [3][4] estará basado en GNSS/CN (Global Navigation Satellite Systems / Cellular Networks). La unidad de a bordo calculará el peaje comparando su posición con una serie de objetos de peaje

almacenados en una base de datos. Este sistema debía estar funcionando desde agosto de 2003 pero debido a un gran número de fallos su lanzamiento se ha retrasado a 2005. En esta fecha el sistema comenzará a utilizarse con una funcionalidad reducida, y debería operar con normalidad a partir de enero de 2006. Algunos de los problemas del sistema estaban relacionados con la funcionalidad del OBU, que sufría errores de HW y SW que provocaban fallos de funcionamiento y errores en el cálculo del peaje.

En el plano legal, la CE lanzó en 2003 dos propuestas de Directiva Europea relacionadas con el road pricing, una de ellas sobre las tecnologías utilizadas y la otra sobre el marco legal. La Directiva 2004/52/EC, o Directiva EFC [5], especificaba inicialmente que en 2005 debía entrar en funcionamiento un sistema paneuropeo de EFC para vehículos pesados, y en 2010 para el resto de vehículos. Este servicio EFC debería eliminar las barreras y estar basado en DSRC o GNSS/CN, aunque a partir de 2008 solamente se permitiría el uso de GNSS/CN a los nuevos sistemas. La Directiva iba más allá, y preveía que los sistemas DSRC debían desaparecer en 2012. Los operadores de autopistas, que han invertido hasta ahora en sistemas DSRC, se opusieron a la aprobación de la Directiva, que tuvo que ser modificada por la CE. En la versión definitiva (29 abril de 2004) se eliminó cualquier referencia a la desaparición de los sistemas de microondas, así como la fecha de inicio del servicio paneuropeo. Las tecnologías usadas serán cualquiera o una combinación de las siguientes: microondas a 5.8 GHz (DSRC), posicionamiento por satélite y comunicaciones celulares. Otras tecnologías incluyendo el tacógrafo electrónico podrán ser utilizadas, siempre y cuando este uso no provoque discriminación. La CE sigue apoyando las tecnologías GNSS, y ha incluido en la Directiva la recomendación de usar GNSS/CN, aunque reconoce explícitamente que podrían surgir problemas relacionados con el fraude y la fiabilidad del sistema. La otra propuesta de Directiva, llamada “tarificación a vehículos pesados por el uso de ciertas infraestructuras” [6] fue pensada como una modificación de la Directiva “Euroviñeta” [7]. Esta Directiva afectaría no sólo a la Red Trans Europea (TEN) sino también a las carreteras paralelas, para todos los vehículos de más de 3.5 toneladas (comparado con las 12 toneladas actuales). Se permitiría el uso de peajes variables según el tipo de vehículo, hora, nivel de congestión, sensibilidad medioambiental de la zona, riesgo de accidente u otros conceptos. El objetivo era integrar de manera más efectiva los costes externos de la infraestructura. La propuesta no fue aceptada y está en proceso de modificación.

Con respecto a la normalización, ISO y CEN trabajan en la definición del pacen ISO TS 17575 “Application interface definition for CN/GNSS based EFC” [8]. Su principal objetivo es la comunicación entre el OBE y el CE (Equipo Central), definiendo transacciones, actualizaciones del HW y el SW del OBU, y el roaming entre proveedores de servicio. Algunos datos necesarios para el proceso de cálculo de peajes son también definidos, cuando es necesario enviar o recibir estos datos a través del canal celular. No se definen los algoritmos para el cálculo de peajes ni los requisitos específicos de precisión o calidad del equipo de posicionamiento. Este estándar está en proceso de desarrollo y se prevé que estará terminado para finales de 2004. El proyecto MISTER (Minimum Interoperability Specification for Tolling on European Roads) está íntimamente relacionado con el ISO 17575, el cual proporciona una base para la interoperabilidad, pero no es suficiente para garantizarla. El objetivo de MISTER es definir cómo debe ser implementado el ISO 17575 para garantizar la in-

teroperabilidad técnica y procedural. MISTER da soporte y define parcialmente el servicio EFC requerido en la Directiva EFC.

## Pruebas de un Sistema de Peaje Electrónico Basado en GNSS/CN – GIS

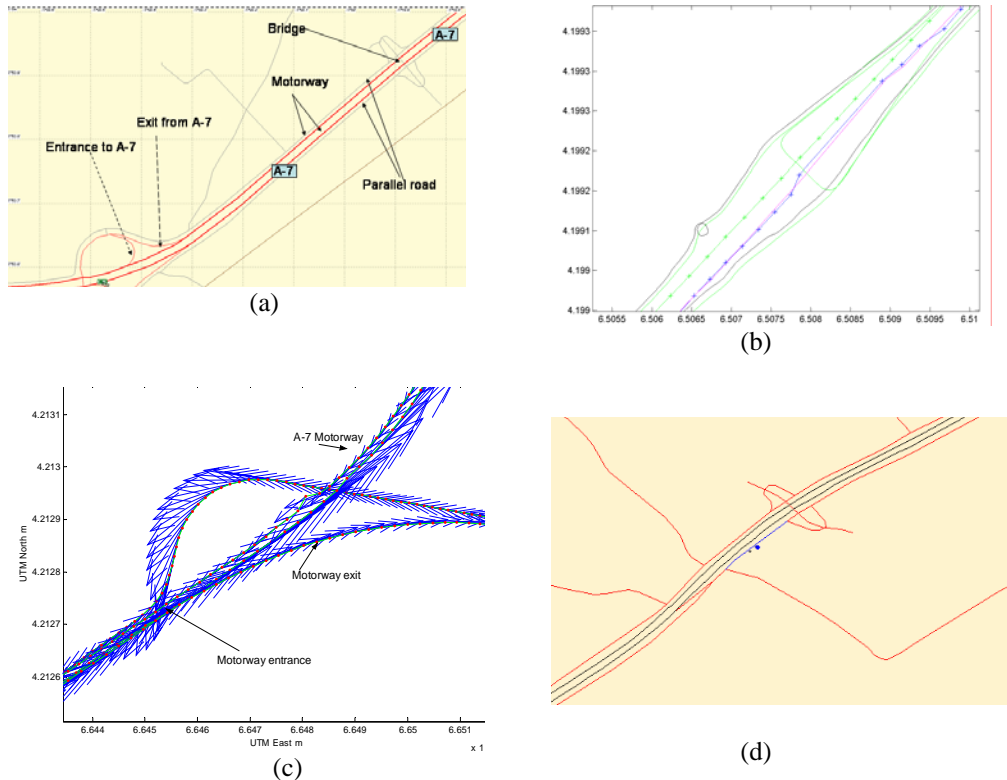
Como parte de nuestras investigaciones en el área de Sistemas de Transporte Inteligente (ITS), en la Universidad de Murcia hemos llevado a cabo una serie de pruebas de campo en la autovía A-7 y sus inmediaciones. El principal objetivo de estas pruebas es comprobar la viabilidad técnica de un sistema de peaje electrónico sin uso de infraestructura en la carretera y en la que el elemento principal sea un sensor de posicionamiento GNSS y un sistema de comunicaciones de gran cobertura, como es el caso de las redes celulares, concretamente GPRS. El factor coste, evidentemente no lo hemos obviado, pero ha pasado a ser un factor secundario, en tanto que el principal objetivo es averiguar si técnicamente sería posible disponer de una implementación “roadpricing” de este tipo. En las pruebas que aquí se comentan se han empleado dos sensores GNSS de gama media alta:

- Sensor GPS/EGNOS de Novatel, modelo Millenium OEM-3. Este sensor es capaz de procesar las correcciones EGNOS que le llegan, bien a través de los satélites geostacionario o bien a través del puerto serie COM2 (SISNeT). En este último caso las correcciones son transmitidas mediante Internet y un enlace GPRS. El protocolo empleado para enviar las correcciones es el RTCA, de acuerdo con el documento de especificaciones DO-229.
- Sensor GPS/GLONASS de Thales Navigation, modelo GG24. Se trata de averiguar si mediante el empleo de un sensor de doble constelación, se consiguen mejoras en parámetros tales como la disponibilidad.

Las pruebas se ha llevado a cabo a lo largo del tramo de la autovía del mediterráneo (A-7) que transcurre por la Comunidad Autónoma de Murcia. Si bien esta autovía no está sujeta a peaje, este factor no afecta a nuestras investigaciones, además nuestro grupo de investigación dispone de una base de datos geográfica de gran precisión (GIS) de la C.A. de Murcia, lo que nos ha permitido emplear dicha base de datos como referencia para representar la trayectoria seguida por el vehículo de pruebas. El tramo de autovía seleccionado para las pruebas presenta, a priori, unas buenas condiciones de disponibilidad de la señal GNSS (SIS), pues no existen obstáculos geográficos que puedan obstruir la SIS. Los únicos puntos conflictivos son un túnel en el término municipal de Lorca, de una distancia en torno a los 700m. y los diversos puentes que sirven como pasos elevados a las diferentes vías de servicio o carreteras que cruzan la autovía. Mientras el túnel produce una obstrucción total de la SIS y el número de satélites sincronizado por el sensor es cero, los pasos elevados, dependiendo de la velocidad del vehículo y de la anchura de éstos, normalmente produce un desvanecimiento rápido en la SIS lo que se traduce en una pérdida brusca del número N de satélites, lo que conlleva a una pérdida de la posición, si N cae por debajo de 4.

Otra fuente de obstrucción de la señal GNSS son otros vehículos de gran tamaño, que al circular de forma paralela en caso de adelantamientos, pueden provocar la obstrucción de la señal procedente de parte de los satélites. Esta situación es totalmente

aleatoria e impredecible. La probabilidad de que esto ocurra cuando la antena se encuentra situada en un coche tipo turismo es evidentemente superior a cuando la antena va situada sobre un autobús o camión de gran tamaño. Comentar que la situación de la antena del sensor GNSS a bordo del vehículo es de gran importancia para la disponibilidad.



**Fig. 1.** Circulación por vías paralelas muy próximas(a,b), salida y entrada a la autovía (c) aplicación software realizada para monitorizar remotamente la posición del vehículo y calculo del coste del peaje (d).

Las características principales de nuestra aplicación software son:

- Comunicación entre el ordenador de a bordo (PC) con el sensor GNSS mediante puerto serie
- Localización del vehículo mediante un mapa GIS de Navtech de alta resolución.
- Monitorización remota de la trayectoria mediante enlace GPRS. MODEM instalado a bordo del vehículo.
- Captura de las medidas de posición, velocidad y tiempo (PVT) mediante ficheros de texto, ASCII.
- Estimación de las distancias recorridas a través de las vías, supuestamente sujetas a pago de peaje, en nuestras pruebas, la autovía A-7. También se han medido dichas distancias mediante el tacómetro digital de coche, con el objetivo de comparar con

las estimaciones basadas únicamente en las posiciones GNSS. Las diferencias obtenidas han sido del orden de 100m en un trayecto de 100 Km, entre ambos métodos.

La unidad de a bordo instalada en nuestro vehículo se trata de un ordenador mono-tarjeta, tipo SBC, un MODEM GPRS, la antena y el receptor GNSS. Si bien los sensores empleados son capaces de dar posiciones a frecuencias de 20 Hz, en las pruebas seleccionadas se ha seleccionado una frecuencia de 1Hz, valor estándar en la mayoría de los sensores de gama baja, que supuestamente serán los empleados en una posible implementación viable desde el punto de vista económico.

Nuestras investigaciones tendientes al estudio de viabilidad técnica de una aplicación de “road pricing” basada en uso de sensores GNSS y sistemas de comunicación mediante redes celulares (GNSS/CN) se han enfocado al análisis de las siguientes situaciones, a priori, conflictivas:

- Circulación por vías paralelas, no sujetas a peaje, que transcurren a una distancia de la autovía de no más de 10 metros en tramos con distancias significativas. En estas situaciones, la precisión del sistema debe ser lo suficientemente buena como para discriminar cuando el vehículo se encuentra en la vía de pago o no, evitando cargos indebidos al usuario y posibles reclamaciones al operador del servicio de peaje (Fig. 1.a y 2.b).
- Correcta detección de las entradas y salidas en la autovía de peaje (Fig. 1.c)
- Medida precisa de la distancia recorrida y por tanto del cálculo de coste del peaje.
- Sistemas alternativos de ayuda par el caso de pérdida de la señal GNSS, caso de túneles.

La Fig. 1.d muestra una presentación del mapa GIS con las 5 últimas posiciones del vehículo superpuestas. Concretamente se muestra el caso en que el coche abandona la autovía y entra en una vía de servicio, no sujeta a pago. Esta situación es detectada por nuestra aplicación y el contador de kilómetros sujetos a peaje es desactivado. En el caso del paso por el túnel, nosotros conocemos, a priori, las coordenadas UTM de la entrada y salida de éste. Esto nos permite detectar cuando el coche ha pasado por dicho túnel, a modo de pórtico virtual, y por tanto sumar el número de metros recorridos en la cuenta del pago del peaje.

Como ya se ha comentado, se ha empleado un GIS de precisión. Para estimar si el vehículo se encuentra en un segmento de la trayectoria sujeta a peaje, la aplicación calcula la distancia al segmento GIS más próximo. Si esta distancia ( $d_s$ ) es menor que un cierto umbral  $U$ , la aplicación estima que el coche circula por dicho segmento, en caso contrario asigna el segmento más próximo. La distancia medida al segmento GIS más próximo en un trayecto de 100 Km. sobre la A-7 es de 4.4 m.

La Tabla 1 muestra datos de disponibilidad obtenidos en diferentes recorridos en la A-7 e inmediaciones, concretamente se han capturado datos de más de 700 km.

**Tabla 1.** Datos del test de roadpricing, GNSS/CN.

Sensor GNSS	Tamaño (epochs)	Distancia (km.)	Disponibilidad (%)
<b>GPS/EGNOS (Novatel)</b>	21716	407	97.6
<b>GPS/GLONASS GG24</b>	19426	363	93.6

La distancia recorrida ha sido calculada como el sumatorio de las distancias entre posiciones consecutivas del GNSS tras un proceso de suavizado. Dicho suavizado se

ha llevado a cabo mediante un proceso de media móvil en una ventana de tiempo de 5 segundos.

Las principales conclusiones obtenidas como resultado de nuestras investigaciones en el área de aplicación de peaje electrónico mediante GNSS/CN son las siguientes:

- Una disponibilidad GNSS del orden del 90% no parece suficiente para los requisitos de un sistema de peaje.
- La señal EGNOS suministrada mediante el satélite geoestacionario IOR,(PRN 131) presenta mala cobertura en el sur de España.
- La aplicación SISNeT, empleada para transmitir EGNOS mediante Internet y GPRS no garantiza el nivel de servicio requerido en tiempo real para esta aplicación.
- El aumento en el número de satélites que supone el empleo de un sensor de doble constelación no ofrece mejoras significativas en el caso de autovías.
- Mediante procesos de interpolación y suavizado de los datos suministrados por el GNSS se consiguen estimaciones de distancia recorrida con una gran precisión.
- La precisión de los actuales sensores GNSS/GIS permite resolver el problema de la discriminación de circulación por carreteras paralelas y muy próximas a la autovía.

## **Aplicación Piloto para un Sistema de Road Pricing**

Se ha diseñado e implementado una aplicación piloto de road pricing basada en un subconjunto de las especificaciones de ISO 17575. El principal objetivo consistía en analizar la capacidad de la aplicación para detectar los diferentes objetos de pago conforme el vehículo circula, y para calcular correctamente las tarifas. Se han diseñado diferentes escenarios de acuerdo con ISO 17575, incluyendo un escenario zona, un escenario corredor, y un escenario pórtico virtual. Éstos son los objetos de pago definidos en el estándar, cada uno de ellos asociado a modelo de peaje diferente. Se ha probado la aplicación con cada tipo de escenario, permitiéndonos identificar los principales pros y contras de cada solución. Una importante cuestión para nosotros ha consistido en evaluar la viabilidad de un sistema de a bordo de bajo coste. En otras palabras, ¿tendría sentido implementar un sistema de road pricing basado únicamente en una fuente de posición GNSS? ¿existe una necesidad real de incluir sistemas odométricos o inerciales? Y teniendo en cuenta las necesidades de memoria y comunicación, ¿sería viable un sistema de a bordo basado en una pequeña base de datos que incluya solamente los objetos geográficos, o es obligatorio utilizar una base de datos que incluya todas las carreteras?

Se han diseñado tres tipos de escenarios, destinados a la realización de pruebas específicas, como sigue:

- Un escenario basado en zona, en el área metropolitana de Valencia. Este escenario está destinado a tarificación en función de la distancia dentro de la zona, y las pruebas mostrarían si es posible la tarificación en función de la distancia utilizando solamente GPS.
- Escenarios basados en corredores, en la carretera CV-35 y la autopista AP-7. Las pruebas incluyen la detección de la entrada y la salida del corredor, la variación del ancho del corredor y el número de puntos, y la tarificación basada en la distancia.

- Escenarios basados en pódicos virtuales, en la carretera CV-35 y la autopista AP-7. Las pruebas incluyen la detección del pódico virtual.

El primer conjunto de pruebas realizadas se centran en el estudio de la eficiencia de la aplicación en la detección de objetos de pago. Las pruebas sobre escenarios basados en pódicos virtuales muestran un éxito del 100 por cien en la detección, mientras que en el caso de escenarios basados en corredores, se observa una dependencia con los valores del ancho del corredor y el radio de los puntos de entrada. Estos radios deben ser de al menos 20 metros para asegurar una correcta detección de vehículos a velocidades de hasta 150 Km/h. Sin embargo, se han registrado detecciones incorrectas en el 3.6 por ciento de los casos utilizando radios de 20 metros, reduciéndose hasta la ausencia de errores a 30 metros. En cuanto al ancho de corredor, en más del 90 por cien de las pruebas se ha detectado correctamente el paso utilizando 15 metros de ancho, y en más del 98 por cien utilizando 20 metros. En ambos escenarios, no se han obtenido errores en la detección debidos a carreteras paralelas o cruces.

En el caso de tarificación basada en distancia, se pueden considerar dos situaciones diferentes, en función de la visibilidad de los satélites. En carreteras, donde no existen obstáculos para la recepción de la señal GPS, se han obtenido errores típicos del 1.9 por cien, llegando a alcanzar un máximo error de 6.6 por ciento. La segunda situación ocurre en las ciudades, donde es difícil conseguir visión directa de los satélites. En este caso el error medio aumenta hasta el 5.9 por cien, y el error máximo hasta el 16.7 por cien. Además, se ha identificado un error en la medida de la distancia cuando se utilizan escenarios basados en corredores, debido a la incertidumbre de la distancia recorrida dentro del corredor en el momento de la entrada y de la salida. La variación máxima obtenida en las pruebas ha sido de 48 metros.

Adicionalmente, se ha calculado una estimación de la memoria necesaria para almacenar los objetos de pago de una provincia completa. Para ello, se han considerado las principales carreteras (autovías y autopistas) dentro de la provincia de Valencia y los límites de la ciudad de Valencia. Asimismo se han utilizado definiciones simplificadas de los objetos de pago de acuerdo con ISO 17575 con el objetivo de minimizar la memoria necesaria. De esta forma se han obtenido los siguientes resultados:

- Un escenario basado en zonas para definir la ciudad de Valencia, de 9.5 KB.
- Un grupo de escenarios basados en corredores para las carreteras, de 21 KB.
- Un grupo de escenarios basados en pódicos virtuales para las carreteras, de 10 KB.

Una parte del trabajo realizado se ha dedicado al estudio de los objetos de pago definidos en el estándar ISO 17575, identificando sus pros y sus contras. Los escenarios basados en corredores son adecuados para tarificación por distancia. Se ha observado un error cuando se utiliza sólo GNSS, por lo que se recomienda la utilización de otras fuentes de posición (odómetro/INS/tacógrafo), ya que, a pesar de que en la mayoría de las carreteras la medida de la distancia podría llevarse a cabo utilizando GNSS y cartografía, los errores obtenidos en escenarios metropolitanos son demasiado grandes para confiar sólo en GNSS. Otro inconveniente importante de la utilización de corredores es la adaptación a la forma de la carretera. La detección se localiza en la entrada del corredor, con lo que si no se detecta la entrada, no se realizará el seguimiento del vehículo por el resto del corredor. Además, las entradas se definen mediante círculos, lo que lo hace poco flexible, y se deben definir las áreas críticas para evitar carreteras paralelas, cruces y túneles. Por el contrario, los escenarios basados en pódicos virtua-

les no se pueden utilizar para medir distancias (la distancia correspondiente debe fijarse previamente), pero se adaptan mejor a la forma de la carretera. Se puede elegir una forma y situación apropiadas a lo largo del tramo de carretera, alejada de zonas críticas. Además, los pódicos virtuales pueden proporcionar una compatibilidad más sencilla con los sistemas DSRC existentes. El principal inconveniente recae en el hecho de que la detección del tramo completo está localizada en un trayecto pequeño. Finalmente, teniendo en cuenta la necesidad de memoria, a pesar de que es necesario definir un pódico virtual entre cada entrada y cada salida, la memoria necesaria es menor que la de un escenario basado en corredores.

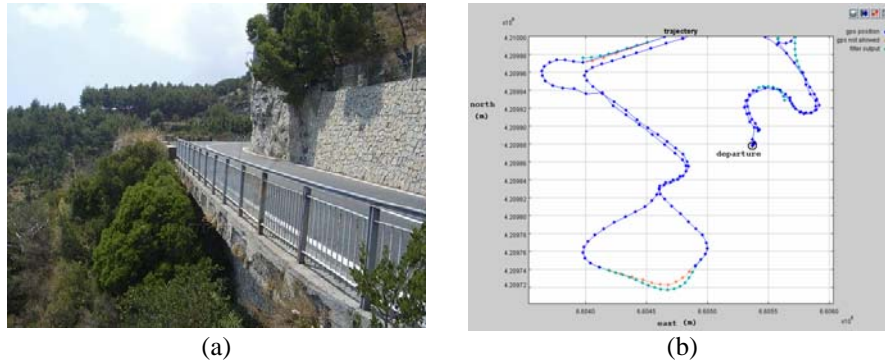
## Integración con Medidas Inerciales

En determinadas circunstancias la falta de cobertura GNSS (incluso cuando empleamos la señal SISNeT) es un problema difícil de superar con un sistema de navegación basado exclusivamente en posicionamiento por satélite. Para garantizar el éxito del sistema es necesario encontrar una solución fiable para estos períodos sin señal GPS. Para determinar la mejor manera de suplir las carencias del GNSS se han estudiado los sistemas odométricos e inerciales. La naturaleza de las medidas inerciales (aceleraciones y velocidades de giro en los tres ejes coordenados respecto al sistema de coordenadas relativo al vehículo) complementa perfectamente las deficiencias encontradas. Sin embargo, la necesidad de un proceso de doble integración para obtener la posición del vehículo a partir de las medidas de aceleración es la principal fuente de errores de un sistema integrado GPS/INS. Para evitar la deriva de la posición se deben realizar actualizaciones frecuentes. La opción de la odometría evita el problema de la doble integración, pero otros problemas tales como deslizamientos, incertidumbre en la distancia entre ejes o diferentes diámetros en las ruedas nos invitan a trabajar con otras opciones. En nuestra solución, con el objetivo de minimizar los la desviación de la posición (debido principalmente al bias de las medidas), hemos implementado modelos de error de las señales inerciales. Para fusionar las medidas procedentes de ambos equipos sensores se implementó una arquitectura de integración basada en el Filtro Extendido de Kalman (ver [9]). A continuación explicamos las mejores del sistema GNSS/INS.

La Fig. 2.a muestra una situación difícil en una carretera española. En estas circunstancias, la constelación GPS no ofrece posicionamiento, y la opción de instalar un DSRC parece lógica descartarla. La Fig. 2.b muestra el comportamiento de nuestro sistema GNSS/INS en estas situaciones. En este fragmento de una trayectoria llevada a cabo en el Campus de Espinardo de la Universidad de Murcia, la existencia de edificios y árboles cercanos a las vías bloqueó durante ciertos instantes la señal GPS. En la parte derecha de la gráfica, la posición GPS desaparece y la solución INS mantiene la información de posición actualizada. En la parte derecha del gráfico, se aprecia cómo los resultados tras deshabilitar durante algunos segundos la señal GPS son similares. Teniendo en cuenta que la frecuencia de salida de receptor GPS es de 1 Hz, podemos fácilmente apreciar cómo el sistema de navegación inercial ofrece una estimación fiable del posicionamiento durante 10 segundos (en la parte inferior de la gráfica). En pruebas realizadas en nuestro campus, los valores medios de error de po-



sición (respecto al GIS) para pérdidas de GPS DE 6, 10 y 15 segundos fueron 10, 15 y 20 metros respectivamente.



**Fig. 2.** Una típica situación en la que necesitaríamos apoyo al sistema GNSS (a). La solución INS en los casos de pérdidas de la señal GNSS (b).

Una de las principales desventajas de trabajar con tecnología inercial es su precio, que prácticamente lo incapacita para su empleo en unidades de a bordo. Sin embargo, el rápido desarrollo de la tecnología MEM (Micro-Electro-Mechanical) ofrece a fecha de hoy sensores inerciales con precios realmente bajos (de unos pocos dólares el conjunto de sensores inerciales), lo que nos anima a creer en no muy futuras unidades de a bordo para sistema de peaje remoto equipadas con tecnología inercial en los sistemas principales de apoyo al posicionamiento GNSS.

## Conclusiones

En este trabajo, los Sistemas Globales de Posicionamiento por Satélite (GNSS) se presentan como una herramienta útil para el desarrollo de sistemas de peaje automático. La aplicación de la tecnología de redes celulares a los GNSS, los sistemas GNSS/CN, aumenta la calidad de la solución. Según los resultados obtenidos en nuestras pruebas, el sistema EGNOS es capaz de mejorar la precisión del posicionamiento, ayudando en problemas debidos a la falta de precisión. Además, se ha probado la utilidad del sistema SISNeT en los casos en que el satélite estacionario no esté a la vista, al enviar la señal de corrección de posición mediante un modem GPRS. Sin embargo, esta solución no cumple con todos los requerimientos propios de un sistema de peaje automático robusto y fiable. Según nuestras investigaciones empleando de nuestro receptor GLONASS/GPS, el aumento del número de satélites en vista no enriquece la solución, y el sistema presenta las mismas carencias que sin él. Estas conclusiones nos invitan a trabajar en una solución complementaria, basada en sensores de diferente naturaleza. Con este fin hemos estudiado y presentado en este artículo sistemas de apoyo al posicionamiento basados en pórticos DRSC, pórticos virtuales, navegación inercial y odometría. Finalmente, nuestro sistema de navegación integrada

GNSS/CN/INS se muestra como una solución íntegra y fiable para su implementación en una aplicación de sistemas de peaje automático remoto.

## Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Fundación Séneca, Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia, por financiar este trabajo mediante las becas PI-78/00833/FS/01 y FPI02-00001/EFPI/04 y al Ministerio de Fomento por patrocinar las actividades de investigación.

## Referencias

1. Swiss HVF system. <http://www.are.admin.ch/are/en/verkehr/lsva>
2. Fela. HVF technical description. <http://www.fela.ch/elektroniktelem/en/hvf/index.html>
3. LKW Maut system. <http://www.bmvbw.de/lkw-maut-.720.htm>
4. Toll Collect. <http://www.toll-collect.de>
5. Directive 2004/52/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on the interoperability of electronic road toll systems in the Community
6. Proposal 2003/0175 for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 1999/62/EC on the charging of heavy goods vehicles for the use of certain infrastructures
7. Directive 1999/62/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 1999 on the charging of heavy goods vehicles for the use of certain infrastructures
8. ISO TC204 / SC5 / WG5, CEN TC278 / WG1 prCEN ISO TS 17575. Road Transport and Traffic Telematics - Electronic Fee Collection (EFC) - Application interface definition for CN/GNSS based EFC.
9. Rafael Toledo, Miguel A. Zamora, Benito Úbeda and Antonio F. Gómez-Skarmeta. An Integrity Navigation System based on GNSS/INS for Remote Services Implementation in Terrestrial Vehicles. *2004 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Washington, D.C., USA, October 3-6, 2004. pages: 477- 480.*