

Castro Malpica, M., Iglesias Martínez, L., López-Cuervo Medina, S. y Rodríguez-Solano Suárez, R. (2010): Determinación del eje de la carretera y la distancia de visibilidad utilizando datos GPS y herramientas SIG. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 413-419. ISBN: 978-84-472-1294-1

## DETERMINACIÓN DEL EJE DE LA CARRETERA Y LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD UTILIZANDO DATOS GPS Y HERRAMIENTAS SIG

*Castro Malpica, M.<sup>1</sup>, Iglesias Martínez, L.<sup>2</sup>, López-Cuervo Medina, S.<sup>3</sup>  
y Rodríguez-Solano Suárez, R.<sup>4</sup>*

(1) Dpto. de Ingeniería Civil: Transportes. UPM. maria.castro@upm.es

(2) Dpto. de Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas. UPM. luis.iglesias@upm.es

(3) Dpto. de Ingeniería Topográfica y Cartografía. UPM. s.lopezc@upm.es

(4) Dpto. de Construcción y Vías Rurales. UPM. roberto.rodriguezsolano@upm.es

### RESUMEN

Hoy en día, tanto en el proceso de diseño de las carreteras como en el análisis del funcionamiento de las ya construidas, se está dando cada vez más importancia a la seguridad vial. Entre los distintos aspectos que se consideran se encuentra la distancia de visibilidad. Por otra parte, uno de los problemas que aparecen en la práctica al tratar de analizar carreteras en servicio es la falta de datos de la geometría del eje que estén actualizados y tengan la precisión requerida. En esta comunicación se presenta un procedimiento para determinar el eje de la carretera mediante información GPS y calcular la distancia de visibilidad aplicando herramientas SIG. El procedimiento se ha aplicado a un tramo de carretera convencional de doble sentido de circulación.

El método propuesto puede ser especialmente útil en aquellas carreteras en servicio y de las que, por no contar con la información sobre su trazado (original o posteriores modificaciones), no es posible utilizar los programas de diseño de carreteras para el cálculo de la distancia de visibilidad.

Palabras Clave: Distancia de visibilidad, diseño de carreteras, GIS, GPS

### ABSTRACT

*Nowadays road safety aspects are very important, both for the designing process and for the analysis of already built roads. Sight distance is one of the most important road safety aspects to consider. On the other hand, the geometric definition of already built roads is one of the most difficult issues that arise in practice. This road geometry must be accurate and up to date. In this paper, a procedure to determine the alignment of a road using a GPS and to calculate sight distances using GIS tools is presented. Also, the use of this procedure in a two-lane rural road is described.*

*The proposed method can be especially useful for those roads whose design data are not available because, on them, road design software could not be used for sight distance calculation.*

Key Words: *Sight distance, Road design, GIS, GPS*

## INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud alrededor de un millón de personas fallecen al año en el mundo en accidentes de tráfico, siendo del orden de 50 millones el número de accidentes que se producen. Así mismo, los accidentes de tráfico suponen la segunda causa de muerte de las personas pertenecientes al grupo de población de 5 a 44 años (WHO, 2004). Debido a la importancia del problema, la sociedad se encuentra hoy en día altamente concienciada de la necesidad de atajarlo y son numerosos los esfuerzos que se están realizando en el desarrollo de técnicas que permitan identificar las causas de los accidentes de tráfico con vista a su reducción.

Entre los distintos parámetros de las carreteras, de interés en los estudios de seguridad vial, se encuentra la distancia que el conductor divisa a lo largo de la carretera, especialmente en aquellas maniobras que suponen peligro, tales como las paradas de emergencia o los adelantamientos. Esta distancia es la denominada "distancia de visibilidad disponible". Esta distancia de visibilidad hay que medirla a lo largo de la hipotética trayectoria que seguiría el vehículo a lo largo de la carretera.

Tradicionalmente los análisis de la distancia de visibilidad se han realizado a partir de programas específicos de trazado de carreteras, obteniendo dicha distancia como un producto del proceso de diseño de la misma. El problema surge cuando se desea obtener la distancia de visibilidad sobre carreteras existentes en las que los valores del diseño geométrico son desconocidos.

Por otra parte, la utilización de GPS para la obtención de información geográfica sobre carreteras ha sido útil en distintos aspectos, tales como la realización de inventarios (Ben-Arieh *et al.*, 2004; Chang, 2004), la recolección de información para la obtención de mapas destinados a navegadores (Atkinson y Sanjosé, 2004), en estudios de congestión de tráfico (integrando la información procedente de equipos GPS situados sobre vehículos con análisis dentro de Sistemas de Información Geográfica) (Taylor *et al.*, 2000) o para determinar el eje de la carretera (Castro *et al.*, 2006).

De igual modo, los Sistemas de Información Geográfica se vienen aplicando a la explotación de carreteras desde hace tiempo, sobre todo en campos como los inventarios o los estudios de seguridad vial (Lamm *et al.*, 1995; Cafiso, 2000; Steenberghen *et al.*, 2004; Castro *et al.*, 2008). Las herramientas de visibilidad con que cuentan estos sistemas se han aplicado a distintos ámbitos de la ingeniería tales como la arquitectura, la planificación del uso del suelo, o simulaciones (Fisher, 1996; Izraelevitz, 2003). Sin embargo, la utilización de los sistemas de información geográfica para la determinación del tramo de carretera visible por el conductor ha sido muy escasa hasta la fecha, aunque tendría la ventaja de que permitiría la integración de los análisis de visibilidad junto con otros relacionados con la seguridad vial, tales como los análisis de consistencia del trazado de carreteras o con los de accidentalidad (Castro *et al.* 2008) bajo la misma plataforma informática.

El presente estudio tiene por objeto integrar la información geométrica de la carretera (obtenida a partir de un GPS) dentro de un Sistema de Información Geográfica, para, posteriormente, utilizar las herramientas propias de este sistema para determinar la distancia de visibilidad disponible.

## ZONA DE ESTUDIO

La metodología propuesta se ha evaluado en un tramo de 12 km de la M-607, carretera situada en la Comunidad de Madrid (figura 1), en concreto en el tramo comprendido entre las localidades de Colmenar Viejo y Cerceda. Se trata de una carretera convencional de velocidad de proyecto 100 km/h, que discurre sobre un terreno ondulado. El radio mínimo es de 450 m y la pendiente máxima del 6%. Dispone de dos carriles (uno para cada sentido de circulación) de 3,5 m de anchura y arcenes de 2,5 m anchura.

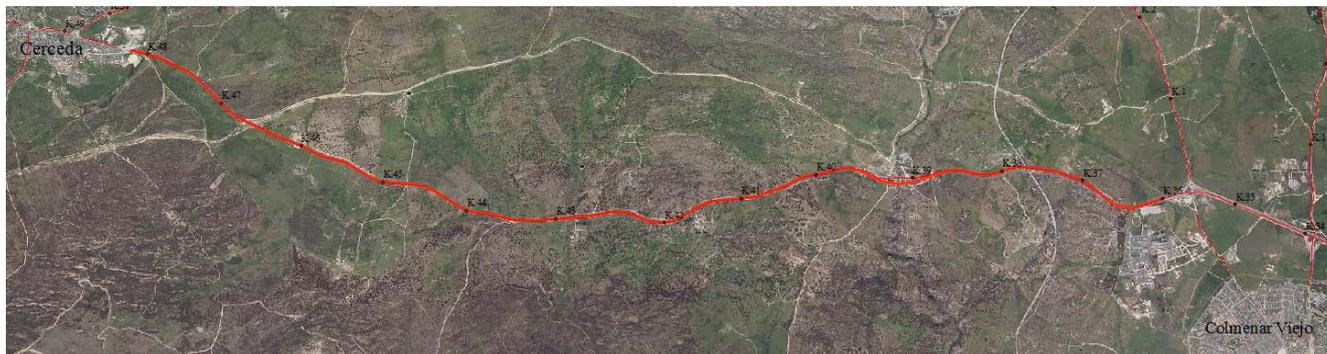


Figura 1. Zona de estudio

## METODOLOGÍA

### Determinación del eje de la carretera con GPS

El eje de la carretera se ha estimado a partir de puntos de la carretera de los que se han determinado sus coordenadas mediante un GPS y, posteriormente, se ha realizado una aproximación mediante *splines*. Para la obtención de los puntos de la carretera se ha utilizado un equipo Leica Geosystem 500, compuesto por un terminal TR500, un receptor SR 510 y una antena de tipo microstrip AT 501. El equipo fue instalado en un vehículo con el terminal y el receptor dentro del mismo, conectados con un cable coaxial a la antena que se situó en el exterior, localizada en el centro del techo (figura 2).



Figura 2. Antena GPS sobre el vehículo

El procedimiento comienza recorriendo la carretera dos veces, una por cada sentido de circulación, por lo que se disponen de dos series de puntos GPS o trayectorias seguidas por el vehículo. Hay que tener en cuenta que los datos procedentes del GPS no se corresponden con el eje de la carretera, puesto que el vehículo donde va situado el GPS sigue una trayectoria centrada aproximadamente en su carril (la antena está situada en el centro del techo del vehículo). Suponiendo que ambas trayectorias o caminos son simétricos respecto del eje de la carretera se ha desarrollado una metodología para estimar puntos situados aproximadamente en el eje (Castro *et al.* 2006). Esta metodología consiste, en primer lugar, en buscar, para cada punto de un camino, el punto más próximo del otro camino. El punto medio entre estos dos puntos será un punto del eje de la carretera. Para encontrar el punto más cercano al otro camino, se calcula la distancia entre cada punto de un camino y todos los puntos del otro, así el punto de menor distancia será el punto más próximo. Mediante esta metodología se obtiene también una estimación

de una “anchura” del carril en cada punto estimado del eje. Estas “anchuras” de carril proporcionan información sobre el error cometido en la estimación del eje. Esta metodología ha sido implementada en Matlab.

Una vez que se han estimado los puntos del eje de la carretera, se ha definido la línea del eje mediante una aproximación con splines suavizantes en coordenadas paramétricas. Para ello se ha empleado también Matlab.

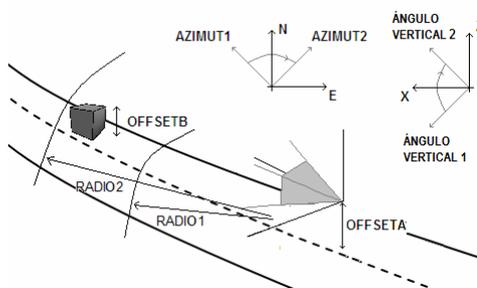
### Obtención de la distancia de visibilidad con herramientas SIG

Los datos de partida para establecer la distancia de visibilidad son: la línea que sigue el vehículo (trayectoria) y el Modelo Digital del Terreno (MDT) que establece la superficie del terreno en el entorno en el que se produce el desplazamiento del vehículo. La trayectoria se obtiene a partir del eje de la carretera (estimado mediante el procedimiento descrito anteriormente) teniendo en cuenta que, según la Norma de Trazado española (Ministerio de Fomento, 2000) ha de suponerse que el vehículo circula paralelo al borde derecho de la calzada (a 1,5 m del borde), que la altura de los ojos del conductor sobre la calzada es de 1,1 m y que el hipotético objeto a divisar tiene una altura de 0,2 m. El MDT utilizado se obtuvo de cartografía empleada para el diseño de la carretera.

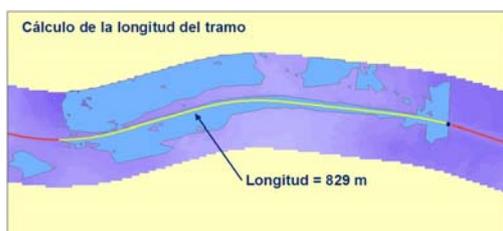
Para determinar la distancia de visibilidad, la mayoría de los algoritmos de cálculo, trazan líneas de visión que unen el punto en el que se encuentra el conductor con puntos equiespaciados situados en la trayectoria del vehículo. Si la superficie del terreno se eleva por encima de la línea de visión, entonces el punto considerado estaría fuera de la vista del conductor; al contrario, si el terreno está por debajo, el punto sería visible desde la posición del conductor. La distancia se calcularía determinando cual es el primer punto no visible (De Floriani y Magillo, 1994; Fisher, 1996; Franklin *et al.*, 1994; Wang *et al.*, 2000; Izraelevitz, 2003; McGlone, 2008).

La propuesta que se realiza en esta investigación consiste, en primer lugar, en determinar, desde el punto en el que se encuentra el conductor, la cuenca visual sobre todo el territorio considerado, y, posteriormente, por intersección con la trayectoria del vehículo, determinar la porción de dicha trayectoria que es observada por el conductor, midiendo su longitud, que es la distancia de visibilidad. En la figura 3 se representa esquemáticamente el procedimiento para determinar la distancia de visibilidad.

**Definición de parámetros (OFFSET, AZIMUT, ÁNGULO VERTICAL, RADIO)**



- Seleccionar la localización del conductor
- Calcular la zona del territorio observada por el conductor
- Calcular la longitud de la línea intersección (tramo de la trayectoria visible desde la localización del conductor)



### DISTANCIA DE VISIBILIDAD

Figura 3. Procedimiento seguido para determinar la distancia de visibilidad.

### RESULTADOS

Utilizando el método propuesto se ha determinado la distancia de visibilidad en distintos puntos situados a lo largo de la carretera considerada, en el tramo de 12 kilómetros que separa las localidades de Colmenar Viejo y Cerceda, obteniéndose el perfil de distancias de visibilidad que se presenta en la figura 4. Desde un punto de vista práctico esta distancia de visibilidad disponible habría que compararla con la distancia necesaria para que el vehículo realizara una parada de emergencia, que, de acuerdo con la Norma de Trazado española, sería, aproximadamente, de 200 m. Se observa que la mayoría del trazado dispone de una distancia de visibilidad superior a la mínima, aunque existen zonas donde se debería mejorar esta distancia de visibilidad.

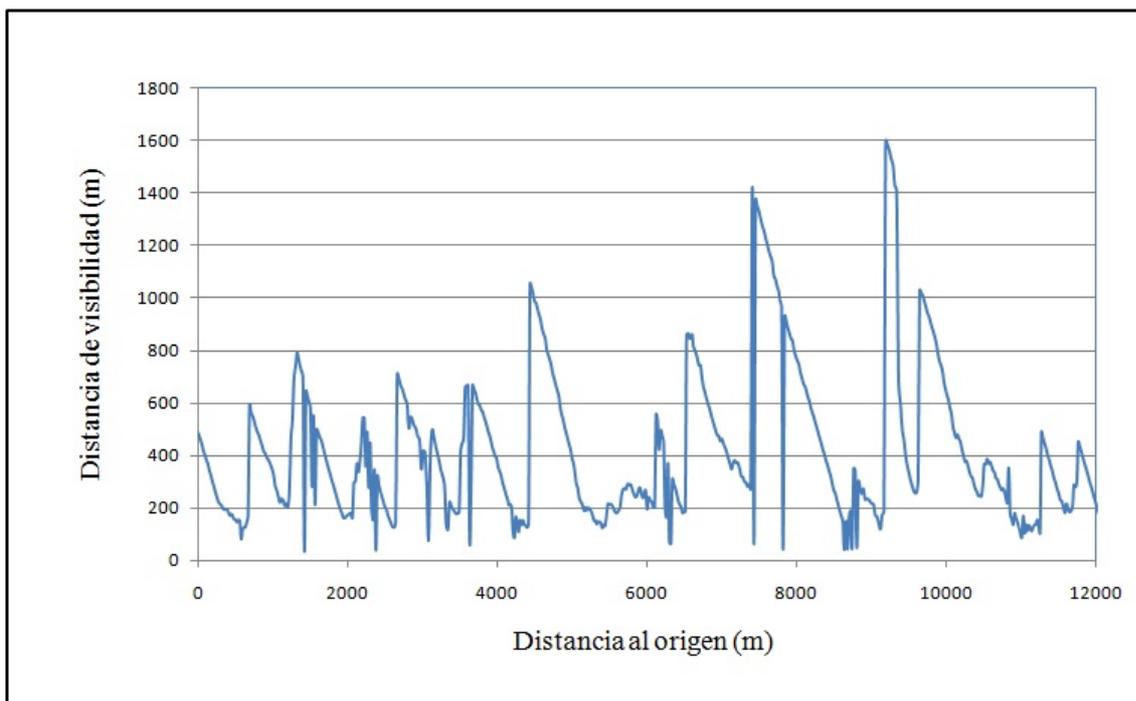


Figura 4. Resultado de aplicar la metodología al tramo de carretera considerado

## CONCLUSIONES

Se ha puesto de manifiesto la viabilidad del método propuesto para determinar la distancia de visibilidad disponible en carreteras. Este procedimiento es especialmente útil en aquellas carreteras en servicio en las que, por no contar con la definición geométrica del trazado de las mismas, no es posible utilizar software específico de diseño de carreteras. En estos casos, la utilización de GPS sobre un vehículo no específico permite obtener fácilmente la geometría del eje y, a partir de él, junto con el MDT, mediante el SIG, determinar la distancia de visibilidad.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por el Ministerio de Ciencia e Innovación mediante la convocatoria de 2009 de Proyectos de Investigación Fundamental no Orientada del Plan Nacional de I+D+i 2008-2011 (Proyecto TRA2009-14269).

## REFERENCIAS BICLIOGRÁFICAS

- Atkinson, A.D. y Sanjosé, J.J. (2004): Propuesta para el levantamiento de vías de comunicación para navegación mediante GPS. *Datum XXI* 9, 29–32.
- Ben-Arieh, D., Chang, S., Rys, M., Zhang, G., (2004): Geometric modeling of highways using global positioning system data and B-spline approximation. *Journal of Transportation Engineering*, 130(5), 632-636.
- Cafiso, S., 2000. Experimental survey of safety condition on road stretches with alignment inconsistencies. *2nd International Symposium on Highway Geometric Design*, pp. 377-387. Mainz (Germany).
- Castro M., Iglesias, L., Rodríguez-Solano, R., Sánchez, J. A. (2006): Geometric modelling of highways using global positioning system (GPS) data and spline approximation. *Transportation Research Part C-Emerging Technologies*, 14(4), 233-243.
- Castro, M., Sánchez, J. A., Vaquero, C. M., Iglesias, L., Rodríguez-Solano, R. (2008): Automated GIS-Based System for Speed Estimation and Highway Safety Evaluation. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 22(5), 325-331.
- Chang, S. I. (2004): Global Positioning System data integration and development of a three-dimensional spatial model of the Kansas highway network. *FHWA-KS-03-7*, Topeka, KS.
- De Floriani, L. y Magillo, P. (1994): Visibility algorithms on triangulated terrain models. *International Journal of Geographical Information Systems*, 8(1), 13-41.
- Fisher, P.F. (1996): Extending the Applicability of Viewsheds in Landscape Planing. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(11), 1297-1302.
- Franklin, W.M., Ray, C.K., Mehta, S. (1994): Geometric algorithms for siting of air defense missile batteries. *Technical Report, Contract No. DAAL03-86-D-0001*, Battelle, Columbus Division, Columbus, Ohio.
- Izraelevitz, D. (2003): A fast algorithm for approximate viewshed computation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69(7), 767-774.
- Lamm, R., Guenther, A. K., Choueiri, E. M. (1995): Safety module for highway geometric design. *Transportation Research Record* 1512, 7-15.
- McGlone, J.C. (2008): Photogrammetric Products. *Encyclopedia of GIS*. Springer.
- Ministerio de Fomento (2000): *Norma 3.1-IC Trazado*. Madrid.
- Steenberghen, T., Dufays, T., Thomas, I., Flahaut, B. (2004): Intra-urban location and clustering of road accidents using GIS: a Belgian example. *International Journal of Geographical Information Science*, 18(2), 169 - 181.
- Taylor, M.A., Woolley, J.E., Zito, R. (2000): Integration of the global positioning system and geographical information systems for traffic congestion studies. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 8 (1–6), 257–285.

Wang, J., Robinson, J., White, K. (2000): Generating viewsheds without using sightlines. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(1), 87-90.

World Health Organization (2004): *World report on road traffic injury prevention*. M. Peden, R. Scurfield, D. Sleet, D. Mohan, A. A. Hyder, E. Jarawan and C. Mathers Eds. Geneva.