

Metodología de Toma de Datos para el Estudio Naturalístico del Comportamiento de los Conductores



Data Collection Methodology for Naturalistic Study of Drivers' Behavior

Ana María Pérez-Zuriaga

*Profesor Ayudante, Grupo de Investigación en Ing. de Carreteras
Universitat Politècnica de València*

Alfredo García

*Catedrático, Grupo de Investigación en Ing. de Carreteras
Universitat Politècnica de València*

Francisco Javier Camacho-Torregrosa

*Profesor Ayudante, Grupo de Investigación en Ing. de Carreteras
Universitat Politècnica de València*

José M. Campoy-Ungría

*Profesor Asociado, Grupo de Investigación en Ing. de Carreteras
Universitat Politècnica de València*

Resumen

Los conductores constituyen uno de los principales elementos a considerar, tanto en la operación del tráfico como en la siniestralidad. Sin embargo, el estudio de su comportamiento es complicado por la propia naturaleza de este. Las metodologías que mejores resultados han arrojado en este ámbito están basadas en observaciones naturalísticas, por su baja influencia en el comportamiento de los conductores.

El Grupo de Investigación en Ingeniería de Carreteras de la Universitat Politècnica de València ha desarrollado una nueva metodología, basada en la combinación de dispositivos rastreadores GPS y encuestas, que, con un coste de implantación reducido, permite de forma naturalística obtener de cada conductor su perfil continuo de velocidad y los datos relacionados con las características del mismo, de su vehículo y del viaje que está realizando.

Esta metodología tiene una alto potencial tanto para el estudio del flujo de tráfico como del comportamiento de los conductores. De hecho, ya ha sido aplicada con éxito para el desarrollo de modelos para la estimación de la velocidad de operación en rectas y curvas, y el estudio de las variaciones de velocidad y las deceleraciones que se producen en las transiciones recta-curva. Estos modelos han sido posteriormente utilizados para el desarrollo de un modelo de consistencia que permite la estimación de los accidentes en tramos de carretera convencional. De esta forma, la metodología presentada se ha convertido en una herramienta para la evaluación de la seguridad vial.

PALABRAS CLAVES: GPS, observación naturalística, comportamiento de los conductores, velocidad de operación, consistencia.

Abstract

Drivers are the most important factor in traffic operation and road safety. However, study of drivers' behavior is complicated because of their characteristics. The best results in this area have been achieved by using methodologies based on naturalistic observation.

Highway Engineering Research Group of Universitat Politècnica de València has developed a new methodology for getting naturalistic data related to drivers' behavior. It is based on the combination of GPS tracker devices and drivers' surveys. This way, this low cost methodology provides individual continuous speed data profiles, drivers' sociologic data, travel data and vehicle data.

This data collection methodology can be used in traffic flow studies and drivers' behavior as well. In fact, it has been already successfully used for developing operating speed models for tangent and curve sections and for studying speed variations and deceleration at tangent-to-curve transitions in two-lane rural roads. Those models have been the key for the development of a new design geometric consistency model. It allows the estimation of the crash rate of a road segment. This way this data collection methodology has turned into a tool for road safety evaluation.

KEY WORDS: GPS, naturalistic observation, drivers' behavior, operating speed, consistency.

1. Introducción

Para el análisis tanto de la operación del tráfico como de la siniestralidad, tres son los factores concurrentes: el conductor, el vehículo y la infraestructura, además de sus interacciones. El primero de ellos es el más complicado de analizar por su propia naturaleza, pero también es el más importante.

La investigación del comportamiento de los conductores consiste básicamente en determinar cuáles son los factores influyentes sobre los diferentes grupos de conductores, además de analizar el porqué de dicho comportamiento. Para ello, pueden utilizarse distintos métodos de investigación. Los más utilizados van desde los controles experimentales, con una baja validación externa como pueden ser los experimentos con simulador, hasta estudios sin control de las variables externas y una alta validación externa, como por ejemplo los estudios naturalísticos.

Los métodos basados en la observación directa del comportamiento del conductor consisten principalmente en los experimentos controlados y los experimentos con simulador. En ellos, los investigadores tienen un control estricto de las posibles variables externas, pudiendo de esta forma aislar lo máximo posible el efecto de la variable en la que está interesado el estudio. Tienen, por tanto, una alta validación interna.

Sin embargo, lograr el control sobre el resto de variables implica que la configuración del experimento debe ser en su mayor parte artificial. Así, la validación ecológica del experimento es baja, haciendo difícil la generalización a la conducción en el mundo real.

Un paso adelante suponen los estudios en pista de ensayos o en carretera. Se trata de experimentos con cierto grado de control en configuraciones más naturalísticas o reales. Este tipo de estudios se realizan generalmente mediante vehículos reales instrumentados con el equipamiento

necesario para medir las distintas variables que permiten caracterizar el comportamiento de los conductores (trayectoria, velocidad, aceleración lateral y longitudinal, movimiento ocular) en un contexto de conducción más realista.

Llevar a cabo un estudio en una pista de ensayos conlleva una configuración más realista en cuanto al vehículo, pero el entorno sigue siendo artificial. Los estudios en carretera solucionan en parte este problema, ya que, como su propio nombre indica, se realizan en un entorno de tráfico real. A pesar de ello, sigue habiendo ciertos elementos artificiales ya que, con el fin de ser capaz de obtener resultados sobre causalidad, se pide a los participantes que se comporten de una determinada manera.

El principal inconveniente de estos dos tipos de ensayo anteriores es que los conductores son plenamente conscientes del estudio y además, en ocasiones se les exige un determinado tipo de comportamiento. Todo ello influye sobre los conductores, que alteran su comportamiento ("efecto de los observadores" o "reactividad"), produciendo sesgos en los resultados.

Por otra parte, los estudios operacionales en campo tienen como principal objetivo el estudio del sistema en desarrollo: cómo es usado por los conductores y cómo afecta al comportamiento de estos. Para ello, generalmente se utiliza un vehículo adecuadamente equipado con diferentes dispositivos que permiten tomar datos sobre diferentes indicadores del comportamiento del conductor, como puede ser la velocidad, la aceleración lateral y longitudinal o los movimientos oculares.

Los participantes conducen el vehículo del estudio durante un periodo de tiempo, en situaciones reales de conducción. De esta forma, no hay investigadores observadores en los vehículos y no se les pide a los conductores que se comporten de una determinada forma, sino como suelen hacerlo.

Este estudio es no intrusivo y su configuración es realista, por lo que su validación ecológica es alta. Sin embargo, uno de los factores que pueden afectar el comportamiento de los conductores es que se encuentran conduciendo un vehículo instrumentado y no su propio vehículo. Por tanto, tampoco esta metodología es totalmente naturalística, es decir, el comportamiento de los conductores se encuentra influenciado por aspectos propios de la investigación.

En las metodologías de toma de datos anteriores la muestra de conductores estudiada debe ser reducida debido a que este tipo de estudios implican un alto coste de dinero y de tiempo. Además, los participantes suelen ser voluntarios conocedores de la investigación, lo cual influye en cierta medida sobre el comportamiento de los conductores e impide la generalización de los resultados a la población real.

A diferencia de las metodologías anteriores basadas en diferentes tecnologías que permiten la obtención de datos objetivos, pueden tomarse datos subjetivos del comportamiento de los conductores mediante autoinformes. Con ellos se puede alcanzar una gran muestra, permitiendo así la generalización a toda la población. Para ello, suelen utilizarse baterías de preguntas validadas (DBQ o DAIS).

Su principal limitación es que consiste en el estudio de informes subjetivos de los participantes sobre su propio comportamiento. Esto conlleva errores como respuestas sesgadas por aceptación social, no entendimiento de preguntas, opciones de respuesta inadecuadas, la diferencia entre intención y comportamiento, etc.

En todos los estudios anteriores, una de las principales variables a analizar y que caracteriza en gran medida el comportamiento de los conductores es la velocidad a la que estos circulan y su variación. A dicha velocidad se la conoce como velocidad de operación.

Debido a la importancia de la velocidad de operación como indicador del comportamiento de los conductores, se han desarrollado multitud de métodos para su estudio. Principalmente, se pueden distinguir dos grandes grupos de metodologías de recogida de datos: las puntuales y las continuas.

Para la toma de datos puntuales de velocidad, la metodología más utilizada se basa en la utilización de pistolas radar (Gibreel et al., 2001). Se trata de un método sencillo y de bajo coste, pero presenta tres problemas a considerar:

- Error del coseno: es inducido por la desviación entre el rayo radar leído y la dirección de evolución del vehículo.
- Error humano en el registro de las velocidades.
- Variación del comportamiento de los conductores en caso de percibir que están siendo observados.

En otros estudios, como los presentados por Fitzpatrick et al. (2000) y Misaghi y Hassan (2005), se intentó corregir estos problemas, utilizando además sensores piezoeléctricos en el pavimento conectados con contadores/clasificadores de tráfico, ubicados en un único punto o en varios. Al igual que con la metodología anterior, solamente se pueden tomar datos puntuales, por lo que no es posible estudiar adecuadamente la aceleración y deceleración. Para el estudio de estas dos variables pueden utilizarse las pistolas Light Detection and Ranging (Lidar). A diferencia de las pistolas radar, que únicamente miden velocidad, con las Lidar es posible medir la distancia a la que se encuentra el vehículo a la vez que su velocidad, permitiendo así localizar las mediciones y determinar su variación.

Con todos los dispositivos de toma de datos mencionados en este apartado es posible recoger una amplia muestra de datos de velocidad (generalmente alrededor de 100 datos en cada punto) con mayor o menor influencia en el comportamiento

de los conductores. Sin embargo, con todos estos procedimientos únicamente se consigue obtener datos de velocidades puntuales en un segmento de carretera, aunque como en el caso de las pistolas Lidar los datos no se limiten a un único punto.

La limitación más importante de los modelos basados en datos puntuales de velocidad es que los datos registrados no muestran adecuadamente los cambios de velocidad, al tratarse de mediciones discretas. Por ello, los modelos de aceleración y deceleración inferidos a partir de estos datos no representarán adecuadamente el comportamiento de los conductores. Para solventar este problema, deben emplearse metodologías continuas de toma de datos.

Para obtener estos perfiles continuos puede realizarse una recogida de datos de una muestra de vehículos basada en un seguimiento pasivo por medio de dispositivos GPS. Esta metodología fue utilizada por Jiang y Li (2001) para el estudio de demoras de tráfico y por Wang et al. (2006) para el estudio de la influencia del entorno de zonas urbanas de baja velocidad en las velocidades de los conductores.

Otro método que se ha utilizado en diferentes estudios y con el que se obtienen datos continuos de velocidad es el vehículo instrumentado. Este método, utilizado por Yang y Hassan (2008) y Hu y Donnell (2008), puede arrojar resultados condicionados por el equipamiento del vehículo, el número de las observaciones y por la selección de participantes, como se ha comentado anteriormente.

Inconvenientes similares tiene la utilización de los simuladores de conducción para la obtención de perfiles continuos de velocidad (Bella, 2008). En este caso, a pesar de la exhaustiva elección de los conductores y el vehículo utilizado, la visión de los conductores es diferente, así como su riesgo asumido, no correspondiéndose con el comportamiento real de los conductores.

Así como obtener una muestra relativamente importante de datos en mediciones puntuales de velocidad era sencillo, para conseguir el mismo tamaño de muestra para mediciones continuas de velocidad es necesario un tiempo de toma de datos sensiblemente mayor, lo que limita dicho tamaño entre 30 y 100 vehículos, dependiendo de diversos factores. La preparación de la prueba requiere igualmente un mayor esfuerzo, por lo que el número de tramos también suele ser reducido.

Finalmente, cabe destacar otro método que permite paliar las deficiencias de la toma de datos puntuales y la influencia sobre el comportamiento de los conductores de las metodologías descritas para la obtención de perfiles continuos de velocidad: la grabación y el procesamiento de videos. Esta metodología, que es totalmente naturalística por no influir en absoluto en el comportamiento de los conductores si las cámaras están ubicadas adecuadamente, necesita que el estudio se centre en una localización relativamente reducida de la vía, por lo que sólo es útil para estudios locales y segmentos de carretera reducidos. Existe la posibilidad de combinar grabaciones de diversos videos para cubrir áreas ligeramente más extensas, pero a costa de aumentar significativamente el tiempo de procesamiento posterior.

Con el fin de subsanar la mayor parte de estas deficiencias, el Grupo de Investigación en Ingeniería de Carreteras (GIIC) de la Universitat Politècnica de València ha desarrollado una metodología de toma de datos basada en la utilización de dispositivos rastreadores GPS. Con esta metodología se obtienen perfiles continuos de velocidad de una amplia muestra de conductores conduciendo su propio vehículo. Asimismo, se realiza una pequeña encuesta a los conductores, con lo que es posible obtener también datos sociológicos de los mismos, datos sobre el vehículo y sobre el viaje, que son variables que pueden tener una importante influencia en la velocidad elegida por los conductores.

2. Objetivo

El objetivo de la metodología de toma de datos desarrollada es obtener, de un modo sencillo y naturalístico, datos que faciliten el estudio del comportamiento de los conductores en tramos de carretera, especialmente a través de su perfil de velocidad.

Para ello, es necesario que el método desarrollado permita obtener los datos de una muestra suficientemente representativa, tanto de tramos de vía de suficiente longitud como de conductores. Además, el método de toma de datos no debe influir significativamente en el comportamiento de los conductores, con el fin de garantizar que los datos recogidos sean naturalísticos.

Puesto que sobre la velocidad de operación influye un gran número de variables, tanto geométricas como sociológicas, la metodología propuesta deberá permitir la toma de datos sociológicos del conductor, de los pasajeros, los datos referentes al viaje que realiza (especialmente su longitud) y los datos del vehículo.

Todo ello, con el fin de obtener datos suficientes que permitan un estudio estadísticamente significativo del comportamiento de los conductores.

3. Metodología de toma de datos

A continuación, se presenta el procedimiento de toma de datos desarrollado, indicando previamente los medios necesarios para el mismo. Esta metodología permite obtener de forma sencilla datos muy valiosos para diferentes tipos de investigaciones y estudios. Para ello, es necesario detener el tráfico en el tramo de carretera a estudiar con el fin de colocar un dispositivo rastreador en cada uno de los vehículos que por él circulan, al tiempo que se recaba información sobre los conductores, los vehículos que conducen y los viajes que realizan.

Teniendo en cuenta los necesarios cortes momentáneos del tráfico, es



Figura 1. Rastreador GPS.

necesaria una preparación exhaustiva de la prueba y una adecuada coordinación de su equipo humano para no interferir excesivamente en este.

3.1 Medios necesarios

En este apartado se considera tanto el material necesario para la realización de las pruebas como el personal que se precisa para su buen funcionamiento, teniendo en cuenta la rapidez y eficacia con la que deben realizarse, para minimizar los trastornos que puedan producirse a los conductores.

Entre los distintos materiales necesarios destacan los rastreadores GPS, ya que serán los dispositivos que almacenarán los datos de velocidad y posición. Sin embargo, hay otro pequeño material sin el cual no podría realizarse las pruebas adecuadamente. Por ello, se han distinguido entre material inventariable, pequeño material inventariable, y consumibles.

Material inventariable

El material inventariable necesario para la toma de datos se compone de rastreadores GPS, teléfonos móviles, cámaras de vídeo y cámaras de fotos.

Para la toma de datos se precisan alrededor de 50 rastreadores GPS (la cantidad variará en función del objetivo de la investigación), alimentados eléctricamente mediante pilas AAA recargables.

Los dispositivos rastreadores utilizados se basan en la señal de 16 satélites, con una precisión superior a 2,5

metros, registrando cada segundo los datos de latitud, longitud, altitud, azimut, fecha y hora. La memoria disponible es de aproximadamente 100 horas. Una vez realizadas las mediciones, mediante una salida USB, conectada directamente desde el aparato a un PC convencional, es posible proceder al volcado de los datos registrados.

Estos dispositivos pueden situarse centrados sobre el techo de los vehículos gracias al potente imán que poseen, como se muestra en la Figura 1.

Puesto que estos rastreadores son colocados en los vehículos de los conductores reales, deben ir adecuadamente identificados para facilitar su control, tanto en la entrega como en la recogida de los mismos. De esta forma, igualmente, se puede controlar si se extravía alguno durante la realización de la prueba.

Como posteriormente se comentará, existen dos equipos humanos colocados al inicio y final del tramo de carretera, entre los cuales circulan los vehículos con los dispositivos GPS. Es necesario mantener la comunicación entre estos puntos, por lo que se dispone de teléfonos móviles.

Asimismo, se precisan dos cámaras de vídeo para la comprobación de no condicionamiento de la circulación, cuyo procedimiento se detalla en el apartado correspondiente. Se precisan también los correspondientes trípodes.

Finalmente, con dos cámaras de fotos se recoge información gráfica con la que ilustrar el desarrollo de cada prueba.

Pequeño material inventariable

El pequeño material inventariable utilizado en todas las pruebas se compone de paletas de señalización manual STOP, conos de señalización vial, identificaciones, chalecos reflectantes, dos destornilladores y cinta métrica.

El personal que se encuentra en los puntos de control debe ir adecuadamente identificado con el fin de dar confianza a los conductores a los que se les solicita colaboración y agilizar, de este modo, la explicación que se les da durante la entrega de los GPS. Las paletas de señalización son necesarias para detener el tráfico en los puntos de control, así como para permitir el avance.

Los puntos de control son habilitados mediante conos, creando unas isletas aprovechando los arcones y cualquier ensanchamiento de la plataforma. Previamente a estas isletas se deben situar señales de peligro y de limitación de la velocidad, con el objetivo de advertir a los conductores. Dichas señales son, generalmente, suministradas por el personal de conservación de carreteras. Asimismo, todo el personal debe llevar el correspondiente chaleco reflectante por cuestiones de seguridad.

Por otra parte, para cambiar las baterías de los aparatos es necesario disponer, al menos, de dos destornilladores. Los dispositivos GPS deben contar con pilas nuevas previamente a la realización de cada prueba, aunque en alguna ocasión puede ser necesario realizar algún remplazo durante la misma.

Finalmente, en cada prueba se toman medidas de la sección transversal en distintos puntos de tramo, por lo que es necesario disponer de una cinta métrica.

Consumibles

Para las pruebas a llevar a cabo se precisan una serie de consumibles, como son: pilas AAA para los

rastreadores GPS, libretas y bolígrafos, formularios y encuestas, cintas para las cámaras de video, y pintura.

También, para facilitar el proceso de información a los conductores y mostrarles la importancia de su colaboración, se elabora un folleto o tríptico en el que se explican los puntos y objetivos más importantes del proyecto o estudio del que forma parte el experimento en el que participan. Este folleto se entrega a los conductores en el punto de recogida de rastreadores, al agradecerles su colaboración.

Personal

Para el adecuado desarrollo de la prueba se precisa contar con seis personas: dos personas en cada control de entrega de GPS y una en cada control de recogida de GPS. En caso de que la IMD del tramo sea baja, la tarea de reorganizar el tráfico es más sencilla, por lo que puede realizarse la toma de datos únicamente con 4 personas.

En los controles de entrega se requiere la presencia de dos personas ya que, mientras una de ellas informa al conductor de las pruebas para las que se precisa su colaboración y le hace una serie de preguntas, la otra coloca el rastreador en el vehículo y anota datos como el modelo del vehículo, el color, la matrícula, el sexo del conductor, la edad aproximada del conductor, los ocupantes, etc.

La persona situada en el control de recogida formula a los conductores unas breves preguntas acerca del tramo que acaban de conducir (por ejemplo la velocidad percibida) y les entrega un tríptico del proyecto o estudio, agradeciendo su colaboración.

Para coordinar todo el equipo, dos personas deben supervisar el desarrollo de las pruebas, solventando cualquier incidente que pueda surgir. Generalmente, estas dos personas forman parte del equipo de los controles, y únicamente es necesario que se dediquen exclusivamente a la coordinación del equipo en tramos con alta intensidad de tráfico.

Adicionalmente, es necesario contar en cada uno de los extremos con la presencia de personal de conservación de la vía para facilitar la detención de los vehículos y la gestión del tráfico.

3.2 Procedimiento de toma de datos

Al describir el procedimiento de toma de datos hay que tener en cuenta no sólo el trabajo de toma de datos en carretera sino también el trabajo necesario en gabinete, tanto para la preparación de cada una de las campañas como para la organización del material tras la toma de datos en campo.

Trabajo de gabinete antes de la toma de datos

El primer paso a realizar es el estudio de los posibles tramos para la toma de datos. Para ello, hay que tener en cuenta una serie de factores que van a determinar su elección:

- Intensidad media de vehículos y composición del tráfico. Dependiendo del objetivo del estudio, es necesario buscar tramos de vía con mayor representación de vehículos ligeros o con mayor porcentaje de pesados. En cualquier caso, la IMD no debe ser excesivamente alta ya que se van a realizar cortes de tráfico con lo que pueden producirse retenciones considerables si la IMD es alta.
- Descompensación por sentidos. El tráfico en ambos sentidos de circulación debe estar compensado ya que de esta forma se garantiza que aproximadamente el número de GPS que se envían en una y otra dirección es el mismo, garantizando la existencia de, al menos, 5 GPS en ambos controles.
- La longitud del tramo de toma de datos. Este parámetro merece especial consideración ya que de su elección depende que se consiga, o no, un adecuado y eficaz funcionamiento de las pruebas sin llegar a romper la cadena de entrega y recogida de los aparatos rastreadores.

res. En su determinación hay que considerar la intensidad de tráfico y la velocidad media de los conductores en el tramo.

- Intersecciones. Es preferible que los tramos no cuenten con ninguna intersección importante que pueda aportar un flujo considerable de vehículos a la zona de pruebas y por la que puedan salir vehículos ya equipados con GPS antes de devolverlo, lo que comportaría su extravío. Esta afirmación puede variar si lo que se pretende es estudiar el comportamiento de los conductores en el entorno de una intersección, en cuyo caso habría que disponer un tercer control en la carretera transversal.
- Las personas ubicadas en los controles deben estar intercomunicados por lo que hay que tener en cuenta la cobertura de teléfonos móviles a la hora de seleccionar los tramos (principalmente condicionantes orográficos).
- Al inicio y al final del tramo debe haber espacio suficiente para ubicar los controles de entrega y recogida. Además es preferible que se trate de un elemento en el que se modere la velocidad, como puede ser una glorieta o la entrada a una población, de forma que el riesgo para los operadores que se encuentran en la carretera sea el mínimo posible.

Una vez determinadas las localizaciones de los tramos de toma de datos, y puesto que se va a llevar a cabo una actuación sobre el tráfico, se debe proceder a la solicitud de los permisos necesarios a las administraciones competentes de las vías en las que se pretende llevar a cabo la campaña de toma de datos y a la Dirección General de Tráfico, con el objetivo de obtener los correspondientes permisos.

Posteriormente, antes de comenzar con la experimentación hay que diseñar e imprimir tanto los folletos informativos a entregar, como las encuestas con la relación de preguntas a realizar.

Asimismo, un trabajo previo es la instalación del software específico en los ordenadores en los que se descarga la información de los GPS, la configuración de dichos dispositivos y garantizar que la memoria de los mismos está libre y preparada para la captura de datos.

Toma de datos

La toma de datos se basa en la colocación de los dispositivos GPS en los vehículos de los conductores que circulan por un determinado tramo de vía, sin que estos estén relacionados con la investigación. De esta forma, se obtienen datos de los conductores reales de la vía.

La toma de datos se desarrolla entre dos puntos previamente determinados, entre los que circulan los vehículos con los dispositivos GPS. En cada uno de estos puntos se sitúan controles de entrega y recogida de dispositivos. Cuando un vehículo entra en el tramo, se le detiene y se le pregunta si desea colaborar en la investigación o estudio. En caso afirmativo, se le hacen una serie de preguntas y se le coloca el dispositivo GPS. La duración aproximada de este proceso es de dos minutos, en la cual la circulación en ese sentido permanece cortada. Por ello, se recomienda que los tramos elegidos no presenten una IMD demasiado alta. Cuando la longitud del tramo afectado por la congestión

producida por los controles sea apreciable, se permitirá el paso de los vehículos sin proceder a la instalación del GPS durante cierto tiempo, con el fin de no perjudicar excesivamente la circulación global de la vía. Una vez evacuado el volumen adecuado de vehículos se continuará con el proceso de toma de datos. Cuando un vehículo equipado llega al control de recogida, se le vuelve a detener, se recoge el dispositivo GPS y se le hacen unas preguntas sobre el recorrido, además de entregarle el folleto informativo y agradecer su colaboración. En esta ocasión, el tiempo aproximado necesario es de un minuto.

Las pruebas tienen una duración estimada de cuatro horas para poder conseguir una muestra de, al menos, 100 vehículos por sentido de circulación, dependiendo de la IMD de la vía. Sin embargo, generalmente el personal permanece en el lugar, aproximadamente, seis horas por el tiempo empleado en la preparación de los controles y en la toma de medidas de la sección transversal en distintos puntos de la vía. Los puntos de control deben ser, necesariamente, implantados por la cuadrilla de conservación destinada a esa tarea por la administración titular de la carretera por lo que el tiempo aproximado de duración de las pruebas debe ser establecido previamente.

El esquema global del corte a realizar en la vía se muestra en la Figura 2.

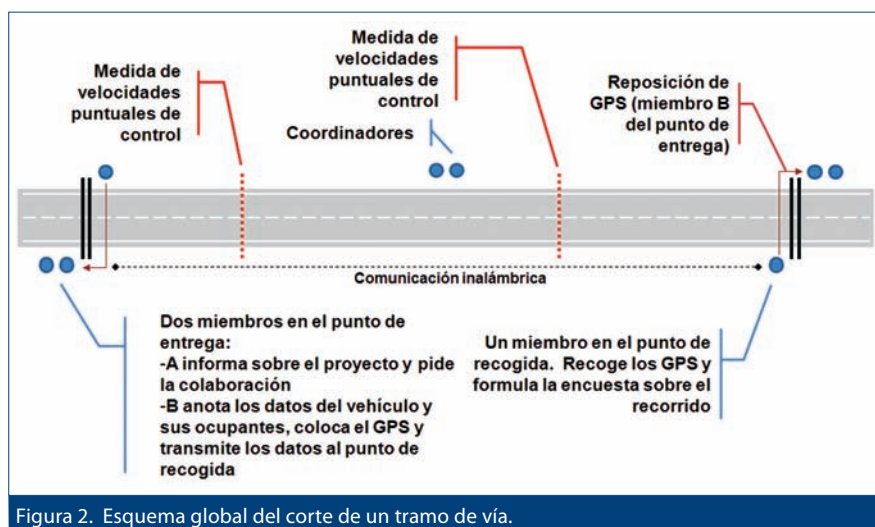


Figura 2. Esquema global del corte de un tramo de vía.

Trabajo de gabinete después de la toma de datos

Al finalizar cada toma de datos se procede a la retirada de las pilas, para evitar su agotamiento, y a la descarga de los datos al ordenador.

Por otra parte, hay que tratar los datos tomados en los formularios al hablar con los conductores que han colaborado con el estudio. En principio, los datos de que se dispone tras las jornadas de toma de datos son los siguientes (aunque variarán en función del estudio):

- Datos del recorrido:
 - Sentido
 - Hora de inicio
- Datos del conductor y del viaje realizado por él:
 - Sexo
 - Edad y años conduciendo
 - Kilómetros recorridos en un año
 - Origen y destino del viaje
 - Frecuencia del viaje: diferenciando si es habitual o no
 - Motivo del viaje: diferenciando si es por motivos laborales o no
- Datos de los ocupantes: número de niños, adultos y ancianos que acompañan al conductor
- Datos del vehículo:
 - Marca y modelo
 - Matrícula
- Datos de la percepción del recorrido por parte del conductor:
 - Condicionamiento y motivos
 - Conocimiento del límite genérico de velocidad
 - Opinión sobre el límite: si considera que es adecuado y por qué
 - Percepción de si las señales de tráfico y, especialmente las de los límites de velocidad, se encuentran visibles
 - Velocidad media que el conductor considera que ha desarrollado en el tramo recorrido

Los datos del recorrido como la hora de inicio y el sentido de circulación son imprescindibles para su identificación y la diferenciación entre unos recorridos y otros. Estos datos permiten, posteriormente, contrastar

los datos de los GPS con los obtenidos por medio de las encuestas.

3.3 Prueba piloto

Antes de comenzar cualquier serie de pruebas, y especialmente a la hora de implantar una nueva metodología en la toma de datos, es necesario realizar una prueba piloto. En ella se debe implantar el procedimiento a seguir en las siguientes, de forma que se establezcan nuevos criterios en función de los objetivos del estudio y de las dificultades propias de cada zona. Muchos de los datos y tiempos presentados en este artículo deben ser particularizados para cada estudio, en función de las condiciones particulares del mismo y del emplazamiento utilizado.

4. Comprobación del carácter naturalístico de la toma de datos

Durante la realización de un estudio en el que se pretende caracterizar el comportamiento de los conductores, la interacción con ellos es prácticamente inevitable. Esta interacción puede provocar un cambio de comportamiento en los mismos que puede sesgar los resultados del estudio. Por ello, es necesario verificar si los conductores que participan en la prueba se comportan de forma similar a los que no lo hacen.

Esta comprobación se basa en la medición de velocidades puntuales, un día anterior a la jornada de toma de datos y durante la jornada de toma de datos cuando los vehículos van equipados con los GPS, con el fin de poder comparar ambas situaciones y determinar si se presenta una diferencia significativa.

La medición de las velocidades puntuales se ha de llevar a cabo, al menos, en dos puntos intermedios del tramo de vía: en una sección que permita una circulación lo suficientemente libre (tramo recto) y en una sección que suponga un control de la velocidad (tramo curvo de radio intermedio).

La medición se puede realizar con diversos medios. Una forma sencilla es a través de grabaciones de video y el empleo posterior de un software de restitución de trayectorias. Para ello, las grabaciones tienen que direccionarse transversalmente a la vía, ocultando adecuadamente las cámaras para que no sean percibidas por los conductores. Por el mismo motivo, las marcas en la vía utilizadas como referencias para la posterior restitución de la velocidad deben ser lo más pequeñas posible.

Tras la restitución de las trayectorias a partir de las grabaciones de video y la posterior obtención de la velocidad de los vehículos analizados, se comparan los datos obtenidos antes y durante la toma de datos con GPS para cada una de las secciones. Solo se han de procesar las velocidades puntuales de los vehículos ligeros que hayan circulado en flujo libre, es decir, sin estar condicionados sus conductores por otros vehículos precedentes (intervalo mayor de 3 a 5 segundos).

Esta comprobación se ha llevado a cabo, para comprobar la validez de la metodología propuesta, en dos tramos distintos de carretera en los que se han tomado datos con esta metodología dentro de un proyecto de investigación. A partir del análisis estadístico correspondiente, se ha observado que en todos los casos las varianzas de las muestras comparadas se pueden suponer iguales y, por tanto, se ha realizado el contraste de medias con varianzas iguales. Este análisis ha concluido, en los cuatro casos estudiados (dos curvas y dos rectas en cada uno de los tramos estudiados), que las medias poblacionales de las velocidades de operación se pueden considerar estadísticamente iguales, es decir, que no hay diferencias significativas entre las velocidades registradas antes y durante la toma de datos mediante la metodología propuesta. Ello valida esta metodología para la toma de datos de velocidad, al no influir en el comportamiento de los conductores, por lo que puede considerarse como una toma de datos naturalística.

5. Debilidades y fortalezas de la metodología

La principal fortaleza de la metodología propuesta es que permite tomar datos sobre el comportamiento de los conductores, mediante el registro de los perfiles continuos de velocidad de cada uno de ellos a lo largo de un tramo de vía. Así, se obtienen observaciones objetivas relacionadas con el comportamiento de los conductores, que no están sujetas a errores propios de los autoinformes, como la búsqueda de aceptación social. Además, las muestras que pueden alcanzarse son relativamente altas, por lo que se puede llegar a una generalización de los datos.

Pero, sin duda, la fortaleza más importante de la metodología es que esta observación se hace de forma naturalística, es decir, se toman datos sobre el comportamiento de los conductores en situaciones reales y con su propio vehículo equipado únicamente con un pequeño dispositivo, en contraposición a los datos recogidos en simuladores o en situaciones controladas por los investigadores.

Sin embargo, esta fortaleza conlleva importantes debilidades. Una de las más importantes, al igual que ocurre con otros estudios no controlados, es la dificultad para determinar la causa exacta del comportamiento registrado ya que hay variables externas que el investigador no puede controlar. De ahí la importancia de seleccionar adecuadamente el tramo y las condiciones del estudio.

Otra debilidad, precisamente ligada a la fortaleza más importante del método, es la cantidad de datos recogidos, la cual comporta una alta necesidad de recursos en almacenamiento, reducción de datos y análisis. Sin embargo, esto permite que en una única jornada se obtenga una gran cantidad de datos correspondientes a variables muy distintas que pueden ser utilizados en diferentes estudios.

Para obtener esa gran cantidad de datos hay que tener en cuenta una

debilidad más de la metodología que es la necesidad de una buena organización, desde el inicio con las solicitudes de permisos hasta el final del proceso cuando los datos son almacenados. En este proceso el punto crítico es la toma de datos de campo. En ella hay que tener en cuenta diferentes aspectos:

- Si las condiciones meteorológicas no son las adecuadas para el estudio es preferible cancelar la toma de datos ya que, en caso contrario, los datos obtenidos estarán sesgados.
- Un tráfico descompensado puede provocar escasez de GPS en uno de los controles. Para evitar esta situación es recomendable que, cuando el número de GPS en un punto de control aumenta excesivamente (con lo que en el otro punto de control el número de GPS es muy reducido), se envíen dos o más GPS en cada vehículo, hasta volver a alcanzar una posición de equilibrio.
- Acumulación de vehículos en el control de entrega. Debido a una alta IMD en el tramo, se puede llegar a acumular varios vehículos en el control de entrega, produciendo malestar entre los conductores. Para evitarlo, es recomendable, cuando se acumulen más de tres vehículos, dejarlos pasar sin colocarles el GPS ya que si se opta por agilizar la tarea de colocación de GPS y el objetivo de la investigación era registrar velocidades en flujo libre, esta premisa puede no cumplirse con lo que los datos no serían válidos.

Finalmente, la mayor debilidad de la metodología es que los operadores deben situarse en la vía y parar el tráfico, lo que supone un riesgo para su seguridad. Con el fin de evitar posibles accidentes, la tarea de parar vehículos es preferible que sea realizada por el personal de conservación de la vía, ya que cuentan con una amplia experiencia en esta tarea.

Como puede comprobarse, la metodología de toma de datos presenta varias debilidades, pero estas pueden

ser subsanadas con una adecuada organización y teniendo en cuenta las recomendaciones reflejadas en este artículo. De esta forma, se convierte en una metodología, basada en la observación naturalística de los conductores, que facilita la obtención de una gran cantidad de datos continuos de velocidad, constituyendo así una base para el estudio del comportamiento de los conductores.

6. Aplicaciones

Pérez-Zuriaga et al. (2010) utilizaron esta metodología de toma de datos para el desarrollo de nuevos modelos de velocidad de operación, así como también para contrastar ciertas hipótesis consideradas en modelos anteriores que estaban basados en datos puntuales de velocidad. Todo ello gracias a la obtención de perfiles continuos de velocidad, que permiten un estudio más preciso de las variaciones de velocidad y de las aceleraciones/deceleraciones.

La metodología presentada se aplicó a la toma de datos de velocidad en cuatro tramos de carretera de la provincia de Valencia. Tras el procesamiento de los datos y la ejecución de distintos algoritmos desarrollados específicamente, se obtuvo para cada uno de ellos la restitución de la geometría, representada por el diagrama de curvaturas (o, en su caso, el diagrama de azimuts), y la distribución de la velocidad correspondiente, representada por el diagrama de percentiles (ver Figura 3).

Con el estudio de estos datos se desarrollaron diferentes modelos para la estimación de la velocidad de operación, representada por el percentil 85, en curvas y en rectas, utilizando parámetros geométricos como variables explicativas. Asimismo, se estudiaron las variaciones de velocidad que tienen lugar en la transición recta-curva, comparando $\Delta_{85}V$ (percentil 85 del incremento de velocidad) con ΔV_{85} (incremento de la velocidad 85), analizando el porcentaje de deceleración

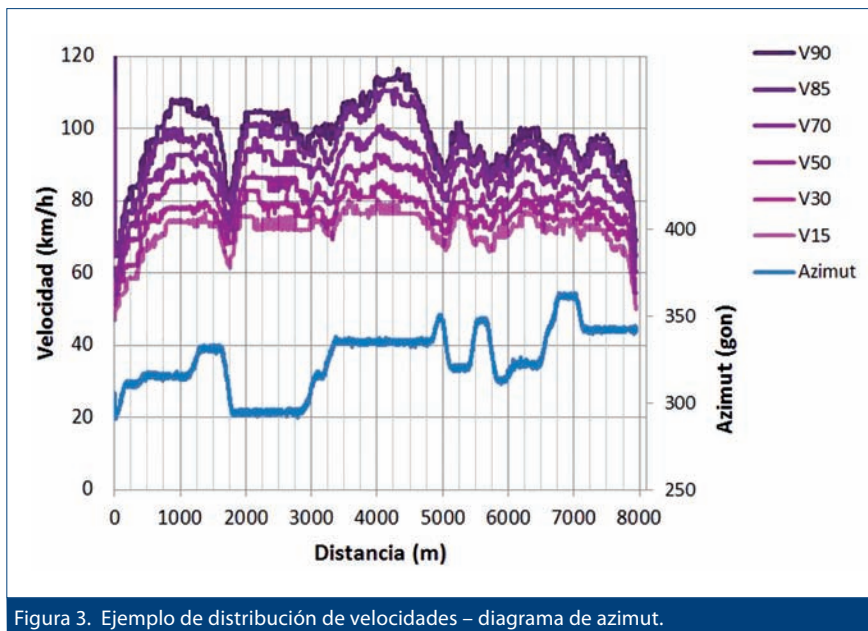


Figura 3. Ejemplo de distribución de velocidades – diagrama de azimut.

que tiene lugar en la curva y desarrollando dos modelos para la estimación de la deceleración.

Con ello, se comprobó que, efectivamente, la hipótesis utilizada en estudios anteriores, por la que se supone que la velocidad de operación en curvas es constante y que la deceleración y la aceleración ocurren en su totalidad en las rectas anterior y posterior, no es cierta.

Estos modelos fueron utilizados posteriormente por Camacho-Torregrosa et al. (2011) para el desarrollo de un nuevo modelo de consistencia del diseño geométrico para la evaluación de la seguridad vial. Los resultados de este estudio permiten estimar el índice de peligrosidad de un tramo de carretera a partir de una expresión que depende del índice de consistencia desarrollado, basado, a su vez, en los modelos de velocidad de operación anteriores.

De esta forma, la metodología descrita en el presente artículo se ha convertido en la base para un método de evaluación de la seguridad vial en tramos de carretera convencional.

Siguiendo un proceso similar, se puede llegar a estudiar no sólo la seguridad vial en tramos de carretera convencional sino también de vías de alta capacidad y vías urbanas, aunque para ello es necesario adaptar ligeramente la metodología.

De hecho, esta metodología de toma de datos se ha utilizado también para el estudio de la influencia que los diferentes dispositivos moderadores de tráfico existentes en una travesía tienen sobre el comportamiento de los conductores. Para ello, la metodología descrita se implantó, con pequeñas modificaciones, en 5 tramos de travesía de la Comunidad Valenciana (Moreno et al., 2011). En estas campañas de toma de datos los puntos de control se instalaron como mínimo 1 km antes de la travesía, con el fin de que los vehículos fueran capaces de alcanzar su velocidad deseada antes de llegar al primer moderador de tráfico de entrada a la población. De esta forma, las detenciones en los puntos de control tienen una influencia mínima en la velocidad registrada en el entorno de los moderadores.

Gracias a los perfiles continuos de velocidad registrados con esta metodología se demostró que la velocidad mínima ocurre cuando el vehículo abandona el moderador de tráfico y que la máxima deceleración ocurre justo antes de alcanzarlo. También se pudieron obtener las tasas de deceleración y de aceleración correspondientes a diferentes tipos de moderadores.

En estos estudios únicamente se han utilizado los datos procedentes de los dispositivos GPS. Con la utilización conjunta de estos con los datos

procedentes de las preguntas realizadas a los conductores, las aplicaciones de esta metodología van más allá de estos ámbitos, siendo especialmente relevante en el estudio de los comportamientos de los conductores. En esta área puede utilizarse con los siguientes objetivos:

- Estudio de la percepción de velocidad por parte de los conductores.
- Estudio de la percepción del tiempo de llegada.
- Caracterización de los estilos de conducción.
- Efecto de las condiciones meteorológicas en el comportamiento de los conductores.
- Validación de simuladores de conducción para el estudio del comportamiento de los conductores.

Por otra parte, con los datos procedentes de la aplicación de esta metodología pueden llevarse a cabo los siguientes estudios:

- Estudio de la relación entre la velocidad y la distancia entre vehículos.
- Comportamiento del tráfico en cola.
- Evaluación del tiempo de recorrido.
- Distribución de velocidades.
- Tasas de aceleración y deceleración.
- Toma de datos para la calibración de microsimuladores de tráfico.

Hay que tener en cuenta que la metodología base deberá ser modificada en función de los objetivos del estudio específico en cada caso. Por ejemplo, si el objetivo es la caracterización de la velocidad de operación en flujo libre la cadencia de colocación de GPS deberá ser mayor que si se busca estudiar la interacción entre vehículos. No obstante, las bases se mantienen y las recomendaciones siguen siendo perfectamente válidas.

Además, gracias al pequeño tamaño de los dispositivos, los GPS pueden ser colocados en cualquier tipo de vehículos, incluso en bicicletas, con lo que estudios similares pueden llevarse a cabo tanto para vehículos pesados como para los usuarios vulnerables de la vía.

7. Conclusiones

El Grupo de Investigación en Ingeniería de Carreteras ha desarrollado una metodología que permite obtener, de forma naturalística, datos a partir de los que estudiar el comportamiento de los conductores a través de la velocidad. La ausencia de influencia sobre los conductores ha sido estadísticamente comprobada, dando validez a la metodología.

La metodología consiste en la obtención de perfiles continuos de velocidad con dispositivos rastreadores GPS colocados en los vehículos de los usuarios de una vía, a los que se les hace también una serie de preguntas para la obtención de datos sociológicos, del vehículo y del viaje que están realizando. De esta forma, con la combinación de los perfiles de velocidad de cada conductor y los datos procedentes de las encuestas, se puede llevar a cabo investigaciones en las que estudiar cómo se comportan los conductores y qué variables influyen en su comportamiento.

Esta metodología ya ha sido aplicada con éxito para el desarrollo de modelos para la estimación de la velocidad de operación en rectas y curvas, y el estudio de las variaciones de velocidad y las deceleraciones que se producen en las transiciones recta-curva. En este estudio se desarrollaron también los algoritmos necesarios para, con los datos de las trayectorias de los vehículos, estimar la geometría de la vía.

Los resultados de ese estudio fueron posteriormente utilizados para el desarrollo de un modelo de consistencia que permite la estimación de los accidentes en tramos de carretera convencional.

De esta forma, la metodología presentada, que con un bajo coste permite la obtención de datos naturalísticos sobre el comportamiento de los conductores, se puede convertir en una herramienta para la evaluación de la seguridad vial. Todo ello, no sólo en tramos de carretera

convencional, sino que también puede adaptarse fácilmente para su implantación en tramos urbanos o en carreteras de calzadas separadas.

8. Agradecimientos

Una parte de investigación en la que se desarrolló la metodología presentada se llevó a cabo dentro del proyecto REVEL – Una Metodología para la Revisión de los Límites de Velocidad, cuyo número de referencia es PT-2006-031-25 IAPP, gracias a la subvención recibida del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (Ministerio de Fomento).

En la realización de las pruebas experimentales se ha contado con la colaboración de la Dirección General de Tráfico, la Conselleria de Infraestructuras y Transporte de la Generalitat Valenciana, la Diputación de Valencia y el INTRAS.

9. Bibliografía

- [1] Bella, F. (2008). Assumptions of operating speed-profile models on deceleration and acceleration rates: verification in the driving simulator. 87th Annual Meeting Transportation Research Board, Washington D.C.
- [2] Camacho-Torregrosa, F.J.; Pérez-Zuriaga, A.M y García, A. (2011). New geometric design consistency model based on operating speed profiles for road safety evaluation. Proceedings of the 3rd Road Safety and Simulation Conference. Indianapolis, USA.
- [3] Fitzpatrick, K. y Collins, J. M. (2000). Speed-Profile Model for Two-Lane Rural Highways. Transportation Research Record 1737, 42-49.
- [4] Gibreel, G. M., Easa, S. M. y El-Dimeery, I. A. (2001). Prediction of Operating Speed on Three-Dimensional Highway Alignments. Journal of Transportation Engineering - ASCE, 21-30.
- [5] Hu, W. y Donnell, E.T. (2008). Models of Acceleration and

Deceleration Rates on a Complex Two-Lane Rural Highway: Results from a Nighttime Driving Experiment. 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.

- [6] Jiang, Y. y Li, S. (2002). Measuring and Analyzing Vehicle Position and Speed Data at Work Zones Using Global Positioning System. Institute of Transportation Engineers. ITE Journal.
- [7] Misaghi, P. y Hassan, Y. (2005). Modeling Operating Speed and Speed Differential on Two-Lane Rural Roads. Journal of Transportation Engineering / ASCE, 408-417.
- [8] Moreno, A., García, A. y Romero, M. (2011). Speed Table Evaluation and Speed Modeling for Low-volume Crosstown Roads. Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, Vol. 2203, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 85-93.
- [9] Pérez-Zuriaga, A.M., García García, A., Camacho-Torregrosa, F.J. y D'Attoma, P. (2010). Modeling operating speed and deceleration on two-lane rural roads with global positioning system data. Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, Vol. 2171, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 11-20.
- [10] Wang, J., Dixon, K.K., Li, H. y Hunter, M. (2006). Operating Speed Model for Low-speed Urban Tangent Streets Based on In-vehicle Global Positioning System Data. Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, Vol. 1961, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 24-33.
- [11] Yang, L. y Hassan, Y. (2008). Driver Speed and Acceleration Behavior on Canadian Roads. 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C. ❖