

Toma de datos de tráfico mediante vídeo. Aplicación a cuatro casos prácticos

MANUEL ROMANA GARCÍA (*)

RESUMEN Este texto desarrolla las bases de un sistema de toma de datos de tráfico con vídeo que requiere una inversión escasa y medios de uso habitual. Con un máximo de dos operarios, dos cámaras de vídeo, dos magnetoscopios, dos monitores de televisión y dos ordenadores personales se pueden obtener datos de intensidades, clasificación de vehículos, intervalos, velocidades de recorrido, adelantamientos y densidades reales. Es posible desarrollar sistemas de medida automáticos basados en el tratamiento informático de las imágenes. Sin embargo, estos sistemas son de costo elevado, y además exigen la puesta a punto del sistema con unas constricciones de punto de vista fijo y adecuado, para poder calibrar los programas a la distancia focal y ángulo de incidencia elegidos. El método expuesto opta por la flexibilidad que permite medir variables con menor gasto fijo y mayor libertad a la hora de realizar mediciones en muchas carreteras. Por último, es necesario reseñar que es posible variar la técnica expuesta para medir otras variables, como giros en intersecciones, maniobras de frenado o la ocupación de los vehículos.

DATA COLLECTION WITH VCR. APPLICATION TO FOUR ROAD SECTIONS

ABSTRACT This text establishes a method to collect data from two-lane highways based on video and simple personal computer programs. With a maximum of two workers, two video cameras, two VCRs, two TVs and two personal computers it is possible to collect data on traffic volumes, vehicle classification, headways, travel speeds, passings and real densities. The method has been checked, and allows for a short data reduction time with simple techniques, that can be implemented at a very low cost, with no need for specialized and expensive equipment. This method can be implemented in almost any road, with no fixed costs and no equipment fixed on the road. It is possible to adapt this method to measure other variables, such as turns on intersections, weaving sections and vehicle occupancy.

Palabras clave: Carreteras de 2 carriles; Toma de datos en campo; Aforos de tráfico [0689]; Densidades de tráfico [0673]; Columna de vehículos [0652].

1. INTRODUCCIÓN

En Ingeniería de Transportes son de uso común métodos de evaluación y planificación basados en variables básicas de tráfico, como intensidad, velocidad, densidad, y otras. Disponer de un sistema de recogida de datos versátil y económico permite abordar la tarea de preparación de modelos y bases de datos válidos. La recogida de datos de variables de tráfico es, por tanto, un problema de gran interés, dado que permite conocer con mayor precisión los valores de las variables en el entorno concreto adecuado, en lugar de utilizar datos de otras situaciones, o incluso otros países.

Existen en el mercado gran variedad de dispositivos y aparatos para recoger estos datos. Algunos de ellos tienen una dilatada historia, como los contadores neumáticos o los lazos electromagnéticos. La popularización de las técnicas y aparatos de vídeo en película magnética, unida al desarrollo de la informática, han hecho que las técnicas de basadas en el vídeo cobren una mayor importancia. El presente artículo desarrolla una metodología elaborada para la toma de datos de la investigación realizada para la tesis doctoral titulada "Evaluación del Nivel de Servicio en Carreteras Convencionales de dos carriles en España". [11]

El objetivo principal fue contar con un sistema de toma de datos que requiriera una inversión escasa y medios de

uso habitual. El resultado es una técnica que precisa un máximo de dos operarios, dos cámaras de vídeo, dos magnetoscopios, dos monitores de televisión y dos ordenadores personales. Para decidir el método de toma de datos se analizaron los utilizados por otros autores en investigaciones similares. En los apartados siguientes se realiza la exposición de estos métodos, con una crítica de cada uno, para terminar exponiendo la técnica elegida. Se relata a continuación la metodología elaborada, y se comparan las ventajas e inconvenientes de cada una.

2. PROCEDIMIENTOS EXISTENTES DE RECOGIDA DE DATOS

Se recogen a continuación los medios empleados por otros autores con el objeto de establecer sus características, ventajas e inconvenientes.

Gardeta [7] recogió datos de tráfico en la M-605 de Madrid a El Pardo. Para ello utilizó un conjunto de tres lazos electromagnéticos en cada carril. Con ello se pueden recoger datos de intensidad, velocidad e intervalo. Esta estación estaba en 1983 dentro del Plan Nacional de Aforos, como estación permanente. Es necesario añadir que no todas las estaciones permanentes del citado Plan contaban con estos equipos. Otras cuentan con equipos que permiten medir únicamente la intensidad, agregando además ambos carriles en un conteo horario.

Messer [9] fue el investigador principal en la redacción del capítulo 8 de la presente edición del Manual de Capaci-

(*) Profesor Titular Interino. Departamento de Ingeniería Civil - Transportes. Universidad Politécnica de Madrid.

dad [17]. Para ello realizó esta investigación en 1983. En el informe no se detalla la metodología seguida en la recogida de datos. Ello puede ser debido a que se manejan resultados de campo de distintos investigadores. En cualquier caso, los tiempos de medida de datos son escasos, y se han realizado ensayos en muchos estados de Estados Unidos y distintas provincias de Canadá. Se recogieron datos de muchas variables, entre ellas intervalos, intensidades y velocidades. Las densidades se dedujeron de la ecuación fundamental.

Buckley [4] midió intervalos en un carril con un registrador automático que sólo permite medir esta única variable.

Byrne y Roberts [5] recogieron datos de vehículos libres (poniendo en marcha registradores "cuando se apreciaba la aproximación de un coche no demorado. Se definió un vehículo no demorado como un vehículo no afectado por otros vehículos cercanos"). El método de obtención de datos fueron una serie de cintas registradoras cada 152,4 m (500 pies). Esto permitió medir datos de vehículos cuya separación era superior a la citada con el vehículo anterior. El equipo consistió en:

- cintas registradoras con conectores y cables,
- aparatos registradores construidos por la Administración Federal de Carreteras de Estados Unidos (Federal Highway Administration, o FHWA, en inglés),
- impresora HP 5050B, y
- batería eléctrica.

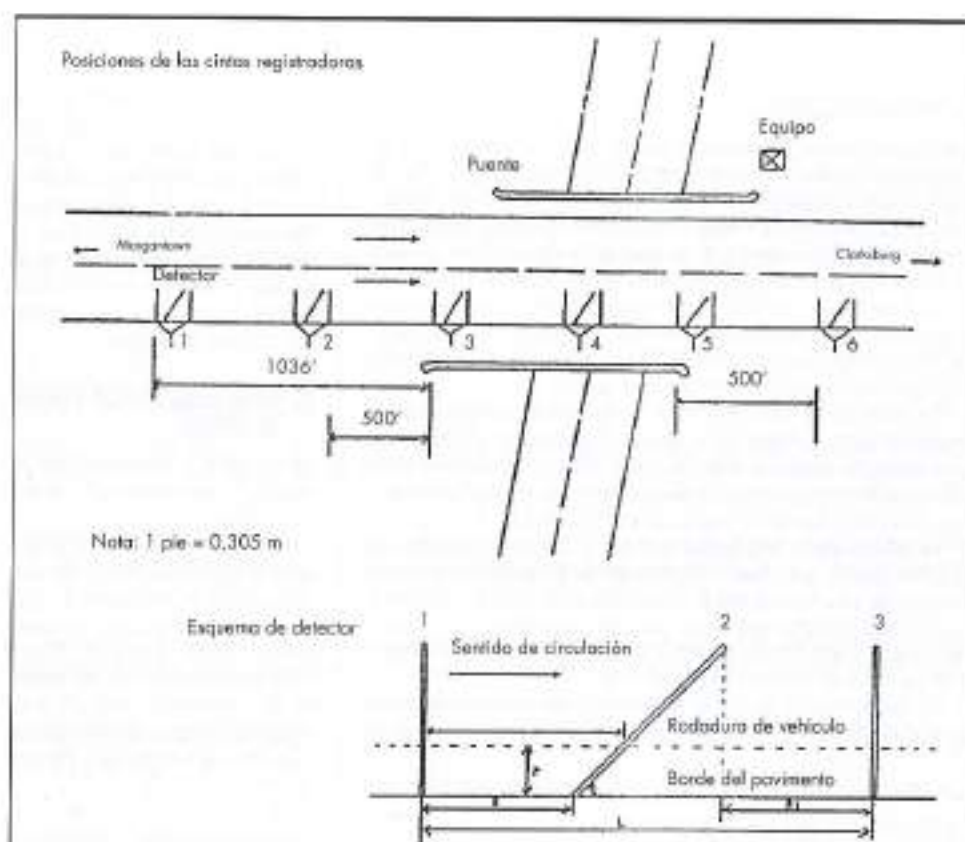
Los circuitos se conectaron de tal manera que se activaban las cintas en orden. Si la primera no era activada, las demás no se activaban. El sistema requería una puesta a cero, de forma que hasta que no se producía no se registraban más vehículos. Todos los registradores estaban conecta-

dos al mismo reloj. Cada punto de toma de datos, de los que se dispusieron seis, consistía en tres cintas registradoras, dos perpendiculares a la dirección del tráfico y una entre estas dos, con un ángulo de 45°. La figura 2.1 representa el esquema de toma de datos descrito.

Botma [2] recogió datos en tres secciones separadas 1 km mediante cintas registradoras centralizadas en una furgoneta. Las cintas son activadas por conjuntos de dos tubos neumáticos separados 1 m en cada sección de medida. Los vehículos son identificados entre pesados y ligeros por el número de ejes. Se obtuvieron así datos sobre intervalos, velocidades entre secciones, número de ejes y tipo de vehículo. Se detectó en los ensayos preliminares que el tiempo necesario para acostumbrar a los conductores a la presencia de los citados aparatos era de un día. Pasadas las primeras 24 horas, en las que las velocidades descendían, la situación se recuperaba. Por ello, los contadores se instalaron un día antes de la toma de datos.

Emoto [6] utilizó cámaras de vídeo, contadores neumáticos, un detector de velocidad radar y un vehículo de control para recoger datos de tráfico en una carretera con tres carriles (dos en un sentido, uno en otro) en California. Con ello se obtuvieron medidas de intensidades, velocidades puntuales del tráfico y velocidades de recorrido del vehículo de control. Las cámaras no estaban sincronizadas, no pudiendo medirse tiempos de recorrido ni densidades. La figura 2.2 representa el esquema de toma de datos descrito. Las cámaras eran alimentadas por baterías, cuya duración oscilaba entre una hora y una hora y media. Los datos de velocidades tomados mediante los detectores de radar sólo podían obtenerse con fiabilidad de vehículos aislados, ya que en circulación en cola la lectura puede ser errónea.

FIGURA 2.1. Método de recogida de datos de Byrne y Roberts [1975].



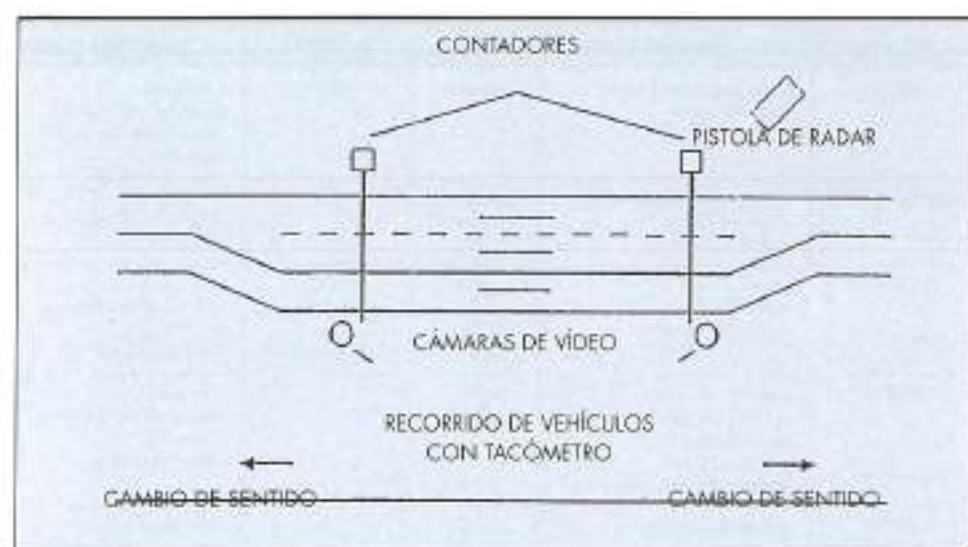


FIGURA 2.2. Método de recogida de datos de Emoto (1987) y Romana (1989).

Los contadores neumáticos se instalaron durante una semana recogiendo tráficos horarios por carril, con el objeto de conocer el tráfico durante toda la semana y acostumbrar a los conductores a su presencia en la carretera. Durante la toma de datos en video estos conteos se realizaron en periodos de 15 minutos.

Romana [10] [13], comenzó colaborando con Emoto en una investigación acerca del proyecto de terceros carriles, que continuaba la labor desarrollada hasta entonces. Empleó la misma técnica en la realización de los estudios de campo, pero desarrolló un programa de ordenador para medir intervalos a partir de la cinta de video y una metodología para medir adelantamientos.

Esta metodología fue utilizada en las siguientes fases del proyecto [14]. La alimentación eléctrica de las cámaras se realizaba por baterías de corta duración (hasta una hora). El problema de la no sincronización de las cámaras impidió la medida de velocidades mediante video.

Botha [1] comenzó en 1991 un estudio sobre Nivel de Servicio en carreteras con velocidades de proyecto inferiores a 100 km/h, después de que diversas Administraciones, entre ellas el Departamento de Transporte de California (Caltrans), detectaran esta carencia en la versión de 1985 del Manual de Capacidad [17] frente a su anterior versión [16].

El estudio está realizado sobre todo mediante simulación por ordenador, utilizando el programa TWOPAS. Se recogieron datos de validación durante dos horas en cinco carreteras, con tráficos máximos entre 170 y 780 vehículos/hora. El procedimiento elegido fue el video, con contadores neumáticos de apoyo según el esquema mencionado anteriormente (Emoto) y un vehículo auxiliar para detectar y resolver eventuales problemas. Debido al problema ya mencionado de la sincronización y la alimentación por baterías, la sincronización se consiguió mediante el empleo de relojes sincronizados digitales de cifras grandes, de tal forma que se pudieran ver en la cinta.

Rozic [12] realizó una toma de datos en una carretera croata mediante la identificación de matrículas en dos puntos de la vía. En cada sección se colocaron tres observadores: el primero registraba los tres últimos dígitos de la matrícula, el segundo el instante de paso y el tercero el tipo de vehículo.

3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CADA MÉTODO

En el apartado anterior se han presentado básicamente cuatro técnicas para la recogida de datos de variables de tráfico que han empleado:

- lazos electromagnéticos (Gardeta),
- cintas registradoras y sincronizadores (Buckley, Byrne y Roberts, Botma),
- observadores (personas) (Rozic),
- técnicas diversas combinadas (Emoto, Romana), y
- video (Botha).

En el presente apartado se examinarán las ventajas y desventajas de cada técnica, así como sus necesidades en términos de inversiones y personal. Estos datos se resumen en la tabla 3.1. La tabla incluye también, para facilitar la comparación, los datos equivalentes de la técnica escogida, que se explica y justifica en el apartado siguiente.

Los lazos de inducción permiten una medida fiable de los datos, pero su coste es elevado y es necesaria la ejecución de obras en la vía para su instalación. Por ello, si bien puede considerarse muy adecuado, no parece indicado para la toma de datos en una campaña en una carretera cualquiera. Además de la obra de instalación de los lazos, es necesario contar con una caseta adyacente para la instalación del registrador de datos. Este registrador puede ser bien un registrador específico o un ordenador personal. Una vez instalados, los lazos de inducción electromagnética permiten la recogida automática de datos en la sección, pero no su identificación. Por ello sería necesario contar con otros métodos complementarios para medir los adelantamientos producidos, dado que no se identifican individualmente los vehículos, y las densidades dentro de un tramo de mayor longitud que el lazo o conjunto de lazos, dado que no se conoce el número de vehículos que existen en la sección al comenzar las medidas (para $t = 0$).

El plazo necesario para la ejecución de un estudio es de varias semanas, ya que es necesario realizar la roza del pavimento y la instalación de los lazos. El personal necesario para realizar el estudio es mínimo, si no se cuenta con el necesario para la implantación de los lazos. Es posible realizar

TÉCNICA	EQUIPO	PLAZO	PERSONAL	VARIABLES
LAZOS	lazos electromagnéticos obra necesaria	semanas	0-1	intensidad densidad en un punto velocidad en un punto intervalos
REGISTRADORES	cintas registradoras sincronizada centro de control	varios días	2-3	intensidad velocidad de recorrido intervalos
PERSONAL	cronómetros vehículo de control y coordinación?	medio día	ó por punto de observación	intensidad velocidad de recorrido intervalos adelantamientos
DIVERSAS	cámaras de video detector de velocidad radar vehículo de control y coordinación contadores neumáticos	varios días	5	intensidad velocidad de recorrido intervalos adelantamientos
VIDEO SINCRONIZADO	cámaras de video mecanismo de sincronización vehículo de control y coordinación	un día (mínimo medio día)	3	intensidad velocidad de recorrido intervalos adelantamientos
VIDEO CONTINUO (PROPUESTO)	cámaras de video cronómetro vehículo de control y coordinación	un día (mínimo medio día)	3	intensidad densidad en un punto densidad velocidad de recorrido intervalos adelantamientos

TABLA 3.1. Plazos, personal, medios necesarios y variables medidas con los distintos métodos.

medidas sin la presencia de ningún operario. Este sistema permite medir intensidades, densidades en los lazos, velocidad en una sección e intervalos entre vehículos. En el caso de montar dos secciones completas —lo que resultaría costoso económicamente— sería posible medir velocidades de recorrido.

Las **cintas registradoras y sincronizadores** son adecuadas para la toma de datos de intensidades, velocidades e intervalos. No requieren obra para su instalación, y el personal de toma de datos es reducido. Sin embargo, tienen el mismo inconveniente que los lazos en cuanto a medida de adelantamientos y densidades. Además requieren la instalación de un centro de recepción de datos, que Botma colocó en una furgoneta. Esta solución es muy adecuada, pero de coste elevado. El plazo de realización de cada ensayo es de varios días, y es necesario afectar al tráfico durante la colocación de los equipos, dado que es necesario instalar las cintas registradoras y el centro de control. El personal necesario es de 2 a 3 personas, y se miden intensidades, velocidades de recorrido e intervalos.

El empleo de **observadores** es ya muy antiguo. Su inconveniente principal es el número de personas que es necesario desplazar a la sección. En el caso de Roxie, fueron necesarios tres observadores por sección y sentido, además, presumiblemente, de al menos un coordinador. Otro inconveniente adicional es que los observadores sólo pueden ser fiables hasta un determinado nivel de intensidad. Para intensidades muy altas la observación de los vehículos y la anotación de los datos de los mismos es difícil, dado que es necesario un tiempo determinado para realizar las anotaciones, y cuando las intensidades son altas los intervalos entre vehículos pueden ser muy reducidos de forma continuada. Por último, es necesario señalar que este método obliga a recoger a la vez todos los datos a medir, ya que sólo se tiene

una oportunidad, y no existe verificación posible de las medidas realizadas. El plazo de realización de cada ensayo es muy corto, ya que sólo es necesario transportar al personal hasta el tramo a estudiar. Se obtienen medidas de los intervalos, intensidades, velocidad de recorrido y adelantamientos producidos.

El uso de **técnicas diversas** combinadas tiene la ventaja de permitir controles cruzados entre medidas obtenidas con distintas técnicas. Sin embargo, tal y como fue llevada a cabo en los ejemplos expuestos, plantea una logística más difícil, ya que es necesario contar con contadores de tubo neumático, cámaras de video, detector de velocidad de radar y vehículo. Esta se complica si, además, el vehículo debe estar equipado con registrador. Los inconvenientes principales de este planteamiento son el coste y la logística. El personal mínimo necesario es de 5 personas, de las cuales 4 están ocupadas todo el ensayo y la quinta debe cambiar los contadores de tubo. El plazo de realización del ensayo es de varios días, ya que es necesario instalar los tubos neumáticos. Se miden velocidades de vehículos aislados en una sección, intensidades, adelantamientos e intervalos. Sin embargo, el tiempo máximo de toma continua de datos está limitado por la duración de las baterías de la cámara de video. Ello ocasiona una pérdida de datos durante el tiempo en que se cambian las baterías. Este tiempo no es alto, pero como no suelen coincidir los agotamientos de las dos baterías, se pierden datos bien de la sección de entrada, bien de la de salida.

El uso del **video** es una de las técnicas más utilizadas en la actualidad para recoger datos de tráfico. Existen aplicaciones de visión artificial en autopistas que permiten la medición de velocidades, intensidades y densidades de tráfico. Las ventajas del método son sencillez, bajo coste relativo, el posible empleo de personal no especializado y la sencillez del

montaje del experimento. Asimismo, esta técnica permite una reducción de datos de uno en uno (en primer lugar se miden intervalos, posteriormente tipo de vehículos, velocidades, densidades, etcétera). Con ello se obtiene un proceso fluido en el que la interpretación puede empezar casi inmediatamente, discutiendo la toma de datos en paralelo con la interpretación. Los mayores inconvenientes son la dificultad de sincronización y el tiempo empleado en laboratorio en la reducción de los datos, que puede llegar a ser alto en el caso de velocidades de recorrido y adelantamientos.

4. TOMA DE DATOS CON VÍDEO

Tras el análisis de medios realizado en los apartados anteriores, se decidió investigar las posibilidades de utilizar el vídeo como equipo de medida fundamental. Se fijaron como objetivos en el desarrollo del método de toma de datos minimizar el presupuesto y el personal, sin que ello redundara en la pérdida de datos. Era necesario un sistema que permitiera medir, como mínimo, intensidades, densidades entre cámaras y velocidades de recorrido. Para ello hubo que resolver el problema de la sincronización entre cámaras y del uso de baterías.

Con este objeto se investigó la posibilidad de utilizar otras fuentes de alimentación para las cámaras de vídeo. De este análisis se obtuvieron las conclusiones siguientes:

- Las cámaras que necesitan una menor alimentación son las de vídeo de 8 mm o VHS-C, frente a las convencionales VHS.
- Existen adaptadores que permiten conectar los dispositivos de carga de baterías al encendedor de automóvil.

Por ello se decidió utilizar cámaras con sistema de 8 mm. Se descubrió que era prácticamente imposible obtener el dispositivo para conectar la propia cámara de vídeo al encendedor del automóvil. En todo caso, se consideró además deseable evitar la utilización de la batería de un vehículo por dos razones: limitar el efecto de una eventual avería, y aumentar la autonomía del equipo, para poder emplazar la cámara en puntos inaccesibles por un vehículo. Por ello se optó por fabricar el equipo necesario en el propio laboratorio, con la ayuda de personal especializado. Se diseñó y probó un transformador compuesto por un regulador integrado 7805 y un transistor regulador para disipar la potencia necesaria.

Este transformador era capaz de alimentar correctamente una cámara de 8 mm durante alrededor de 5 horas, conectado a una batería convencional de automóvil. Quedaba resuelto el problema de pérdida de datos y sincronización por causa del cambio de baterías.

La sincronización entre cámaras se consiguió haciendo un viaje de una cámara a otra con un cronómetro. Al comienzo del viaje se colocaba el cronómetro en una cámara, recogiendo en ésta el instante de comienzo de medida del tiempo. Se viajaba a continuación hasta la otra cámara, recogiendo asimismo el instante de fin de medida, y se anotaba el tiempo. En el laboratorio sólo restaba comprobar en qué hora, minuto y segundo estaba el origen en la cámara 1 y tomar los mismos datos en la cámara 2. Una vez hecho esto, es claro que el instante de la cámara 1 es el mismo que el instante de la cámara 2 menos el tiempo de viaje. Con ello quedaban sincronizadas las dos cámaras al segundo sin necesidad de emplear equipos especiales.

Como control de la calidad de la sincronización se realizaron varias sincronizaciones en cada experimento. Asimismo se realizaron controles de la precisión de la medida

de velocidades, dado que se conocía con exactitud la velocidad y tiempo de algunos viajes realizados por el vehículo de control.

De esta manera el equipo de recogida de datos estaba compuesto por el siguiente material:

- 2 cámaras de vídeo de formato 8 mm,
- 2 trípodes,
- 2 transformadores de tensión,
- 2 baterías de 12 V convencionales, y
- 1 vehículo de supervisión y control.

El personal necesario para la realización de los experimentos se componía de:

- 1 supervisor en el vehículo y
- 2 operadores de cámara.

La figura 4.1 recoge el esquema del procedimiento de toma de datos.

5. VARIABLES A MEDIR Y DATOS A RECOGER

Con el equipo y personal descritos en el apartado anterior es teóricamente posible medir las siguientes variables:

- intensidad
- densidad en el tramo observado por cada cámara
- densidad en el tramo del experimento
- velocidad en el tramo observado por cada cámara
- velocidad de recorrido
- intervalos
- adelantamientos

Estas variables pueden clasificarse en dos grandes grupos: las que se miden en una sola cámara y las que se miden entre cámaras. En el primer grupo están la intensidad, la densidad y velocidad puntuales y los intervalos. En el segundo están la velocidad de recorrido, la densidad en el tramo y los adelantamientos.

La ubicación ideal de la cámara depende de la luz y de la variable a medir. En la práctica no fue posible encontrar puntos de filmación que permitieran la medida de velocidades en cada cámara. Con la técnica de filmación de la circulación las velocidades no se miden directamente, sino que se obtienen dividiendo un tiempo de recorrido por una distancia conocida. Existen dos procedimientos para determinar el tiempo de recorrido en una cámara. El primero es utilizar el tiempo del propio aparato reproductor de vídeo. La precisión de esta medida es un segundo. El segundo procedimiento es utilizar un ordenador personal de manera que se pulsa una tecla (la barra espaciadora, por ejemplo) al pasar un vehículo por el primer punto de control, y se repite la operación en el segundo punto de control. La precisión de esta medida es superior, alrededor de 0,2 a 0,5 segundos, dependiendo del ángulo de estimación. Esta precisión está limitada por el tiempo de reacción del operador.

Por ello, para estimar las velocidades con precisión era necesario que se apreciara con claridad un tramo de carretera tal que su longitud de recorrido fuera del orden de 8 a 10 segundos. Este tiempo de recorrido, a las velocidades habituales de 70 a 120 km/h, equivale a una longitud entre puntos de control de del orden de 300 metros. Ello era posible únicamente buscando ángulos de filmación sensible-

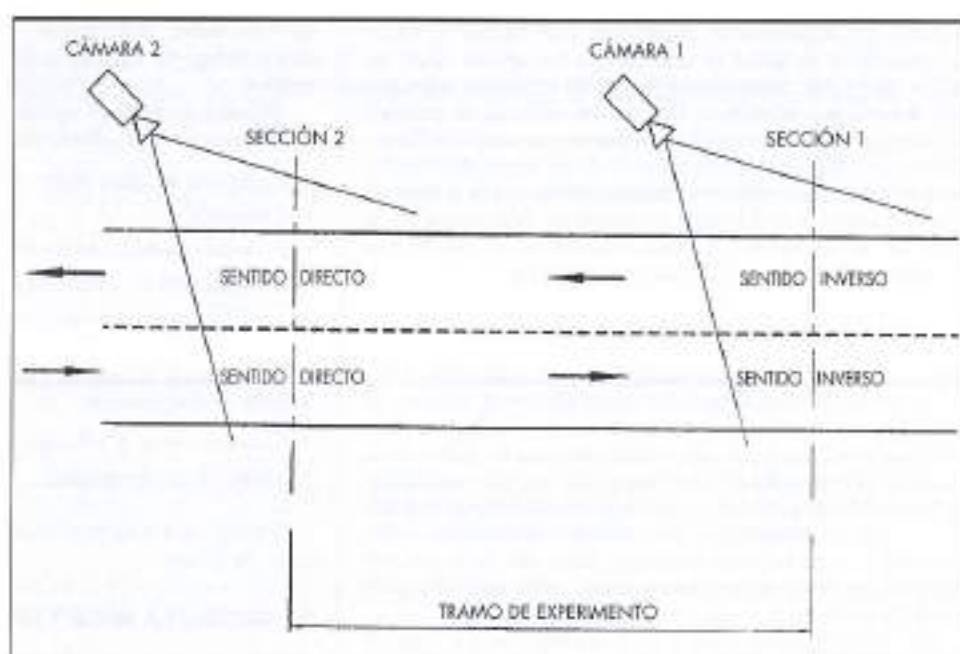


FIGURA 4.1. Esquema del procedimiento de toma de datos.

mente perpendiculares a la marcha y puntos de filmación alejados, lo que dificulta la identificación de los vehículos.

Esta identificación de los vehículos es fundamental para determinar las velocidades de recorrido en el tramo y los adelantamientos. Obtener al mismo tiempo ambos datos era, como se ha demostrado, contradictorio. Por todo ello fue necesario renunciar a medir la velocidad puntual, eligiéndose puntos de filmación que permitieran recoger datos de todas las demás variables.

6. TOMAS DE DATOS REALIZADAS

Por razones presupuestarias se decidió restringir, dentro de lo posible, la recogida de datos a carreteras en las que pudiera realizarse la toma de datos en un día. Ello implicaba una limitación de distancia desde Madrid al tramo del experimento. Además, es un objetivo primordial de un estudio de este tipo el recoger la mayor cantidad de situaciones posibles en cuanto a trazado, composición de tráfico, intensidades horarias, porcentajes de la longitud en las que está permitido adelantar, etcétera.

En primer lugar se examinó el mapa de tráfico elaborado por la Comunidad de Madrid en 1989 con el objeto de identificar las vías de máximo tráfico. Se identificaron las carreteras convencionales de dos carriles con IMD superiores a 8.000 veh./día. De ellas se seleccionaron las que reunían las siguientes condiciones:

- terreno llano o entre llano y ondulado,
- velocidades de proyecto entre 80 y 100 km/h, y
- existencia de tramos de relativa longitud (2 a 5 km) sin intersecciones, y un mínimo de incorporaciones o salidas. Este punto, teóricamente sencillo, fue en la práctica más complejo de lo previsto, ya que la proliferación de intersecciones, urbanizaciones y polígonos industriales han convertido una buena parte de las carreteras madrileñas en periurbanas. Incluso en tramos completamente rurales en apariencia existen entradas y salidas de fincas. Ello hizo que en los ensayos se detectaran vehículos que o bien

entraban en el tramo y no salían, o al contrario. El número de vehículos que no recorrieron la totalidad de la sección fue siempre bajo, entre el 0,70 % de la M-501 y el 8,56 % de la M-111. Los otros dos valores de este parámetro fueron el 0,97 % en la M-607 y el 3,77 % en la M-600.

A continuación se seleccionaron las posibles secciones desde las que era posible filmar el tráfico. Se pretendía seleccionar emplazamientos de cámara que cumplieran las siguientes condiciones:

- que el punto tuviera una buena perspectiva del sentido de tráfico de más intensidad;
- que el ángulo de perspectiva fuera tal que al menos se apreciaran 150 metros de carretera;
- que fuera posible realizar la colocación de la cámara claramente fuera de la vía. Esta condición tiene dos causas: la primera, evitar la interferencia de las maniobras del ensayo con la circulación; y la segunda, minimizar el efecto del dispositivo de toma de datos sobre el tráfico; y
- situados en las proximidades de un punto en el que fuera posible aparcar, con el objeto de que las distancias a recorrer caminando con el equipo fueran cortas, y que fuera sencillo para el vehículo de control dejar la corriente de tráfico e incorporarse a la misma con un efecto mínimo sobre ella.

Se consideró importante evitar que los conductores pudieran percibirse de las cámaras, dado que ello podía causar un cambio de comportamiento de los mismos. Este punto diferenció en dos tipos a los procedimientos estudiados. Algunos de ellos eran claramente perceptibles para los conductores, mientras que otros investigadores procuraron esconder los equipos [2].

Tras examinar las distintas posibilidades se optó por tomar datos en carreteras con terreno llano a levemente ondulado, por representar éstas a la mayoría de vías de intensidad de circulación elevada en la Comunidad de Madrid. Se

decidió realizar las tomas de datos tanto en día laborable como en fin de semana, con el objeto de apreciar las posibles diferencias entre ambas situaciones. Para la presente investigación se llevaron a cabo cuatro tomas de datos en carreteras. Las características principales de los tramos elegidos se resumen en la tabla 6.1.

Los emplazamientos fueron seleccionados de acuerdo con la metodología expuesta en el punto anterior. La IMD y el porcentaje de vehículos pesados se dan a continuación actualizadas, y corresponden a 1991. Por orden de realización de experimentos, fueron 9.500 (6,4 %) en la M-607, 9.800 (5,1 %) en la M-600, 8.100 (8,6 %) en la M-111 y 14.400 en la M-111 (5,0 %). En cada caso se seleccionaron dos puntos de filmación. En estos puntos se emplazaron cámaras encuadradas de tal manera que se filmaba directamente el tráfico en el sentido que se suponía iba a ser el más cargado, que se ha denominado **SENTIDO 1 ó DIRECTO** (el tráfico en este sentido se dirigía hacia la cámara). El sentido opuesto se ha denominado **SENTIDO 2 ó INVERSO**. La distancia entre cámaras fue diferente en cada caso, ya que se intentó tomar tramos de la máxima longitud posible. Estas distancias fueron, respectivamente, 4,7, 2,65, 1,75 y 3,55 km.

Cada experimento tuvo una duración de alrededor de tres horas, dado que este es el tiempo que es posible rodar con una cinta de 8 mm de 90 minutos de duración a mitad de velocidad. Se procuró que las horas de experimento coincidieran con horas punta diarias o semanales.

Finalmente, cada cinta se duplicó para convertir su formato en cinta de vídeo VHS normal. Estas cintas fueron las empleadas en el proceso de reducción de datos.

7. PROCESO DE DATOS EN GABINETE

7.1. OBJETIVOS

En el presente apartado se trata acerca de los procedimientos empleados para la reducción de datos de la cinta a formatos numéricos y alfanuméricos. Una cuestión previa muy relacionada con ésta es la elección del período de estudio para el análisis de las distintas variables de la circulación. Es conveniente plantear la reducción de datos en períodos similares a los utilizados para el análisis. Este apartado comienza, consecuentemente, tratando el tema de la duración de los períodos para el estudio de las variables de tráfico.

El objetivo final del trabajo es poder evaluar el nivel de servicio existente de la forma más práctica y sencilla posible. Para este fin es deseable plantear experimentos similares a los expuestos, pero reducidos, ya que lo ideal sería, de ser posible, estudiar un tramo de carretera con datos únicamente de una sección, y quizá un vehículo de apoyo para conocer las velocidades. Por ello, en lo que respecta a la reducción de datos, el proceso se planteó con dos objetivos:

- 1) Obtener un proceso fluido que permita simultáneas la reducción de datos y su análisis. En efecto, es conveniente que no pase demasiado tiempo entre el ensayo y su análisis.

Por ello es útil plantear la reducción de forma que rápidamente se comiencen a obtener datos para su análisis. Como se verá más adelante, el proceso seguido permite tener datos de intervalos, intensidades y tipo de vehículos en pocas horas. Más adelante se sigue con la obtención de datos de menor rendimiento, como densidades, para terminar con los datos de más lenta elaboración, como son velocidades de recorrido y adelantamientos.

- 2) Establecer claramente las necesidades de tiempo para obtener los distintos datos. En el proceso propuesto como conclusión de este trabajo deben conocerse con claridad las necesidades de personal, material y tiempos para evaluar el nivel de servicio.

7.2. PERIODO DE ESTUDIO

Antes de comenzar la reducción de datos era necesario decidir qué período de estudio se iba a considerar. Las alternativas lógicas eran 5 y 15 minutos. Estos son los valores considerados por casi todos los estudios anteriores en carreteras de dos carriles. Botma [2], Tolle [16] y Rozic [12] utilizaron 5 minutos. Botha, Sullivan y Zeng [1] prefirieron 15 minutos, y Buckley [4], siguiendo a May y Wagner [8], eligió períodos de 1 minuto para el estudio de intervalos, pero ambos estudios se realizaron en autopistas. El Manual de Estudios de Tráfico [3] del Instituto de Ingenieros de Tráfico de Estados Unidos plantea la toma de datos de intensidades en períodos de 15 minutos, excepto para estudios de capacidad de carreteras, en los que períodos de 5 minutos son preferibles.

Para el presente estudio se eligió un valor de 5 minutos con el objeto de maximizar dentro de lo razonable el número de datos para su análisis. Por ello el tiempo total de estudio fue dividido en intervalos de aproximadamente 5 minutos. La razón del empleo del término "aproximadamente" es que en esta división se procuró no interrumpir ninguna columna (cola o caravana). En total, se cuenta con 258 períodos de circulación en dos sentidos, con intensidades horarias por sentido desde 150 a 2.100 veh./h. Dado que se realiza el análisis por sentido, los períodos totales son 536.

La definición de columna depende del intervalo crítico (o intervalo determinante) considerado (ver los apartados 5.2.2, 5.2.3. y 6.4). El valor tomado por el Manual de Capacidad de 1985 es de 5 segundos. Este valor es objeto de estudio en la tesis doctoral de Romana [11], y por ello se consideró necesario utilizar un valor mínimo de 10 segundos entre el último vehículo de un período y el primero del siguiente. Este criterio hizo que en algunos casos los períodos durasen algo más de 5 minutos. Se ha dado un caso en la M-607 donde ha sido necesario considerar un único período de 10 minutos, por no producirse en este tiempo un intervalo superior a los 10 segundos.

7.3. INTENSIDAD, INTERVALOS E IDENTIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE VEHÍCULO

Se empleó una técnica que permitió simultáneas la identificación del tipo de vehículo con la medición del intervalo en-

TOMA DE DATOS	VÍA	TRAMO	FECHA	IMD (1991)	LONGITUD DEL TRAMO
1	M-607	Colmenar - Guadarrama	06-07-1991	9.500	4,70 km
2	M-600	El Escorial - Guadarrama	06-06-1992	9.800	2,65 km
3	M-111	Fuente El Soc - Algeles	06-07-1992	8.100	1,75 km
4	M-501	Nava del Rey - Chapinería	22-04-1993	14.400	3,55 km

TABLA 6.1. Tramos elegidos para la toma de datos.

tre vehículos en cada cámara. Para esto se utilizó el equipo y personal siguiente:

- dos operadores,
- dos ordenadores y
- un magnetoscopio (aparato reproductor de video) y un monitor

Se trazó en cada caso una línea sobre la pantalla en la sección en la que se deseaba realizar la medida. Esta sección se identificaba en algunos casos con elementos físicos existentes en la carretera (hitos kilométricos, captafaros, etc.). En otras ocasiones la sección se identificaba con la presencia del autor del presente documento, que se colocaba en la sección escogida y cruzaba la carretera para marcar ambos extremos de la misma.

Se escribió un simple programa en lenguaje BASIC que lee el tiempo transcurrido desde la última pulsación en el teclado, registrando así el intervalo. El programa asignaba el tipo de vehículo al intervalo leído dependiendo de la tecla pulsada. Así, el operador oprime una tecla al alcanzar el vehículo la sección escogida. La tecla oprimida depende del tipo de vehículo, según lo especificado en la tabla 7.1.

TIPO DE VEHÍCULO	CÓDIGO	TECLA
Coches	"A"	BARRA ESPACIADORA
Furgoneta	"F"	1
Camión	"C"	2
Autobús	"B"	3
Vehículo de Recreo	"R"	4
Motocicletas	"M"	0

TABLA 7.1. Teclas utilizadas en la identificación tipos de vehículos.

La idea de desarrollar este programa surge por la idoneidad de contar con una precisión suficiente en la medición de los intervalos, así como de la conveniencia de aumentar el rendimiento del proceso. Existen, en principio, cuatro alternativas básicas para la medición de los intervalos:

1. Toma de tiempos directa del magnetoscopio

Este método tiene una precisión máxima de 1 segundo, lo que se consideró insuficiente para un estudio completo. En la bibliografía se suelen determinar con décimas y, en algunos casos, con centésimas de segundo. Además, este método

exige detener la cinta en cada paso de vehículo por la sección de control para leer el tiempo.

2. Toma de tiempos de una fuente de tiempos insertada en el magnetoscopio

Este método consiste en la inserción de una fuente de tiempos posteriormente a la filmación. Exige disponer durante al menos unas horas de un equipo especial. Tiene una precisión máxima de 0,01 segundos, más que suficiente. Sin embargo, se mantiene la exigencia de detener la cinta en cada paso de vehículo por la sección de control para leer el tiempo.

3. Toma de tiempos directa y automática de la imagen

Mediante el empleo de técnicas de visión artificial es posible detectar el intervalo entre vehículos. Este método es prácticamente automático, pero tiene dos desventajas serias: la necesidad de equipos y programas muy costosos, y la tremenda dificultad de identificación del tipo de vehículo. La precisión es la del ordenador empleado.

4. Método elegido, desarrollado o continuación

La precisión es la del observador, más que suficiente, dado que se determinó mediante pruebas que el error era inferior a 0,1 segundos. Además, no es necesario contar con equipos especiales, y el proceso se desarrolla en tiempo real de filmación.

El programa escribe un archivo en código ASCII con los siguientes datos: número de orden del vehículo, código de tipo de vehículo e intervalo con el vehículo precedente. Estos archivos son inmediatamente legibles desde programas de hoja de cálculo, procesadores de texto y programas de estadística. De estos datos se puede calcular directamente la intensidad de circulación, dado que se conoce el conteo de vehículos y la duración del período considerado.

El procedimiento empleado permite la obtención de la clasificación de vehículos y los intervalos en un tiempo muy breve, dado que la cinta se reproduce a su velocidad normal y las interrupciones son cortas. Asimismo, este procedimiento permite la repetición de reducción de un período si se detectan inconsistencias o aparentes errores, dado que únicamente se tarda alrededor de 5 minutos. Puede estimarse que el tiempo de reducción de estos datos es del orden de 1,1 veces el tiempo de cinta.

Cabe reseñar que los intervalos de medida en la cámara 2 de cada ensayo se determinaron utilizando la sincronización entre cámaras, de forma que correspondieran a un período completo en la cámara 1. Dada la intención de no interrumpir columnas, en algunos casos no fue posible ajustar al segunda las observaciones, pero los períodos resultaron aún así muy aproximados.

TABLA 7.2. Distancias de medida de densidad en cada cámara

EXPERIMENTO	VÍA	LONGITUD DEL TRAMO PARA DENSIDADES	
		SECCIÓN 1	SECCIÓN 2
1	M-607	113,5	40
2	M-600	84	132,5
3	M-111	79,5	110
4	M-501	50	90

7.4. DENSIDAD EN CADA CÁMARA

La densidad en cada cámara se obtuvo determinando en primer lugar un tramo de longitud conocida en cada cámara. El tramo se determinaba del mismo modo descrito anteriormente para la sección de medida de intervalos. Las longitudes variaban en cada caso, dado que el tramo visto de carretera con precisión depende del emplazamiento de la cámara y de la geometría en planta y alzado de la sección. Las longitudes (en metros) se recogen en la tabla 7.2, y fueron medidas utilizando un podómetro.

Con el objeto de determinar la densidad se realizaron conteos de vehículos presentes dentro del tramo de medida cada 30 segundos. Cada 30 segundos se detenía la película, oprimiendo la pausa, y se contaba el número de vehículos dentro del tramo. De esta forma se disponía de 10 medidas de la densidad en un período de cinco minutos.

El tiempo de reducción de esta variable es del orden de 1,2 a 1,3 veces el tiempo de filmación, ya que el tiempo empleado en los conteos se recupera haciendo funcionar la cinta entre tiempos de medida a alta velocidad.

7.5. DENSIDAD ENTRE CÁMARAS

La densidad en el tramo puede determinarse midiendo el número de vehículos presentes entre las dos cámaras. Para ello pueden utilizarse los conteos de intensidades realizados, ya que en cada final de período los vehículos presentes en la sección serán los inicialmente presentes, más los que hayan entrado en el tramo, menos los que hayan abandonado el tramo. El único escollo a salvar es determinar el número de vehículos en el tramo en un momento dado.

Esto se consiguió con la ayuda del vehículo de control. Para ello se tomó un viaje completo del vehículo en el tramo del experimento. Sean los instantes de paso del vehículo por las secciones de control los siguientes:

- t_{1d} : instante de paso por la sección 1 en sentido directo
- t_{2d} : instante de paso por la sección 2 en sentido directo
- t_{1i} : instante de paso por la sección 1 en sentido inverso
- t_{2i} : instante de paso por la sección 2 en sentido inverso

Se realizó el conteo de los vehículos que entraban en el tramo en el sentido directo entre t_{1d} y t_{2d} . En este momento se conocía con exactitud la densidad de vehículos en el sentido directo, y a partir de entonces ($t > t_{2d}$) es una sencilla suma y resta la que permite obtener la densidad en el momento deseado. Repitiendo la operación para el sentido inverso se determina la densidad en sentido inverso en t_{2i} .

De esta forma, para instantes posteriores a t_{2i} ($t > t_{2i}$) es posible conocer la densidad de vehículos en el tramo. La fórmula, evidente tras lo expuesto es:

$$\text{densidad}_{t=T_1} = \frac{N_{t=T_1}}{L}$$

$$N_{t=T_1} = N_{t=T_0} + (N_{Entrada,dir} + N_{Entrada,inv})_{T_0}^{T_1} - (N_{Salida,dir} + N_{Salida,inv})_{T_0}^{T_1}$$

donde *dir* indica sentido directo e *inv* sentido inverso.

Dado que se contaba con los conteos por sección y sentido, realizados para obtener las intensidades, la única cuestión era obtener el número de vehículos en el instante t_{2i} para cada tramo. El resto era automático.

Debido a las características del procedimiento descrito, es fácil deducir que no es realmente correcto hablar de necesi-

dades de personal o medios auxiliares para obtener estos valores. Es necesario emplear un magnetoscopio durante media hora, y una o dos personas. El tiempo de reducción de esta variable es del orden de media hora a una hora por ensayo, si se han realizado antes las operaciones descritas en el apartado 7.2.

7.6. TIEMPO DE RECORRIDO Y ADELANTAMIENTOS

Para obtener de la cinta de vídeo los datos de tiempo de recorrido y de adelantamientos es necesario identificar los vehículos en la sección 1 y la sección 2 de cada tramo, y leer en las cintas los tiempos de paso por cada sección. Por ello, el personal y equipo necesarios son los siguientes:

- dos operadores,
- dos magnetoscopios y
- dos monitores

El proceso seguido es el siguiente: se identifica en el comienzo de las cintas de la sección 1 y de la sección 2 un vehículo dado, y se anotan los tiempos de paso indicados por los aparatos reproductores de vídeo. Al mismo tiempo se le daba al vehículo un número de orden de paso por la sección 1, y se mantenía este mismo número en la sección 2. Este número de orden es la clave para detectar los adelantamientos efectuados en el tramo entre las dos cámaras.

Este proceso sólo puede realizarse con seguridad en un solo sentido, ya que identificar los vehículos en ambos sentidos con fiabilidad es imposible. Esta imposibilidad deriva del hecho de que muchos vehículos son muy parecidos, especialmente en lo que se refiere a sus partes traseras. Para recoger los dos sentidos sería necesario realizar el encuadre perpendicularmente al tráfico, y con esta orientación distancia focal debe ser elevada (ir más hacia el teleobjetivo), para tener una buena definición de los vehículos. Pero si el encuadre es perpendicular y la distancia focal alta, no se puede observar a los vehículos —en ninguno de los dos sentidos— acercándose a la sección de control. Por ello se han obtenido datos en sentido directo. La otra alternativa de identificación, la lectura de matrículas, no es posible con un encuadre general debido a la definición de imagen del sistema. Es necesario un encuadre directo de la zona de visión de las matrículas, lo que impide abarcar ambos sentidos con una sola cámara, dado que es necesario emplear una cámara por carril. Además, la lectura de matrículas impide la identificación del tipo de vehículo.

Las condiciones de luz deben ser adecuadas para permitir la correcta identificación de los vehículos. Si los encuadres son tales que se produce una filmación a contraluz los vehículos se perciben únicamente a través de sus siluetas. Las siluetas de la práctica totalidad de los coches son de sólo dos tipos: dos o tres volúmenes. Por ello si se dan contraluces la identificación es efectivamente imposible. Esto ocurrió en la cámara 2 de la M-501, por lo que en esta vía las velocidades medidas fueron de vehículos reconocibles por su silueta: todoterrenos, camiones, furgonetas, vehículos con baca, etcétera.

Este planteamiento hace necesario detener la cinta en cada vehículo. Ello puede ocasionar, en magnetoscopios de poca calidad, que exista un desfase progresivo del tiempo. En estos casos sería necesario retroceder cada cierto tiempo hasta el principio de la cinta. En esta investigación esto se soslayó consultando con personas expertas en vídeo qué marcas y modelos de aparatos reproductores de vídeo eran adecuadas para evitar este problema.

Dado que se conocen, mediante la sincronización realizada, los valores a sumar o restar al tiempo de la cámara 2 para transformarlos en tiempo de la cámara 1, puede realizarse en hoja de cálculo la corrección citada. Se obtiene así el tiempo real de recorrido de cada vehículo, y pueden entonces calcularse todas las variables deseadas.

Independientemente se examina las cadenas de números de orden. Detectando los cambios de orden en esta cadena se ve el mínimo número de adelantamientos realizados para que un orden natural (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,...) pase a un orden distinto (1, 2, 4, 5, 3, 7, 6,...). Se anotan entonces en hojas de cálculo todos los vehículos que adelantan, todos los adelantados y sus velocidades de recorrido respectivas.

Este proceso es, con diferencia, el más largo de todos los mencionados en la reducción de datos. El identificar los vehículos requiere avanzar y retroceder en la cinta, para tener la seguridad de que el vehículo es efectivamente el mismo en las dos cámaras. Por supuesto, el proceso es progresivamente más complejo cuando aumenta la intensidad de circulación, el número de adelantamientos y, consecuentemente, el desorden de vehículos en la cámara 2. Por ello, su duración está entre 5 y 12 horas de reducción de datos por hora de filmación con las dos cámaras, esto es, entre 5 y 12 horas por hora de experimento.

8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MÉTODO PROPUESTO

Entre las ventajas del sistema propuesto se encuentran las siguientes:

- Es necesario realizar una inversión muy baja. Es posible disponer de dos cámaras de vídeo 8mm, dos magnetoscopios, dos aparatos de televisión y un ordenador tipo PC 286 o superior por poco dinero. En cualquier caso, es posible alquilar, o incluso pedir prestado, cualquiera de estos elementos.
- El sistema permite recoger muchas variables distintas. Con el equipo y personal descritos se recogen las siguientes variables:
 - 1) intensidad
 - 2) tipo de vehículo y número de ejes
 - 3) densidad en el tramo observado por cada cámara
 - 4) densidad en el tramo del experimento
 - 5) velocidad de recorrido
 - 6) intervalos
 - 7) adelantamientos
- La metodología expuesta permite adecuar el análisis a las necesidades de cada estudio en concreto.
- La medida de variables básicas, como intensidad, tipo de vehículo e intervalos, es posible en muy poco tiempo de análisis (1,1 horas de gabinete por hora de estudio), con la ventaja adicional de tener los datos directamente en soporte magnético.
- No es necesario disponer de más de tres personas en ningún momento del proceso, por lo que no existe una punta de personal. La formación de una de estas personas debe ser técnica, pero las otras dos pueden tener simplemente una formación básica en metodología de laboratorio.
- La técnica descrita puede ser modificada fácilmente para medir otras variables, como por ejemplo giros en intersecciones, maniobras de frenado o la ocupación de los vehículos. Asimismo permite el estudio en profundidad de la densidad real en un tramo de carretera, que hasta ahora se hace únicamente a partir de datos de ocupación de la-

zas de inducción, o, más raramente, de fotografía aérea. Es habitual manejar densidades obtenidas mediante la ecuación fundamental.

Por otra parte, las principales desventajas del sistema propuesto son:

- El sistema emplea, proporcionalmente, mucha mano de obra.
- Es muy difícil medir velocidades en una sección.

9. CONCLUSIONES

- El vídeo es una herramienta útil para la toma de datos en carreteras de dos carriles, ya que permite la medida de muchas variables con medios limitados.
- Es posible desarrollar sistemas de medida automáticos basados en el tratamiento informático de las imágenes. Sin embargo, estos sistemas son de costo elevado, y además exigen la puesta a punto del sistema con unas constricciones de punto de vista fijo y adecuado, para poder calibrar los programas a la distancia focal y ángulo de incidencia elegidos.
- El método expuesto opta por la flexibilidad que permite medir variables con menor gasto fijo y mayor libertad a la hora de realizar mediciones en cualquier carretera.
- El equipo mínimo para ello es una cámara, un magnetoscopio (aparato reproductor) y un monitor. Con este equipo es posible realizar de manera rápida la medición de intensidades, intervalos y clasificación visual de los vehículos. Si se utiliza además un ordenador personal esta operación puede realizarse en un tiempo de gabinete de alrededor de 1,1 h/h de toma de datos.
- Si se cuenta con dos cámaras y dos reproductores y monitores, es posible con muy poco tiempo adicional medir densidades reales entre dos cámaras, por lo que es posible considerar esta medida como básica sin recurrir a la ecuación fundamental.
- Asimismo es posible obtener datos de velocidades de recorrido y adelantamientos, pero el tiempo necesario está entre 5 y 12 horas de reducción de datos por hora de filmación con las dos cámaras.
- Las ventajas del empleo del sistema propuesto son su bajo coste y fácil disponibilidad, lo que lo hace ideal para investigaciones, ámbitos locales, estudios de bajo presupuesto relativo o países en vías de desarrollo. La diversidad de variables recogidas, y la posibilidad de adecuar el análisis a las necesidades, permite diferir el estudio de otras variables sin pérdida de datos.
- Sus desventajas principales son el peso del coste de la mano de obra y la dificultad de medir velocidades en un punto.
- Por último, es necesario reseñar que es posible variar la técnica expuesta para medir otras variables, como giros en intersecciones, maniobras de frenado o la ocupación de los vehículos.

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] BOTHA, J. L.; SULLIVAN, E. C. AND ZENG, X. (1992) "Level of Service of Two-Lane Rural highways with Design Speeds Less Than 60 mph. Final Report". Dept. of Civil Engineering and Applied Mechanics, San José State University, San José, California.

- [2] BOTMA, H. (1986). "Traffic Operation on Busy Two-Lane Rural Roads in The Netherlands", Transportation Research Record 1091, TRB, Washington, D.C.
- [3] BOX, P. C. y OPPENLANDER, J. C. (1976). "Manual for Traffic Engineering Studies", Cuarta Edición, Institute of Transportation Engineers, Arlington, Virginia, EE.UU.
- [4] BUCKLEY, D. J. (1968). "A Semi-Poisson Model of Traffic Flow", Transportation Science, Vol. 2, Nº 2, mayo 1968, ORSA, EE.UU.
- [5] BYRNE, B. F. y ROBERTS, R. R. (1975). "Effect of 55-mph Speed Limit on Average Speeds of Free-Flowing Automobiles on an Interstate Bridge in West Virginia", Transportation Research Record 538, TRB, Washington, D.C.
- [6] EMOTO, T. C. y MAY, A. D. (1988). "Operational Evaluation of Passing Lanes in Level Terrain. Final Report", UCB-ITS-RR-88-13, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley, California.
- [7] GARDETA OLIVEROS, J. G. (1983). "Estudio de modelos de tráfico vial para carreteras bidireccionales de dos carriles", Tesis doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid.
- [8] MAY JR., A. D. y WAGNER JR., F. A. (1960). "Headway Characteristics and Interrelationships of Fundamental Characteristics of Traffic Flow", Proceedings, HRB, Vol. 39, 1960, pp. 524-547.
- [9] MESSER, C. J. (1983). "Two-Lane, Two-Way Rural Highway Capacity. Final Report", National Cooperative Highway Research Board, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- [10] ROMANA, M. G.; Y MAY, A. D. (1989). "Development of comprehensive passing lane guidelines. Phase I, Field studies and data analysis. Working Paper", UCB-ITS-WP-89-3, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley, California.
- [11] ROMANA GARCÍA, M. (1995). "Evaluación del Nivel de Servicio en Carreteras Convencionales de dos carriles en España", Tesis doctoral, Tesis doctoral, Departamento de Transportes, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid.
- [12] ROZIC, P. (1992). "Capacity of Two-Lane, Two-Way Rural Highways: The New Approach", 71st TRB Annual Meeting, 1992, Washington, D.C.
- [13] STABA, G. R.; ROMANA, M. G. y MAY, A. D. (1989). "Development of comprehensive passing lane guidelines. Phase II, A comparison of entrance designs for passing lanes. Working paper", UCB-ITS-WP-89-10, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley, 1989.
- [14] STABA, G. R.; MAY, A. D. y PHUNG, H. O. (1991). "Development of comprehensive passing lane guidelines. Final Report", UCB-ITS-WP-91-1, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley.
- [15] TOLLE, J. E. (1976). "Vehicular Headway Distributions: testing and results", Transportation Research Record 567, TRB, Washington, D.C.
- [16] TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (1965): "Special Report 87: Highway Capacity Manual", TRB, National Research Council, Washington, D.C.
- [17] TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (1985): "Special Report 208: Highway Capacity Manual", TRB, National Research Council, Washington, D.C. (Existe traducción en español: "Manual de Capacidad de Carreteras", Asociación Técnica de Carreteras, Madrid, 1987. Traducción de Gardeta Oliveros, J.G. y Gardeta Oliveros, G.).

TRAFIC 97 acelera

Los preparativos de la quinta edición del Salón Internacional del Tráfico y la Seguridad Vial, TRAFIC 97, que se celebrará del 21 al 24 de octubre próximos en el madrileño Parque Ferial Juan Carlos I, se desarrollan a pleno ritmo.

Cuatro meses antes de su convocatoria, un total de 54 expositores y 95 empresas representadas (en una superficie neta de 3.000 m²) han confirmado ya su presencia en Madrid.

TRAFIC viene realizando una activa campaña de promoción, sobre todo, en el extranjero. En este sentido, la importante captación de visitantes procedentes de Iberoamérica, África, Oriente Medio y sudeste asiático, y de compradores de Argentina, Brasil, Portugal, Túnez e Indonesia, entre otros países, potencian el carácter internacional del salón, confirmando como uno de los primeros del mundo en su ámbito.

No en vano, TRAFIC presenta al mercado internacional las últimas innovaciones en señalización y equipamiento para carreteras, a través de una completa oferta de barreras de seguridad, pantallas antirruido, alumbrado público, teléfonos S.O.S., unos contenidos de indudable interés para los distintos responsables de estas áreas en todo el mundo.

Además, TRAFIC suma a su condición de escaparate comercial, el ser foro de encuentro del sector, con un intenso e interesante programa de Jornadas Técnicas, que incluye los temas que más preocupan al profesional: la seguridad vial, atendiendo al factor humano, vehículo e infraestructura; la integración y normalización europea del equipamiento vial y control de tráfico, o las repercusiones positivas de los avances tecnológicos en las prestaciones de las carreteras.

Por todo ello, TRAFIC 97 será la cita imprescindible del sector, una ocasión en la que no faltarán las principales organizaciones empresariales e instituciones relacionadas con este ámbito. Los Directores Generales de Tráfico (Ministerio del Interior) y Carreteras (Fomento), Carlos Muñoz-Repiso y Juan Francisco Lázcano respectivamente, han querido sumarse a esta importante convocatoria, presidiendo su Comité Organizador.

LA UNIÓN HACE LA FUERZA



AHORRO
en costes y tiempo

CERCANÍA
a cada obra, en toda España

EJECUCIÓN
sencilla, capaz, limpia

EXPERIENCIA
más de cien años

FACILIDAD
nuestros técnicos se ocupan de todo

INGENIO
la eficacia dirigida

TÉCNICA
método, especialistas, un proyecto

PROBLEMA
resuelto

SATISFACCIÓN
por las cosas bien hechas

SOLUCIÓN
la mejor garantía



UNIÓN
UEE ESPAÑOLA DE EXPLOSIVOS, S.A.