



La estimación de los tiempos de recorrido en la carretera N-335, dentro del sistema de gestión de tráfico en los accesos a Valencia

POR ENRIQUE BEIDA ESPLUGUES
INGENIERO DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS,
DIRECTOR DE CENTRO DE
GESTIÓN DE TRÁFICO DE LA
DGT EN VALENCIA

Muchas aplicaciones ITS*, tanto de gestión de tráfico como de distribución de información, demandan unos datos fiables del estado del tráfico desde el punto de vista del conductor. Son de interés preguntas como: ¿cuánto tiempo se tardará en llegar a un destino por una ruta?, ¿y por otra ruta alternativa?

* ITS: Intelligent Transport Systems o Sistemas Inteligentes de Transporte.



Figura 1.- Tiempos de recorrido.

El desarrollo de este tipo de aplicaciones en los Sistemas de Control de Accesos mejora la calidad de la información difundida, dando una respuesta clara a la demanda creciente, por parte del usuario, de un servicio fiable y comprensible.

En el caso de Valencia, se han estudiado los tiempos de recorrido en la calzada izquierda de la N-335. El sistema está dotado de capacidad para representar, en el programa de control de accesos del Centro de Gestión, y opcionalmente sobre los paneles de mensaje variable, la estimación del tiempo invertido en recorrer distintos tramos, desde el lugar de emplazamiento de los paneles a los puntos de destino. Además de a los paneles de mensaje, estos datos se pueden difundir a través de Internet, teletexto y plataformas digitales de televisión, telefonía móvil, RDS-TMC y a través de puntos de información situados en lugares estratégicos, como son los mercados y los grandes centros de transportes de mercancías, por ejemplo, el situado en Mercavalencia.

El artículo se estructura en torno a la descripción de los equipos actuales y al programa que calcula los tiempos de recorrido. Estos tiempos calculados se comparan con los medidos mediante un vehículo flotante, evaluando así la calidad del programa.

Al poner en funcionamiento estos programas y planificar su ampliación, cabe reflexionar sobre las modificaciones necesarias en el diseño del viario existente, y las directrices que conviene tener en cuenta en los

diseños futuros para crear puntos de decisión en la red de carreteras con suficiente capacidad para que permitan gestionar el tráfico con garantía de éxito.

Al ser ésta una aplicación basada en la captura de datos en tiempo real, con el objetivo de proporcionar un plan de señalización, este sistema está clasificado dentro de los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS).

1. Regulación y control del tráfico en los accesos a Valencia

El objetivo de la implantación de un sistema de gestión de tráfico fue dotar a los accesos a la ciudad de Valencia de todos los elementos necesarios para el control y gestión del tráfico de las carreteras más importantes que acceden o circundan a ella, fundamentalmente la A-7 (*Bu-Pass*). N-

335, CV-500 (Saler), N-221, N-332, N-340, CV-35 y A-3.

Con los datos recogidos, el Centro de Gestión de Tráfico da un servicio de información y asistencia al usuario, y marca los itinerarios más recomendables en los casos de congestiones, de carácter recurrente o no.

a) Componentes del Sistema de Control de Accesos

Los componentes del Sistema de control de los accesos a Valencia se pueden clasificar en las siguientes agrupaciones de elementos:

a) Elementos de interacción con las vías.

- 50 Cámaras de TV en circuito cerrado, con transmisión por fibra óptica.
- 57 paneles matriciales de mensaje variable (PMV), montados sobre pórticos de aluminio.
- 565 lazos electromagnéticos.
- 310 detectores de vehículos de cuatro canales.

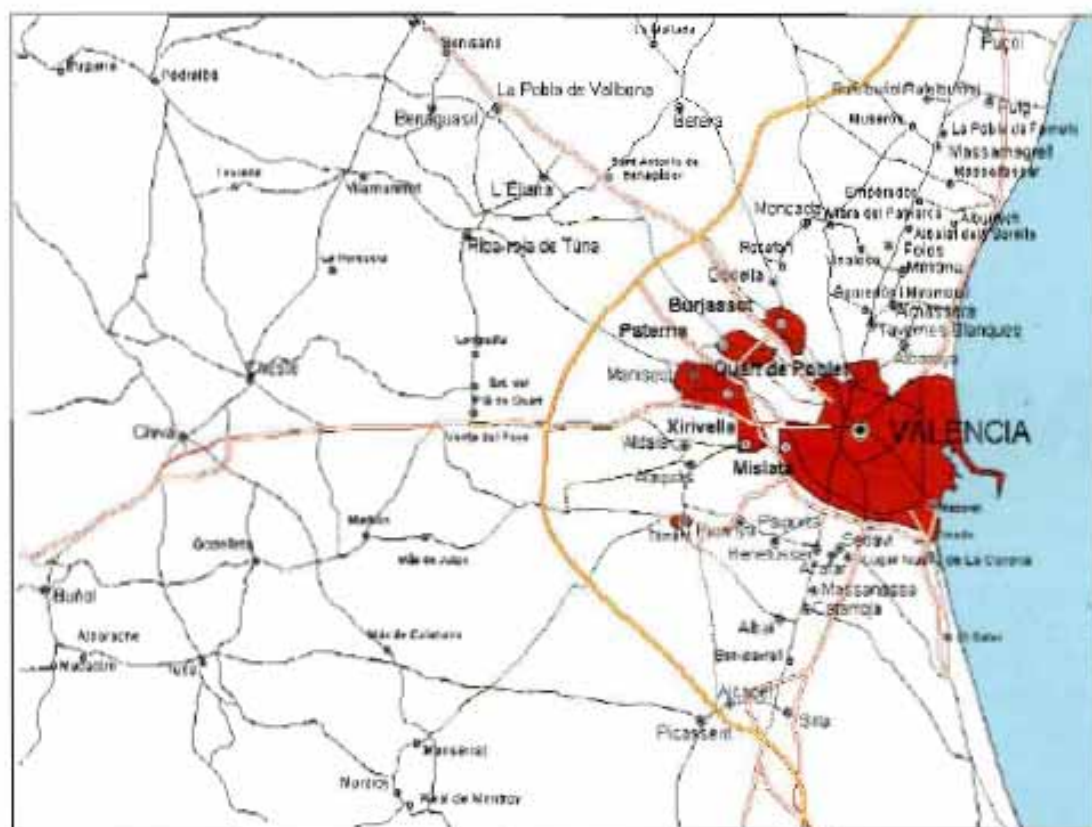


Figura 2.- Plano del entorno de la ciudad



Figura 3. Centro de control.

b) Equipos de control y recepción de datos, conectados directamente a los elementos de interacción con la vía, que efectúan las gestiones de control directo de estos elementos de recepción de datos y de comunicación interactiva con el centro de control situado en Valencia:

- 61 equipos de recepción y transmisión de datos (ETD), conectado a los detectores de vehículos.
- 17 estaciones meteorológicas (EM).
- 517 parejas de postes de auxilio (SOS).

c) 17 estaciones de control local remotas (ECLR), concentradoras inteligentes de las comunicaciones con los equipos de control y supervisión.

d) 7 nudos de control de área (NCA), conteniendo todos los equipos de transmisión de imagen, telemando de cámaras y conversores de datos de los equipos.

e) 1 Centro de control con todos los equipos de centralización de la gestión, comunicado por enlaces de fibra óptica con los nudos de control de área, y con los controladores de comunicaciones de la red de postes de auxilio.

f) Sistema de comunicaciones:

f.1) Red de datos organizada en tres niveles:

- Comunicación sobre fibra óptica entre el Centro de control y los nudos de control de área (NCA).
- Comunicación entre los NCA y las estaciones de control local remotas (ECLR).
- Comunicación entre las ECLR y los equipos de control (ETD: estación de toma de datos de detectores; CVS: controlador de señales variables; CPMV: controlador de panel del mensaje variable; EM: estación meteorológica).

f.2) Red de postes de auxilio
Basada en comunicaciones directas tipo estrella desde el Centro de control.

f.3) Red de imágenes de TV organizada en dos niveles:

- Red de fibra óptica desde el Centro de control hasta los NCA.
- Red de cables desde los NCA hasta las cámaras.

2. Estimación de los tiempos de recorrido

La estimación de tiempos de recorrido entre un origen (panel de mensaje variable) y un destino conlleva la ejecución de una serie de trabajos y estudios previos que se basan fundamentalmente en los siguientes aspectos:

- Características de la información.
- Equipos de toma de datos y paneles informativos existentes.
- Tramitación.
- Validación.

a) Características de la información

La elección de las vías donde se han de dar tiempos de recorrido tiene una gran importancia.



La información que recibe el usuario sobre el tiempo que va a emplear en realizar un itinerario es siempre positiva, ya que cuantifica todas las circunstancias que se dan en la vía para que el trayecto sea más o menos satisfactorio. Sin embargo, si el conductor cuenta con esta misma información, pero de distintos itinerarios alternativos, podrá optar por el que crea más conveniente.

La diferencia entre informar de tiempos de recorrido en carreteras sin vías alternativas o con ellas es que, en el primer caso, al usuario se le da únicamente una información; y, en el segundo caso, esa misma información permite al conductor elegir la vía: así la propia información consigue una redistribución del tráfico adecuada a las circunstancias.

En la red de accesos a Valencia, la N-335 (en sentido a la A-7) presenta unas características idóneas para la información sobre los tiempos de recorrido a lo largo de su trazado. Esta carretera cuenta, en el 60% de su trazado, con dos calzadas separadas por sentido de circulación, conectadas en varios puntos por pasos de mediana. La calzada lateral es utilizada generalmente por los vehículos que acceden o se desvían hacia el núcleo urbano de Valencia. Los puntos de conexión entre la N-335 y Valencia son numerosos, pudiendo optar el usuario por la salida que más le interese, ya sea por mínima distancia o mínimo tiempo. La calzada central es utilizada por los vehículos cuyo destino no sea el núcleo urbano de Valencia, y se puede considerar como un acceso rápido a la A-7 y la A-3.

Con estas características, la información sobre los tiempos de recorrido en esta vía permite al usuario optar por una gran cantidad de itinerarios para llegar a su destino.

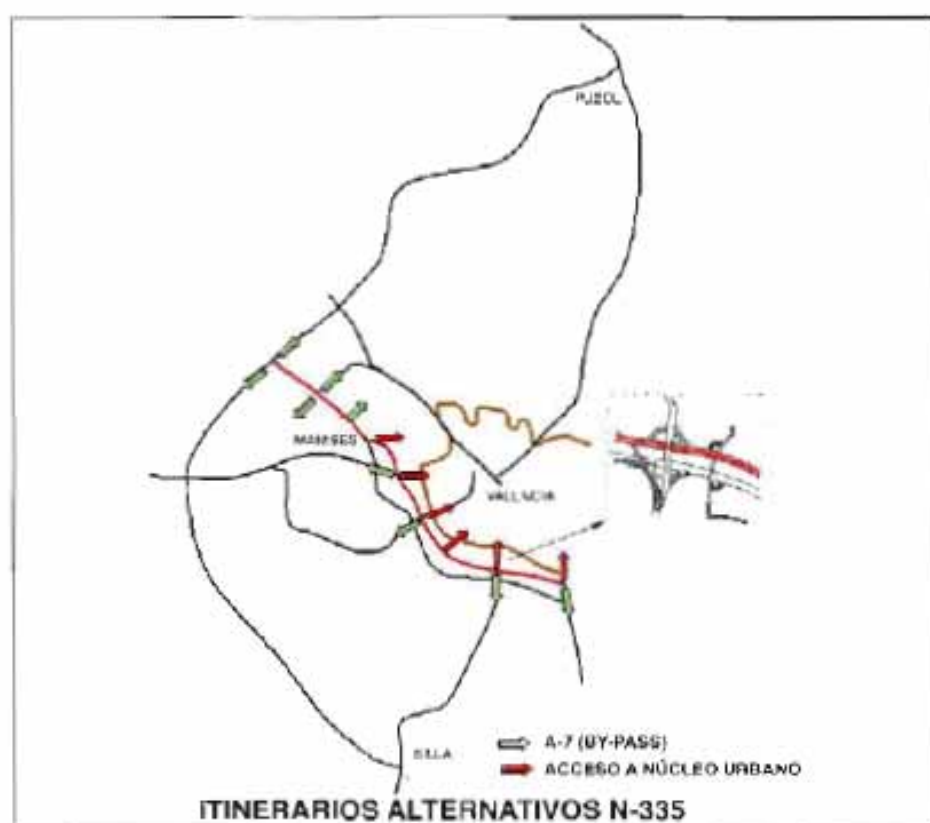


Figura 4.- Trazo de la N-335 con las entradas a Valencia.

b) Equipos

Para poder informar sobre los tiempos de recorrido estimados, es necesario contar con unos paneles de mensaje variable situados a lo largo de la traza de las distintas vías, y en número suficiente para que el usuario conozca las condiciones de cada tramo de carretera y pueda optar por diferentes itinerarios. La misión de los paneles de mensaje variable es la de ir guian-

do al conductor hasta su destino por el itinerario óptimo en tiempo.

Otros elementos necesarios para la estimación de los tiempos de recorrido son los puntos de medida, los cuales (a través de las ETD) obtienen las variables de tráfico necesarias (velocidad, intensidad y ocupación) para poder obtener los tiempos de recorrido.

Los datos de un punto de medida tiene que ser repre-

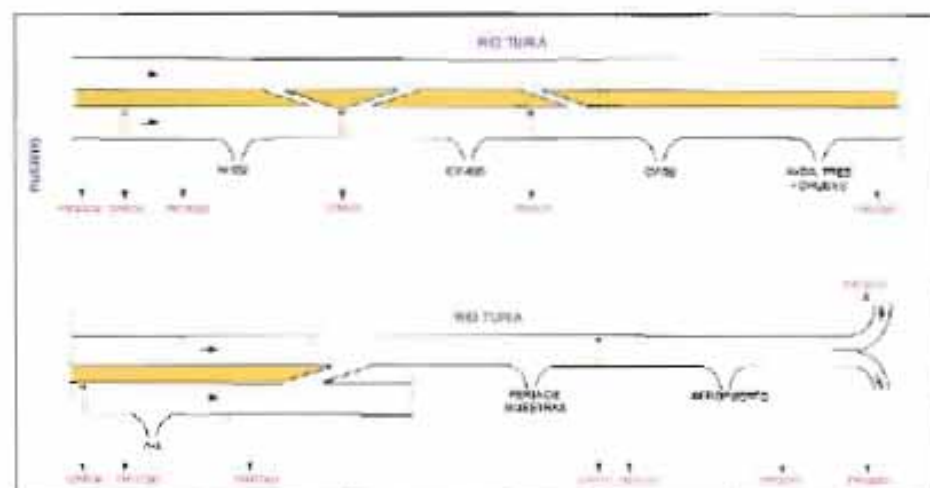


Figura 5.- Trazo de la N-335 con situación de los equipos.

representativos de un tramo, y la experiencia indica que una densidad aceptable es de aproximadamente un punto de medida por kilómetro.

c) Tramificación

Las variables obtenidas en los puntos de medida han de ser representativas de cada tramo, entendiendo por tramo una longitud de carretera con características similares de trazado, de capacidad y de tráfico.

Así pues, un tramo no puede tener entradas ni salidas, y ha de contar con el mismo número de carriles en toda su longitud.

La tramificación correcta de una vía permite conocer el número de ETD necesarias para que la información sobre los tiempos de viaje sea lo más exacta posible.

En el caso de la N-335, la tramificación de las dos calzadas se hace de forma separada, ya que cada una de ellas presenta unas características diferentes y, por lo tanto, distintos puntos de origen y final de los tramos.

d) Validación de los tiempos de recorrido

La validación y optimización de los tiempos de recorrido requiere dos tipos de estudios previos:

- Definición de entidades.
- Ajuste de las variables.

d.1). Definición de entidades

El cálculo de tiempos de recorrido precisa de la definición de una serie de entidades sobre las cuales se basa el posterior cálculo. Las entidades son las siguientes:

- **ruta:** Corresponde al tramo de carretera sobre el cual se quiere informar de los tiempos de desplazamiento. La ruta tiene como origen un panel de mensaje variable, y como destino la

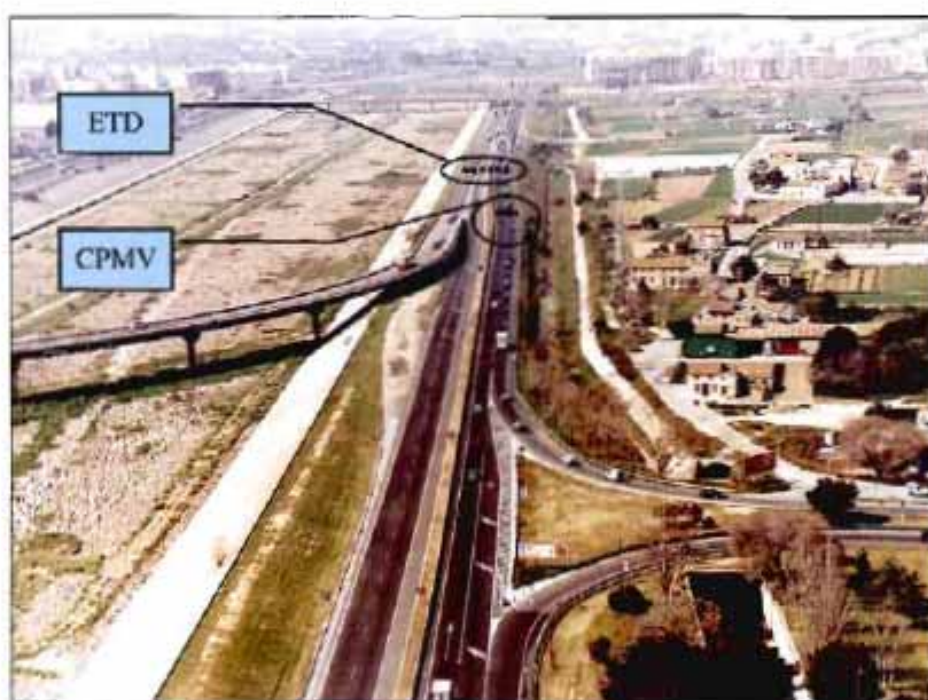


Figura 6. Situación de los equipos.

salida sobre la cual informa el panel.

En el caso de la N-335, la ruta elegida para el proceso de validación corresponde a la calzada interior, desde el panel 34 hasta la incorporación de la N-335 a la A-7.

- **TRAMO:** La ruta está dividida en tramos de características similares en cuanto a intensidades de tráfico y capacidad. Es necesario definir un tramo anterior al panel origen y un tramo posterior al punto de destino. Cada tramo viene definido por sus

puntos kilométricos de inicio y de final.

- **PUNTOS DE MEDIDA DE RUTA:** Cada tramo debe de tener al menos un punto de medida asociado a él, a partir del cual se obtengan las variables de tráfico representativas del conjunto del tramo.

- **PUNTOS DE CONTROL:** Se consideran puntos de control el inicio y final de cada uno de los tramos, el panel origen de la ruta, la salida de destino de la ruta y todos los puntos de medida

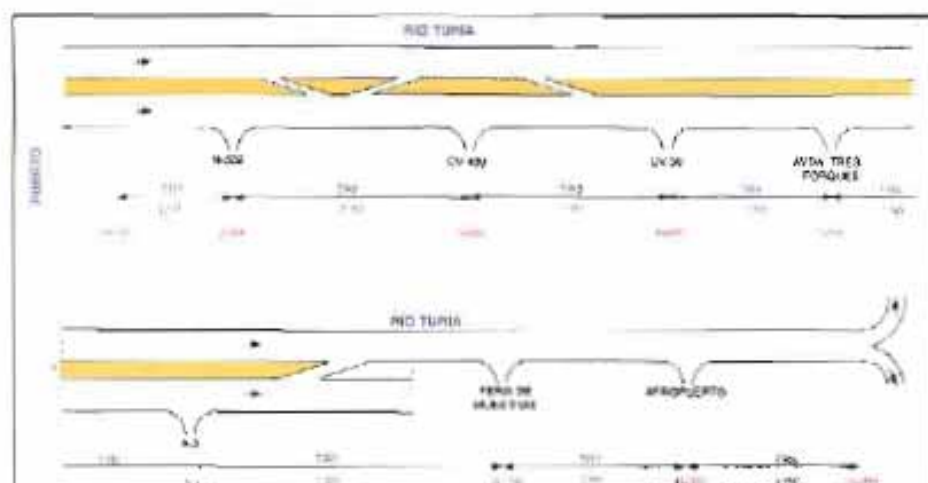


Figura 7.- Tramificación de la N-335.

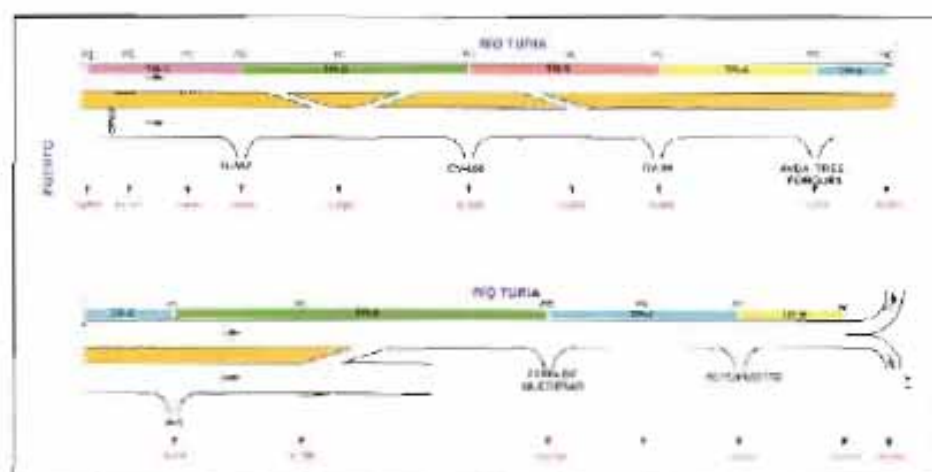


Figura 8.- Definición de entidades.

asociados a cada tramo.

Para cada punto de control se obtiene una velocidad, de una forma directa a través de los puntos de medida, o mediante la extrapolación de datos de los puntos de medida situados antes y después del punto de control.

d.2). Ajuste de variables

El cálculo de los tiempos de recorrido se realiza obteniendo la velocidad media de cada tramo. El tiempo total de la ruta corresponderá a la suma de los tiempos parciales obtenidos en cada tramo.

Sin embargo, los cálculos efectuados a partir de este método suelen dar lugar a errores, generados fundamentalmente en los datos de partida de los puntos de medida. Por lo tanto, es necesario comprobar que los datos proporcionados por las ETD, son coherentes con respecto a un patrón establecido.

La validación de los tiempos de recorrido se fundamenta en dos criterios:

A.- Los datos que proporciona la ETD para cada punto de medida se obtienen en periodos de integración de un minuto, pudiendo haber consiguientemente grandes variaciones en los datos de tráfico entre dos periodos de integración consecutivos. Pa-

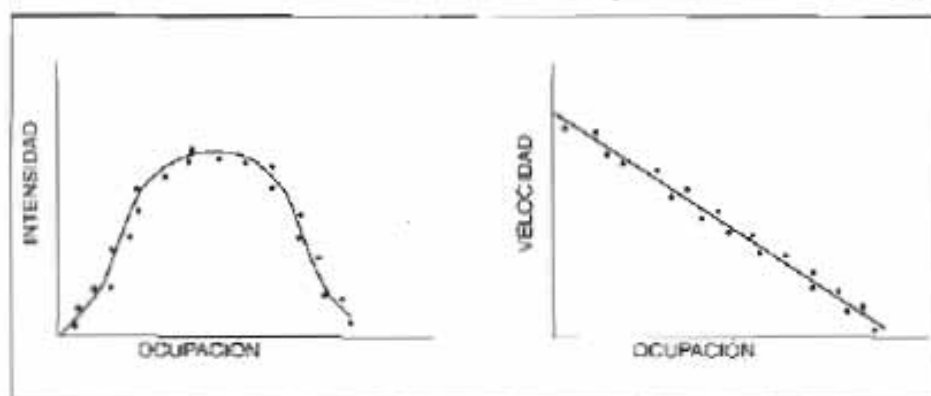


Figura 9.- Curvas I/Q y V/Q.

ra minimizar estas variaciones, los datos de tráfico que intervendrán en el cálculo de los tiempos de recorrido serán medias móviles, es decir, una media de los datos de los "n" últimos minutos.

B.- La velocidad alisada obtenida en cada punto de medida es comparada con una velocidad teórica, mediante la relación existente entre esta variable, la intensidad y la ocupación. Cada sección de medida tiene dos curvas típicas que relacionan las variables intensidad, ocupación y velocidad. Mediante un análisis de los datos históricos, se obtienen, para cada punto de medida, la curva tipo que relaciona la intensidad con la ocupación, y la que relaciona la velocidad con la ocupación.

Para cada valor de intensidad obtenido por el punto de

medida, se comprueban los tiempos de ocupación teórico y real (obtenido por el punto de medida), cuantificando la diferencia existente entre ambos (tiempo de retención).

Así mismo, con la ocupación obtenida por el punto de medida, se estima, por medio de la curva teórica velocidad/ocupación, la diferencia entre la velocidad teórica y la velocidad real.

La velocidad media calculada para cada tramo se afecta por un coeficiente (K),

cuyo valor depende del tiempo de retención y de la diferencia entre las velocidades.

El proceso final de validación de los tiempos de recorrido se basa en la comparación de los tiempos de recorrido medido a distintas horas del día y con diferentes estados de tráfico con los tiempos de recorrido calculados. La optimización de los coeficientes es la labor fundamental de la validación, hasta obtener unos tiempos calculados que se adapten a los tiempos reales.

3. Conclusiones

Con la validación in situ de este proceso de cálculo se consigue medir la bondad de la aplicación informática en distintos escenarios de tráfico. Además, tomando la variable

Intensidad, proporcionada por los equipos de campo a distintas horas de diferentes días de la semana y con diversos estados del tráfico, se logra formular un modelo de regresión lineal múltiple que da los tiempos de recorrido estimados, con sus intervalos de confianza, lo cual permite abundar en la fiabilidad del sistema elegido, eliminando los tiempos calculados y corregidos que caigan fuera del intervalo.

Los modelos de regresión lineal, independientemente del desarrollo de la aplicación que calcula de manera automática los tiempos, permiten analizar la relación existente entre la variabilidad de una variable aleatoria (en el este caso es el tiempo de recorrido), y los valores de una o más variables (aleatorias o no) de las que la primera depende; consistiendo la validación del modelo en una comprobación de la significatividad estadística de la dependencia de la variable objetivo respecto del resto.

La finalidad última de este proceso es la de obtener una función de respuesta con la que poder estimar el valor medio esperable de la variable "tiempo de recorrido" en función de las variables elegidas. Por tanto, una vez elegidas éstas de forma adecuada (esto requiere cierto conocimiento del funcionamiento del fenómeno estudiado y una posterior toma de decisiones para adoptar el conjunto final de variables que se incluyen en el modelo), se trata de determinar los valores de los coeficientes.

Si se tuviera acceso a los datos correspondientes a toda la población de los tiempos empleados por los usuarios de la N-335 desde su construcción, se podría establecer, de forma unívoca y exacta, los coeficientes que afectan a cada una de las variables. Sin embargo, la imposibilidad de llegar a obtener-

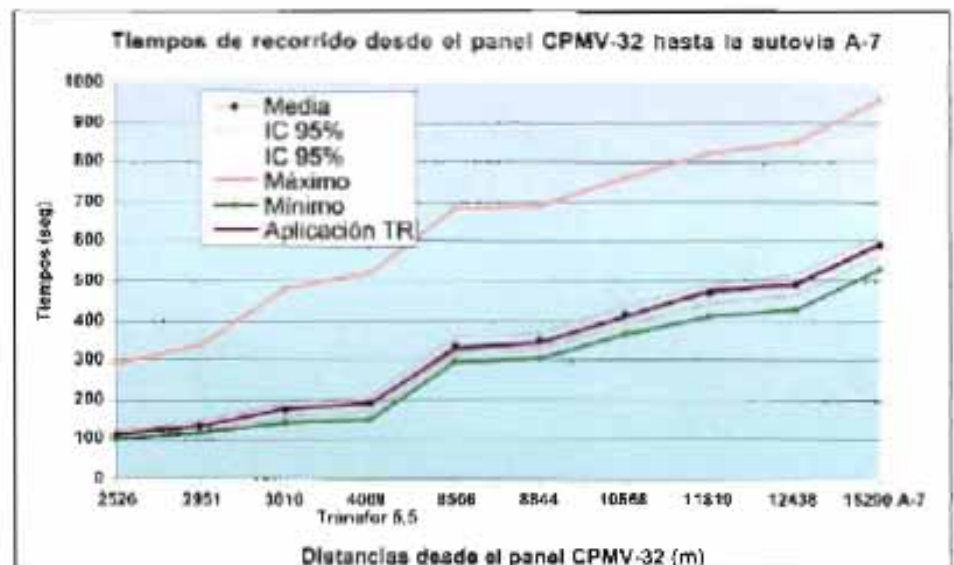


Figura 10.- Tiempos de recorrido desde el panel CPMV-32 hasta la autopista A-7.

los de esta forma obliga a establecer un muestreo mediante el cual, usando las herramientas de la inferencia estadística, se estiman los coeficientes con un cierto nivel de confianza. Asimismo, el proceso permite estimar la varianza σ^2 , en la que se engloba la variabilidad no captada por el modelo, y aportada por tanto por la perturbación aleatoria normal.

Muy importante es también insistir en la **planificación de las redes viarias**. Al po-

ner en funcionamiento estas aplicaciones y planificar además su ampliación, cabe reflexionar sobre las modificaciones necesarias en el sistema viario. El éxito de la información al usuario radica en la disposición de **puntos de decisión** (conexiones con otras carreteras) con suficiente capacidad y disponibilidad de movimientos para que permitan la gestión del tráfico con garantías suficientes. Con una correcta planificación lograría-

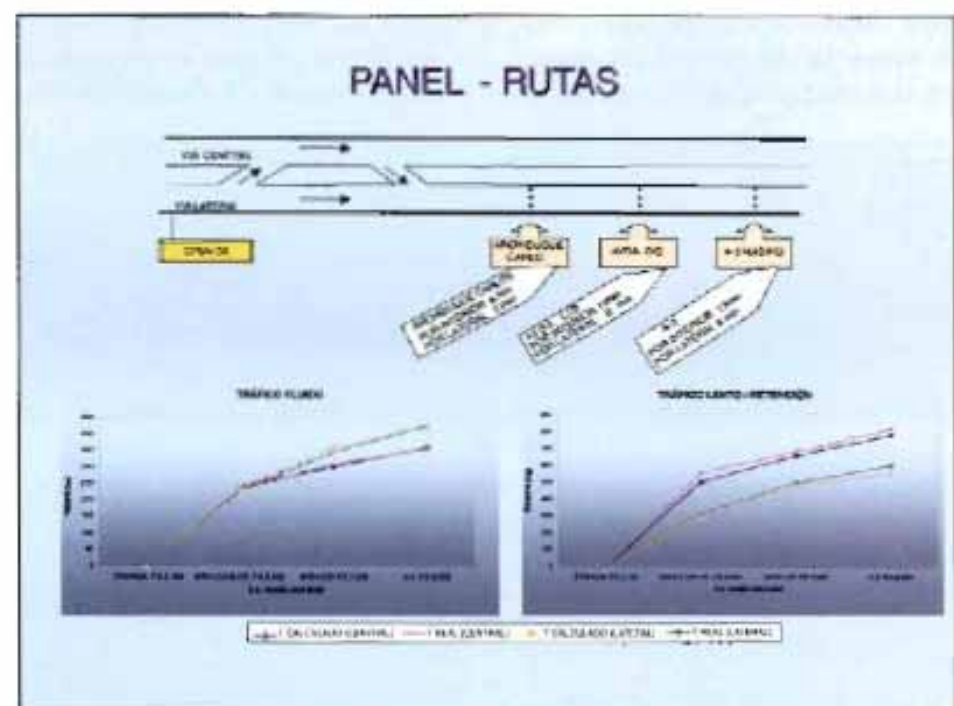


Figura 11.- Panel - Rutas.



La N-335, en el sentido en el que informa de los tiempos de recorrido, las Intensidades superan los 55 000 veh/día.

mos una auténtica red de carreteras, y no una malla de tubos estancos que imposibilita la toma de decisiones en el uso de itinerarios alternativos. Co-

mo expresión de lo dicho, en la vía que nos ocupa (N-335) sólo cabe recordar que en el sentido en el que se informa de los tiempos de recorrido, las

intensidades superan los 55 000 vehículos/día, con proporciones de vehículos pesados superiores al 14%. Si a eso se añade el diseño de la mayoría de los enlaces (con tramos de trenzado y una capacidad insuficiente), la propuesta de tiempos de recorrido, aunque surte efecto, no llega a una efectividad del 100%.

Todo lo anterior nos lleva a pensar si el modelo actual de planificación es el adecuado, máxime cuando la demanda creciente de movilidad genera una presión cada vez más fuerte sobre las redes de infraestructuras existentes, que cada día son más difíciles de ampliar, en su totalidad, por su impacto en el medio y por las dificultades presupuestarias. ■

CONCLUSIONES

- Mejora de la calidad de la información difundida.
- Autogestión de cada una de las dos calzadas.
- Conocimiento *automático, continuo y en tiempo real* del estado de la circulación.
- Auditoría continua de los tiempos suministrados por el sistema.

Figura 12. Conclusiones.