

el ordenador en la planificación viaria

En EE. UU., en el año 1921, existía una tasa de motorización equivalente a la actual de España y como se producían fenómenos de congestión y elevado número de accidentes, fue necesario aplicar las técnicas de organización científica del trabajo a las medidas prácticas que la policía adoptaba en la REGULACION del tráfico. Las etapas que se siguen en este tipo de estudio son las que se han ido desarrollando en paralelo con la estadística: en primer lugar, es necesario un reconocimiento de la situación, recopilando los datos. Despues se establecen los conjuntos homogéneos, que ya constituyen información estadística. En una tercera etapa, se describe este conjunto por las características comunes o por su medida. Más tarde se aplica la estadística inductiva y se analizan las tendencias del conjunto por muestreo. Finalmente, en las últimas etapas, recientemente desarrolladas, se formula el comportamiento a través de modelos que, si bien no llegan a expresar por qué ocurren los acontecimientos, reflejan cómo ocurren éstos.

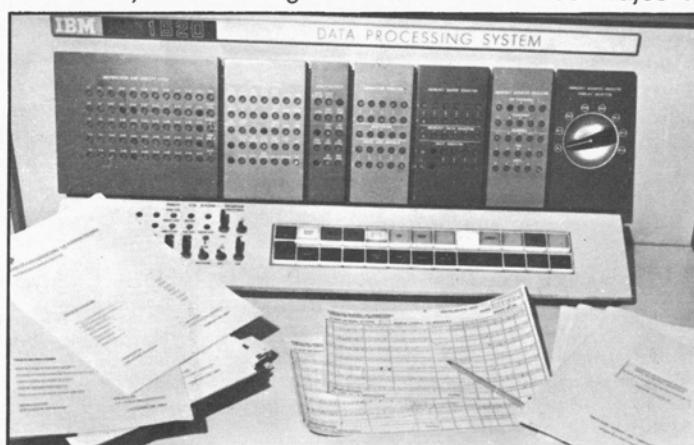
El análisis de los problemas de la circulación, descubre que, en muchos casos, sólo se pueden resolver habilitando nuevas carreteras. Por eso, casi desde el principio, se incluyó en la técnica del tráfico el TRAZADO o determinación de las características geométricas para que los vehículos no se interfieran entre sí.

También se manifestó, prácticamente desde el origen de la Ingeniería de Tráfico, la necesidad de dimensionar las carreteras para el tráfico futuro, puesto que la infraestructuración es estática y el tráfico sufre un crecimiento dinámico. Por lo tanto, si

se proyectan las carreteras para el tráfico que se utilice en el momento en que se construyan, al poco tiempo se reproducirán las dificultades que trataron de evitarse. Este tercer campo de actividad se ha englobado en el concepto de PLANEAMIENTO VIARIO.

Finalmente, en la definición del Instituto de Ingeniería de Tráfico americano, se incluye también como campo propio de esta técnica, la ordenación de la propiedad colindante y, de un modo especial, el APARCAMIENTO. Esto es lógico, puesto que al analizar los viajes no sólo se observa el vehículo en su desplazamiento, sino que hay necesidad de estudiar también el espacio que ocupa, en su origen y su destino.

En España, la Ingeniería de Tráfico se introdujo en el año 60, con motivo del Plan General de Carreteras. Este Plan tenía como objetivo transformar los tramos de carretera, no tolerables, a las condiciones internacionales de servicio, que son un invariante independiente-



IBM 1620 del Negociado de Estudios Básicos de la Dirección General de Carreteras.

mente de la naturaleza económica del país. Las normas tolerables y de proyecto internacionales, establecen las características geométricas en función del rango del camino y del tráfico del mismo, por lo tanto, para redactar este Plan, fue necesario realizar el Inventario de la Red y un Plan Nacional de Aforos. En el Plan General de Carreteras sólo se pudieron estimar las necesidades en su conjunto, puesto que evaluar el coste de las autopistas o la actualización de los accesos a las ciudades con detalle, suponía realizar unos estudios, que no era posible en los ocho meses que la Ley de Bases ordenaba para su redacción.

■ PLANEAMIENTO VIARIO

El planeamiento viario, si se proyecta a los años próximos, y desde este momento se reservan los terrenos, evita la duplicidad de inversiones, la especulación de solares y las desastrosas presiones que alteran básicamente los planes de ordenación. Pero, naturalmente, si queremos que sea real y eficaz ha de tener una base muy objetiva, puesto que, mientras más concretas sean sus conclusiones, mayor beneficio o perjuicio puede causar a la Comunidad.

La Ingeniería de Tráfico, en definitiva, comprueba si las soluciones previstas en el plan de ordenación han dimensionado adecuadamente sus vías para el tráfico que se produzca en cada momento, y si es o no interesante, desde el punto de vista económico o social, realizar estas obras públicas. Define la correlación que liga los factores económicos, que son conocidos en su evolución, con el uso del automóvil, establece modelos de distribución del tráfico que se generan o atraen en cada nudo, para conocer las líneas de deseos de viajes y analizando los criterios de selección de itinerarios que el usuario expresa en situaciones análogas, los aplica al área del estudio y cuantifica los que coincidan en cada tramo de la red prevista. En una fase posterior, la comprobación económica, que también es campo de la Ingeniería de Tráfico, porque ha sido la técnica promotora de considerar el coste integral del transporte —inversión y explotación— en la carretera. Los estudios de tráfico han sido muy importantes y han modificado hipótesis en el ordenamiento de las ciudades, puesto que el tráfico es un condicionante destacado del desarrollo urbano y algunas zonas de nuestra ciudad se verán degradadas de sus previsiones, por no haber dimensionado adecuadamente sus calles y aparcamientos.

■ INFORMACION BASICA

La probabilidad de alcanzar un objetivo en todo intento de racionalización dependerá, en gran parte, de la certeza de las hipótesis establecidas. Por eso, antes de analizar hay que observar y definir el procedimiento para agrupar la información. En este

el ordenador en la planificación viaria

sentido, la Ingeniería de Tráfico se apoya en las conclusiones y los criterios de comportamiento estudiados por el sociólogo, economista y urbanista. También cuenta con todas las técnicas utilizadas en el análisis, como son la estadística y la informática.

Otro pilar base en el planeamiento de las vías es el inventario de la red, puesto que el uso de una vía no sólo depende de un servicio, sino también del estado de los itinerarios alternativos, y debemos adoptar una solución que dé lugar a una mejor utilización de la red. La información básica ha de permitirnos analizar el tráfico actual, ver cómo se distribuirá, si modificamos la red, y cómo evolucionar en un período que nunca debe ser superior a veinte años. La información básica ha de permitir planificar a largo plazo y programar las etapas parciales.

■ ESTUDIOS DE TRAFICO

El conocimiento del tráfico actual se realiza por medio de aforos y encuestas de origen y destino, que definen la estructura y la composición del tráfico. Desde el año 1960 se controla el tráfico de las carreteras sistemáticamente, a través de una red de estaciones de distinto rango, según la frecuencia con que se hacen las mediciones y el medio.



Las estaciones de control se clasifican en: permanentes, primarias, secundarias y de cobertura. En las permanentes el aforo es continuo, con aparatos de control automático, y en las restantes se mide de modo manual, con una frecuencia que oscila de veinticuatro días durante veinticuatro horas, a un día al año durante diecisésis horas. El establecimiento de las estaciones permanentes se inició en 1962 y fue extendiéndose, de un modo progresivo, hasta las 100 que hoy día existen. Actualmente son la fuente de información del tráfico porque de un 50 por 100 de vehículos controlados en 1962 por estas estaciones se ha pasado en 1965 a un 66 por 100, y en 1966 a un 90 por 100.

El Plan de Aforos se ha desarrollado en el período 1960-65, con carácter general, con el fin de disponer de una información básica de análoga calidad a los restantes países europeos. La información actual procede de aforos continuos con una muestra importante de la población, puesto que el valor medio de las veces en que se afora cada vehículo del parque actual es del orden de 50. En 1960 se aforó 15 veces cada vehículo, y en 1965, 67 veces.

En estas encuestas de orígenes y destinos se consideran los accesos importantes al núcleo, con el fin de interceptar a la mayoría del tráfico que entra y sale. Se pregunta a los conductores acerca del origen y destino, objeto del viaje, tipo de mercancía y número de plazas ocupadas. También se recoge información sobre el tipo y residencia de los vehículos y las mercancías que entran. El estudio se desarrolla disponiendo una subdivisión en zonas, dentro y fuera del cordón, procurando que constituyan un área homogénea de carácter residencial, comercial, etc. Las zonas exteriores suelen estar delimitadas por su naturaleza administrativa: países, provincias, partidos judiciales y núcleos de población importantes.

Los datos de la encuesta se transforman en intensidades de tráfico que representan el día medio del año. Por este motivo, en cada una de las estaciones se hacen aforos que definen el valor medio del día laborable, y a través de las afinidades del Plan Nacional de Aforos proporciona en cada estación los coeficientes



de afinidad, del día y mes en que se celebró la encuesta. Aplicando estos coeficientes al valor medio hallado se obtiene la IMD. Naturalmente, no se entrevista a todos los conductores, y hay que establecer un coeficiente de expansión para considerar todos los vehículos que pasan por la estación. Los resultados del análisis de estas encuestas se presentan en diversas tablas que definen la composición del tráfico por el tipo de viaje, por estación, longitud media de los viajes y vehículos-kilómetro por tipo de vehículo, objeto del viaje por estaciones en porcentaje, número medio de plazas ocupadas por tipo y objeto del viaje, distribución del tipo de carga por estaciones con orígenes y destinos, etc. Es necesario preparar un total de 58 cuadros. Es difícil dar una cifra significativa del coste de las encuestas y el número necesario de ellas para realizar un estudio económico de un tramo de autopista, pero se puede considerar de 1.5 a 2 por cada 10 kilómetros

para tramos de 100-200 kilómetros.

En el estudio del Sistema Nacional de Autopistas se determinó la distribución del tráfico, no sólo por la tabulación de encuestas, sino a través de simulación de tráfico que se contrasta con un programa de aforos adecuado. El método trata de hallar las líneas de deseo a partir de los datos económicos y demográficos.

Los datos básicos de la zona que tienen influencia en el tráfico, como densidad de la población, índice de motorización, uso del suelo, renta por habitante, etcétera, se relacionan con el total de viajes que entran y salen de cada zona. Estas correlaciones denominadas modelos de generación y atracción se ajustan con programas de cálculo electrónico como todos los demás cálculos, no obstante, y análogamente a la determinación de los coeficientes estadísticos de los aforos o la tabulación de las encuestas, como son cálculos que no suponen un

tratamiento específico de los problemas de tráfico, no se han incluido en el capítulo dedicado al análisis del proceso con ordenador.

Conocido el volumen total de viajes, hay que definir el origen y destino, es decir, cómo se distribuyen los viajes generados en cada zona, entre las restantes. Para estudiar esta distribución se utilizan los modelos de gravedad y de factor de crecimiento. Los modelos de gravedad se basan en el principio de que el número de viajes entre dos zonas es directamente proporcional al poder de generación de una de ellas y de atracción de la otra, e inversamente proporcional a una cierta función del tiempo de recorrido entre una zona y otra, es decir, que:

$$t_{ij} = G_i A_j f(t_{ij})$$

Esta función del tiempo puede ajustarse a partir de los datos de las encuestas y es distinta para cada objeto de los viajes. El modelo de gravedad se establece

considerando un cierto número de viajes entre zonas. En las restantes zonas se calculan los viajes en función de la atracción y generación y del valor que toma la función modelo, para el tiempo correspondiente entre ellas. Por lo tanto, se pueden distinguir tres factores a los que son proporcionales los viajes entre dos zonas: factor de generación, de atracción y coeficiente de fricción, que engloba los otros parámetros del modelo y que es función del tiempo de recorrido. Los factores generación y atracción son función del momento que se considera. El cálculo se realiza determinando el tráfico entre la zona i y la zona j, como el producto del coeficiente de fricción entre estas dos zonas, por la generación de la zona i y la atracción de la zona j ($G_i A_j$). Los elementos definen una matriz que, sumados por filas y por columnas, nos deben dar el tráfico atraído y generado en cada zona. Pero, naturalmente, en la primera reiteración no coinciden los resultados con los datos del problema y hay que introducir unos coeficientes de ajuste para cada fila y para cada columna, que se van corrigiendo a lo largo del estudio, con objeto de que los resultados encajen en los límites de los errores admisibles.

Si los viajes producidos entre dos nudos, obtenidos como resultado del cálculo anterior, no presentan una buena correspondencia como datos de origen y destino, hay que modificar los coeficientes introducidos en el programa para calcular los restantes movimientos. La asignación de tráfico, en el caso más general, supone que en la red existente se introducen mejoras, se construyen nuevas carreteras y se trata de averiguar cómo se distribuye el tráfico en un año futuro. Para la resolución de este problema es necesario:

1. Determinar los itinerarios más rápidos entre un origen y un destino, admitiendo un tiempo de recorrido en cada tramo de la red existente.
2. Asignación de los movimientos medios por origen y destino a estos itinerarios y comprobación de los datos recogidos en las estaciones de aforos que se han establecido simultáneamente con el estudio de origen y destino.

3. Corrección de los tiempos de recorrido en los tramos de la red para ajustar la correlación entre los tráficos asignados y los medidos en las estaciones de aforos.

el ordenador en la planificación viaria

4. Determinar los coeficientes de crecimiento del tráfico global en función de los datos estadísticos que se conozca su evaluación en el tiempo (población, parque de vehículos, índice de motorización, etc.).
5. Distribución de este tráfico de acuerdo con la atracción de cada zona.
6. Corrección de los tiempos de recorrido en los tramos que se mejore el nivel de servicio.
7. Determinación de los itinerarios alternativos a los de tiempo mínimo de recorrido, que comprenden tramos de las carreteras que se proyecte construir.
8. Asignación del tráfico global entre estos itinerarios alternativos, suponiendo la participación porcentual en función de las relaciones de los tiempos de recorrido que define la curva de distribución.
9. Determinación de los vehículos-kilómetro y vehículos-minuto en la situación actual y futura, en las distintas hipótesis en las que se introduzcan nuevas carreteras.

El programa utiliza el algoritmo del camino crítico, que comprende el tiempo mínimo de recorrido entre un punto de origen y todos los demás de destino de la red. Calcula el tiempo mínimo de recorrido y la intensidad de tráfico entre cada dos puntos origen y destino, y almacena en una tabla las intensidades de tráfico y en otras los tramos con sus co-

rrespondientes tiempos de recorrido. El caso 0 se refiere a la red existente y el caso 1 a la red futura, en la que se incluirán las nuevas carreteras o se introducen mejoras en los tiempos de recorrido.

El proceso consiste en analizar los tramos que parten de un origen y almacenar en una zona de memoria los tiempos que se tarda en ir a los nudos contiguos. De estos nudos contiguos selecciona el más próximo al origen, en tiempo, y traslada el valor del tiempo de recorrido a otra nueva zona de memoria, en la que se van almacenando los tiempos mínimos. El extremo seleccionado se considera como nuevo origen y se van almacenando en las primeras de las tablas los tiempos al origen absoluto, eligiéndose como nuevo origen, es decir, como tiempo que se pasa a la tabla de valores mínimos, el menor de todos los existentes. Si se hubiera alcanzado por este segundo itinerario algún origen previamente determinado, se anotaría a la primera de las tablas el valor mínimo de recorrido desde el origen absoluto.

El esquema es de carácter reiterativo y termina cuando el nudo destino pasa a la zona de valores mínimos. Este método es correcto, porque si existiera otro itinerario que supusiera un valor menor de recorrido figuraría en la tabla primera un tramo parcial de este itinerario, que por ser parte del total tendría un tiempo menor que el considerado, y por lo tanto habría que tenerlo en cuenta antes de pasar a la tabla de valores mínimos el destino final.

Para estimar adecuadamente la probable evolución del tráfico en una ciudad no sólo hay que estudiar el tráfico que llega a los accesos, sino también el que circula por el interior. El interior se determina ajustando módulos matemáticos, ensayados en ciudades análogas a las características propias.

Fernando de Casso, Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe del Negociado de Estudios Básicos (M.O.P.)