

EVOLUCION DE LA TECNICA DE CARRETERAS. TENDENCIAS FUTURAS (*)

Por OLEGARIO LLAMAZARES GOMEZ

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Por lo que tiene de revisión y síntesis de la técnica de carreteras, nos ha parecido oportuno publicar la conferencia pronunciada por nuestro colaborador habitual Sr. Llamazares en el "Curso permanente de Carreteras". No obstante el carácter muy general de la exposición, su lectura puede servir de iniciación o repaso de la compleja técnica vial de nuestros días. Inicia el autor su exposición con una breve historia de la evolución de la técnica y planes de mejora de nuestra red, para lo que la primera realización sería fue el Circuito de Firms Especiales. La introducción de la Ingeniería de Tráfico, la fotogrametría aérea, el cálculo mecanizado a base de programas de ordenador y las prospecciones geotécnicas se citan como jalones importantes sin los que no sería posible el estudio de los grandes proyectos de hoy. Consideraciones esenciales sobre la ejecución de las distintas partes de la obra: explanación, bases, pavimentos, etc., y el perfeccionamiento de los métodos de control, en el que desde la inspección ocular — que puede verse en la fotografía histórica de una recepción en los años 30, que se acompaña — se pasó al empleo de isótopos radiactivos, completan con una referencia a los nuevos materiales y productos especiales. el texto ilustrado del interesante trabajo que ofrecemos al lector.

INTRODUCCION

La evolución de la ciencia y sus aplicaciones técnicas ha sido espectacular en los últimos treinta años. Puede decirse que en este período hemos tenido la fortuna de asistir a un avance muy superior a todo lo realizado en la historia del mundo. Con la industria química, la aventura espacial y la informática puede alinearse el desarrollo de la tecnología vial en su complejo y variado campo.

El desarrollo de la industria del automóvil al servicio de una sociedad motorizada y el sistema de transporte a que ha dado lugar, que se fue imponiendo progresivamente por sus ventajas de rapidez y flexibilidad para servir a todas las zonas habitadas por vías de coste adaptado a la demanda de tráfico, creó una serie de problemas que se fueron resolviendo por un mejor conocimiento de la relación vehículo-vía, basado en la investigación y en la experiencia.

Se fueron así mejorando las condiciones de seguridad, comodidad y rentabilidad de la explotación, lo que fue posible gracias a una nueva organización de los trabajos de estudio y construcción, con métodos y equipos que permitan los neces-

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista, hasta el 30 abril de 1970.

rios ritmos y calidad que requieren estas obras de gran volumen, en las que hay que llegar a un máximo de durabilidad con un mínimo de conservación.

En España, para calibrar la importancia de esta evolución, basta mirar veinte años atrás, cuando la carretera era el servicio ordinario, cuya técnica se condensaba prácticamente en una Instrucción, integrada por normas de tipo general, pues cabía poca casuística, tanto en el aspecto geométrico como en el resistente. Esto, bien es verdad, exigía un mayor esfuerzo personal a ingenieros y subalternos que mantenían una lucha casi heroica con la falta de medios mecánicos y la insuficiencia de créditos presupuestarios.

En lo que respecta a la construcción, asombra pensar cómo nuestros antecesores hicieron realidad la mayor parte de nuestros 80 000 Km. de la red sin medios mecánicos, y mucho de ellos en terreno quebrado.

El problema de la conservación, si bien más que contra el tráfico contra los elementos, exigía muchas horas de atenta vigilancia y duro trabajo manual.

Tres grandes esfuerzos de mejora de la red estatal adaptados al estado de la técnica en su momento, merecen citarse en estos antecedentes españoles:

- el Circuito Nacional de Firmes Especiales, en tiempo de la Dictadura de Primo de Rivera, siendo Ministro el Conde de Guadalhorce, que incluyó los 6 700 Km. básicos entonces por su función.
- el Plan de Modernización de 1950, aplicable a 11 364 Km., básicos también y en muy mal estado como consecuencia de los años de la guerra civil y las difíciles condiciones de la posguerra.
- el Plan General de Carreteras de 1962, que valoró las necesidades de mejora y ampliación de la red para adaptarla al tráfico previsible en un horizonte de dieciséis años.

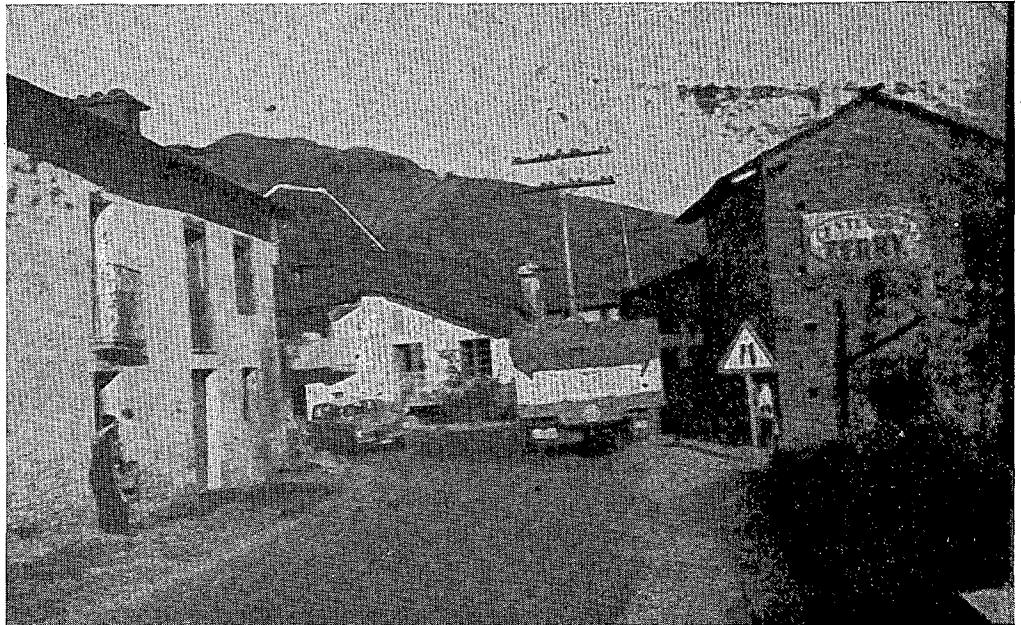


Fig. 1. — El Plan de Modernización incluyó entre sus realizaciones la supresión de muchas travesías peligrosas de carreteras nacionales, como la que muestra la fotografía.

El Circuito introdujo los aglomerados y los pavimentos rígidos (empedrados concertados y adoquinados) y hubo tramos mejorados que duraron más de treinta años sin reparación.

El Plan de Modernización mejoró las características geométricas en tramos de malos trazados, suprimió travesías peligrosas, acondicionó las calzadas en anchos y pavimentos y atendió también a la señalización que ya era imprescindible en estas vías.

La auténtica renovación técnica tuvo lugar con el Plan General. Las normas de trazado y sección transversal para nuevas carreteras o las toleradas para acondicionamiento de las existentes, la Instrucción para firmes flexibles y rígidos y demás elementos, así como la reorganización de la Dirección General de Carreteras, han permitido ese cambio radical de nuestro sistema viario, del que los itinerarios de REDIA y los accesos preferentes del PANE son el más elocuente ejemplo.

Largo sería referirnos a todos los puntos representativos de la evolución de la técnica vial desde los tiempos pasados del servicio ordinario: los métodos de investigación previa, los procesos constructivos apropiados, el control de laboratorio, etcétera, pero trataremos de pasar revista a los principales y señalar las tendencias en el estado actual de la técnica.

LA INGENIERIA DE TRAFICO

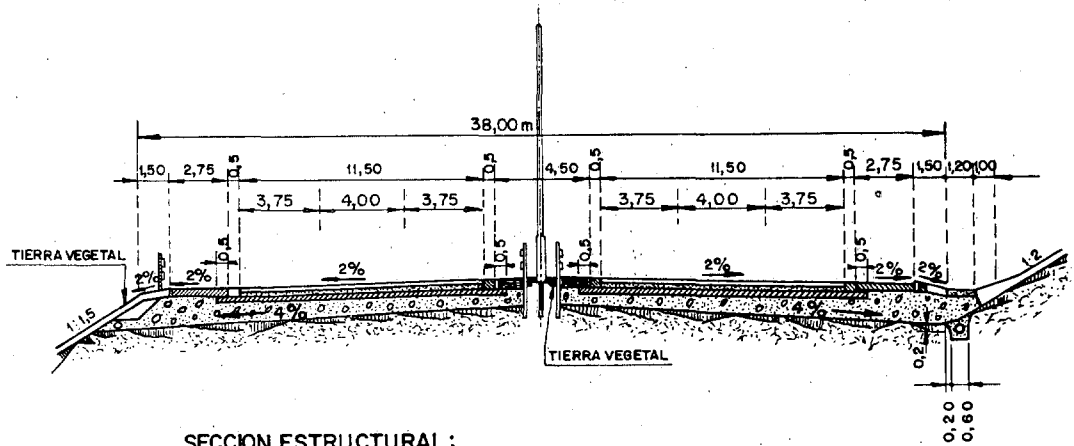
Una carretera debe proyectarse y construirse de acuerdo con la demanda de tráfico que se prevé para el período de servicio que se asigne, definido por el fin de éste o *año horizonte*. Para esta demanda debe dimensionarse su sección transversal y los enlaces o intersecciones con las vías que interfiere.

Son importantes, en consecuencia, los problemas de prognosis, de incorporaciones e interferencias de los flujos de tráfico. De ello, se ocupa una ya compleja rama de la Ingeniería Civil, la Ingeniería de Tráfico, de base estadística y geométrica, que surgió en los Estados Unidos, pioneros siempre de la técnica vial. El imperativo del crecimiento de su parque nacional de vehículos, que en 1921 igualaba al nuestro de hoy en habitantes por vehículo, obligó al desarrollo de unos estudios del tráfico previsible y su canalización óptima.

Es fundamental para el estudio económico-funcional de las nuevas vías o del acondicionamiento de las existentes fijar unos criterios de capacidad para calzadas unidireccionales y bidireccionales. La capacidad de una vía es una combinación de las características geométricas y de la composición del tráfico que va a servir. Los factores que intervienen son: número de carriles, velocidad específica, proporción de vehículos pesados, tráfico afluente o derivado y otros menos importantes.

Para el dimensionamiento de la sección transversal hay que partir de la hora punta diaria, que se estima en un por ciento de la IMD (*), del desequilibrio direccional y del número de vehículos pesados. Conociendo el tráfico previsible para el año horizonte se definirá el número de carriles por calzada. La aproximación de la IMD se consigue por un amplio estudio de aforos directos, encuestas de origen y destino y otros análisis del posible desarrollo de la zona de influencia. El Plan Na-

(*) Como es sabido, suele dimensionarse para la hora 30, que para carreteras en campo abierto es del 12 al 16 por 100 de la IMD; en vías urbanas puede bajar al 8 por 100, ya que el reparto diario es más uniforme.



SECCION ESTRUCTURAL:

3,5 cm de asfalto fundido
 8,5 cm de capa intermedia (5+3,5cm)
 16 cm de base asfáltica

15 cm de grava - cemento
 35 cm mínimo de capa antihielo
 El pavimento del arcen es de hormigón

Fig. 2. — Sección transversal de una autopista en zona urbana. El coste del terreno obliga a construir una mediana estrecha, pero se establecen barreras de seguridad.

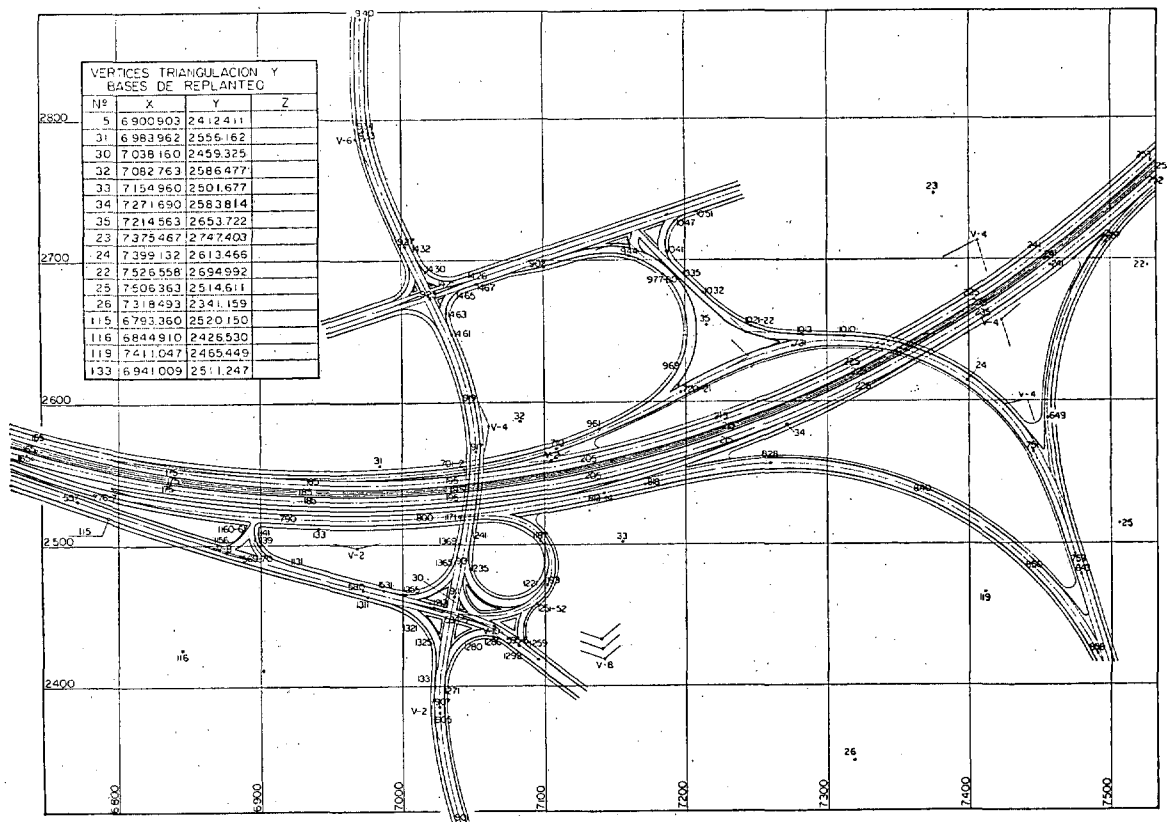


Fig. 3. — El empleo de curvas de transición y la aplicación del cálculo mecanizado son dos características de los nuevos proyectos. Véase el esquema planimétrico del enlace de Villalba en la CN.VI, de Madrid a La Coruña. Para el trazado, a base de acuerdos clotoïdales, se empleó un programa de ordenador.

cional de Aforos iniciado en 1959 ha servido de base a los estudios de capacidad de nuestras autopistas.

Este dimensionado geométrico de las calzadas sustituye a la simplista definición de anchos para carreteras nacionales, comarcales y locales de la antigua Instrucción, que era suficiente en aquella época de tráfico muy reducido.

La concepción de esquemas óptimos para intersecciones o enlaces a distinto nivel (trompetas, diamantes, etc.) y el dimensionado óptimo de sus elementos ha sido otra interesante labor específica de la Ingeniería de Tráfico.

ESTUDIOS Y PROYECTOS

Uno de los aspectos en los que se advierte claramente la evolución de la técnica, y que al mismo tiempo se beneficia considerablemente de ella, es el estudio de los proyectos. Un conocimiento mucho más profundo de los datos de partida (demanda de tráfico, características geológicas y geotécnicas del terreno, prospección de yacimientos de materiales, etc.), al que se llega gracias a los sistemas modernos de investigación, permite limitar mucho las sorpresas en la ejecución y ajustar los precios unitarios. Los proyectos incluyen también el plan de obra y la previsión de maquinaria precisa.

Los proyectos importantes se estudian en tres fases: Estudio previo, Anteproyecto y Proyecto definitivo.

Las dos primeras constituyen aproximaciones sucesivas a la solución óptima que se define y valora en la última. Los datos de tráfico y desarrollo de la zona de influencia, la prospección geotécnica necesaria para definir el trazado, el estudio hidrogeológico que fije la situación y capacidad de desagüe de las obras de fábrica y el análisis de costes-beneficios, servirán para definir la solución óptima entre las alternativas posibles.

En estos proyectos la fotogrametría aérea ha sustituido a la topografía clásica. El sistema es más económico para obras grandes y permite el estudio del trazado en una faja de 400 a 500 m. La rapidez no puede decirse que sea mayor, pues depende de las posibilidades de vuelo sobre la zona que interesa. En todo caso, la restitución del taquimétrico a partir del fotoplano exige el apoyo de campo para la escala y precisión de los planos con que se trabaja a nivel de proyecto. Sobre la faja levantada se llegará a la línea óptima en tres dimensiones, que cumpla las características geométricas que corresponden a la velocidad de base del proyecto, teniendo en cuenta los suelos de apoyo con la posible compensación volumétrica y el aspecto estético de la carretera en su relación con el paisaje.

En los trazados modernos se huye de las alineaciones rectas, que son causa de peligrosas distracciones en el conductor y de deslumbramiento por la noche. La estética abona también esta solución de trazados curvilíneos, integrados por amplios arcos de círculo y enlaces de curvatura progresiva. Incluso se prescinde de los arcos circulares llegando a trazados que son sucesiones de clotoides de curvaturas alternativamente crecientes o decrecientes. La clotoide deja de ser un elemento de transición para hacerse elemento esencial del trazado en planta.

Se han mejorado los perfiles longitudinales limitando pendientes y aumentando la visibilidad en los acuerdos verticales convexos. Los peraltes y su transición

se fijan de acuerdo con la curvatura en planta y la velocidad específica. En las calzadas bidireccionales el establecimiento de vías lentas en las rampas mejora considerablemente la fluidez del tráfico, y como hemos visto en los tramos de REDIA han sido acogidos con júbilo por el usuario.

El cálculo mecanizado a base de programas de ordenador para la definición del trazado es una tendencia general que se tratará en el Grupo IV de este Curso.

En el proyecto de secciones transversales la evolución ha venido impuesta por las condiciones del tráfico en cuanto a intensidad, dimensiones de los vehículos y seguridad vial. El ancho de la plataforma se integra por una serie de elementos, cada cual con su función específica, que impone unas determinadas dimensiones. Considerando una sección de autopista, que es el ejemplo más completo, vemos que el ancho de carril ha pasado de 3,50 a 3,75, y en algunos casos, a 4 m. También el ancho de la mediana ha crecido progresivamente. En los Estados Unidos se han llevado a cabo estudios estadísticos que relacionan el ancho de la mediana con el número de accidentes que en ella se producen. Se trata de evitar principalmente el paso de vehículos de una calzada a otra, lo que da lugar a colisiones en cadena con elevada proporción de mortalidad. Se ha llegado a la conclusión de que por cada metro que se aumenta la mediana, hasta un ancho de 10 m., se reduce el número de accidentes en un 7 por 100.

El encarecimiento que supone la ocupación de terrenos hace prohibitivo en mu-



Fig. 4. — Control de calidad en los años 30. El Ingeniero Jefe, subalternos y contratista siguen un carro cargado, a lo largo de todo el trozo de macadam que se recibe, para comprobar que las llantas no dejan huella.

chos casos llegar a estos anchos de mediana; por ejemplo, en las autopistas urbanas o suburbanas hay que recurrir a la solución de mediana estrecha con barrera de seguridad.

LAS OBRAS DE EXPLANACION

En las obras de explanación con las actuales exigencias geométricas en trazado y plataforma y la garantía necesaria para resistir a la frecuencia y cargas del tráfico, los problemas cambiaron de tipo y escala. Por lo que se refiere a los desmontes el gran volumen y la limitada duración de los plazos de ejecución han exigido un cambio radical a base de equipos adaptados a las condiciones del terreno y a las distancias de transporte para la compensación en la traza o vertido a caballeros.

Para el desmonte en terreno rocoso se emplea cuando es posible el *ripado* y la eficacia de la voladura tiende a mejorarse con técnicas preparatorias como el *presplitting*. Con este método se crean planos de rotura del macizo rocoso previamente al barrenado. Se disminuyen así las creces de la excavación y posibles daños en las propiedades colindantes. Por ello y por la reducción de cargas de explosivo en la voladura final, compensa el coste de esta operación preparatoria. En el futuro se vislumbra el empleo de la energía nuclear para excavaciones de gran cota.

La ejecución de terraplenes descuidada en la técnica antigua es ahora objeto de unas prescripciones rigurosas sobre la calidad del suelo a emplear, en cuanto a plasticidad, granulometría y capacidad portante y de un control *a posteriori* con referencia a una densidad normalizada que corresponde a una humedad óptima.

Grande ha sido la evolución de los equipos de compactación para conseguir con garantía y rapidez la densidad especificada. Cada vez se aplica más la compactación por vibración. Los rodillos vibratorios son más eficaces que los otros tipos, especialmente para suelos poco cohesivos, en los que pueden llegarse a compactar capas de espesor superior a un metro. Las modernas tendencias se inclinan hacia las vibraciones orientadas, que son las que más convienen a la compactación.

Para definir el proceso de compactación en lo que se refiere a equipos idóneos y número de pasadas, una práctica actual es el establecimiento de tramos-testigo, a la iniciación de las obras, para conseguir información que sirva de base a unas normas de trabajo adaptadas a las condiciones del suelo y maquinaria disponible.

Un problema que se considera especialmente en zonas húmedas es la protección de la explanada o coronación de terraplén para evitar los daños que puede causarle la maquinaria de obra. La cubrición con láminas de plástico, los riegos con ligantes fluidos y los tratamientos con cal o cemento empiezan a usarse con este fin en algunos países.

El aprovechamiento del material, procedente de los desmontes en roca para la formación de pedraplenes ha promovido la redacción de especificaciones para esta unidad de obra. Se pretende con ellas llegar a capas estables que no den lugar a asientos diferenciales bajo el actual tráfico pesado de carreteras y autopistas. Como consecuencia de tramos-testigo se han ido perfilando nuevas tendencias y normas que definen espesores de capas, forma y tamaños máximos de la piedra, granulometría continua de ésta y equipos de compactación. Con ello tiene relación el sistema de voladura para conseguir material apropiado.

DIMENSIONADO Y COMPOSICION DEL FIRME

Desde la generalización rutinaria de las viejas instrucciones de carreteras que prescribían para los firmes espesores de 25 cm. con independencia del tráfico y del suelo de apoyo, hasta la compleja matización de los modernos métodos empíricos o racionales hay un largo trecho jalonado por hitos de experiencia y perfeccionismo.

La estimación del tráfico previsible en su efecto destructivo, la definición de las características portantes del suelo de apoyo y la influencia de las circunstancias meteorológicas extremas nos suministran cada vez mayor número de datos de partida, que a su vez son más representativos de la función del conjunto terreno-calzada-ambiente.

Por lo que se refiere a los firmes flexibles, los primeros métodos de cálculo a base de sencillos ábacos, basados en el CBR o en el *índice de grupo* de la explanada, han sido superados como consecuencia de los avances del cálculo racional, de los grandes tramos de ensayo y de la observación de las carreteras en servicio.

Dos tendencias se han manifestado en el mundo respecto al cálculo de firme: la racional o matemática sustentada principalmente en la Unión Soviética y Francia (métodos de Ivanoff y de Jeuffroy-Bachelez) y la experimental de los U.S.A., donde se han destinado cantidades ingentes a pistas de ensayo para comparación de secciones estructurales; las más completas y representativas son las del AASHO, test del que todos tenéis referencia (*).

Prosiguen los estudios teóricos sobre el comportamiento de los sistemas multicapas, considerando las teorías elásticas y viscoelásticas, aplicables éstas a los revestimientos asfálticos. La comparación de los resultados del cálculo racional y los deducidos de los ensayos van permitiendo una mayor aproximación al problema del dimensionamiento de espesores y a la determinación de la colaboración de las distintas capas en la respuesta mecánica de la calzada. Recientemente ha hablado sobre ello en esta misma sala, el Profesor checoslovaco Kucera, autor del método de su nombre. Es interesante el análisis comparativo de los métodos más perfeccionados con los que se llega a resultados del mismo orden de magnitud.

Por lo que se refiere a los pavimentos rígidos, en la práctica suele prescindirse del cálculo ya que se proyectan espesores normalizados de la losa, dependiendo de que sea de hormigón armado o en masa y de la intensidad del tráfico. La capacidad portante de la explanada tiene poca importancia ya que lo que interesa es una capa de apoyo que mantenga su regularidad superficial a lo largo del tiempo sin asientos diferenciales ni cavidades producidas por los fenómenos de *pumping* o surgencia, que fueron un grave problema, causa de ruina en los primeros firmes de hormigón.

Volviendo a los firmes flexibles, el concepto de *espesor equivalente* dio lugar a nuevos criterios al proyectar la sección estructural, o sea, la composición del firme por las distintas capas: sub-base, base y pavimento. El espesor de un firme no es ya un valor geométrico, sino que puede variar según las características de rigidez de las

(*) Baste decir que costó 27 millones de dólares y se llevó a cabo principalmente con vistas al dimensionamiento de los firmes de la red complementaria de autopistas interestatales de los Estados Unidos, que totalizaba una longitud de 65 000 kilómetros. El valor de este ensayo, muy superior en la variación factorial de las dimensiones y características, así como en los métodos sistemáticos de interpretación de resultados a los anteriores tramos experimentales de Maryland y de la WASHO, ha tenido gran repercusión en la técnica de afirmados y de hecho ha modificado los antiguos métodos empíricos de cálculo de espesores.

distintas capas que lo integran. Hay unos espesores virtuales para las distintas capas, que hasta ahora se han fijado con criterio conservador.

El citado Ensayo AASHO puso de manifiesto las ventajas, en el aspecto económico y estructural, de las bases tratadas con cemento o ligantes bituminosos. En España existe ya buena experiencia de estos tipos de bases que se emplean con carácter general en las vías de tráfico pesado.

La técnica de firmes ha avanzado también notablemente en los caminos económicos, como consecuencia principalmente de los grandes programas de desarrollo en los países del Tercer Mundo; las estabilizaciones de bajo coste a base de cal, ligantes hidrocarbonados o agentes químicos son cada vez mejor conocidas y brindan so-

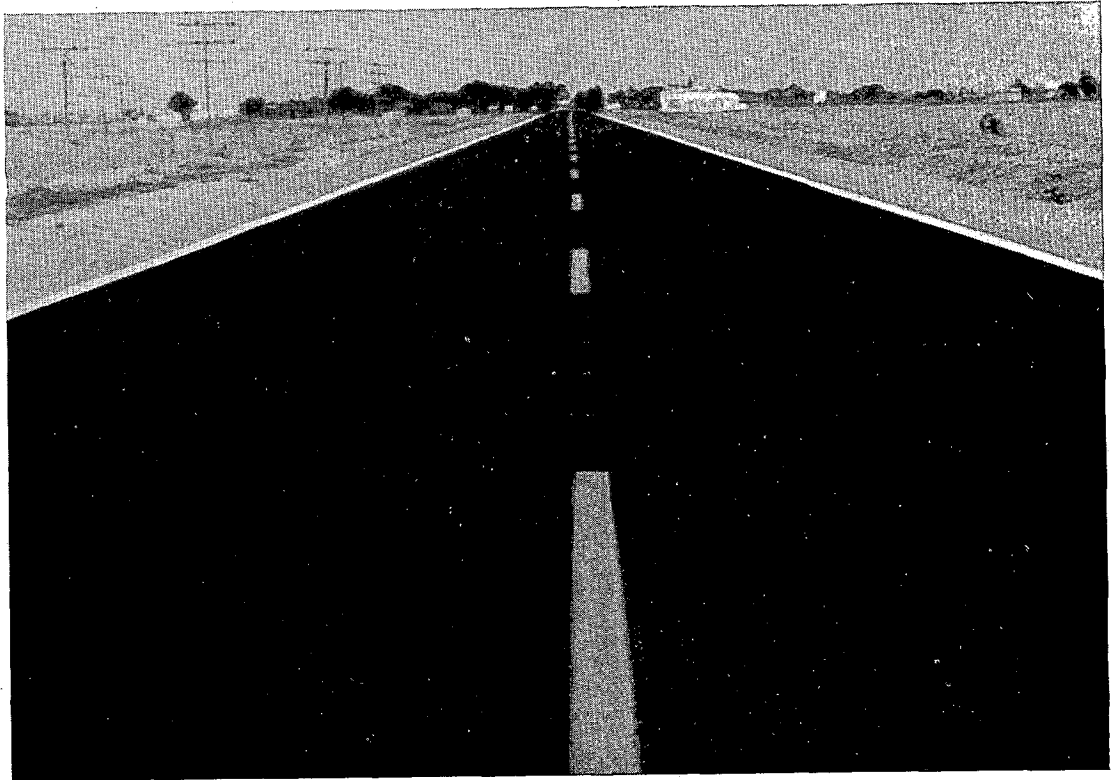


Fig. 5.—Un ejemplo de firme *negro* es este tramo de Redía, en la carretera de Andalucía. Los arceles están pavimentados con *slurry gris*, para su clara diferenciación de la calzada.

luciones muy interesantes para sustituir al macadán tradicional de muy difícil conservación por los ciclos de humedad y sequedad.

La mecanización ha sido decisiva para conseguir firmes económicos en lo que también una premisa básica es el aprovechamiento de los materiales locales con las correcciones que precisen.

El problema del refuerzo de firmes merece también una alusión dentro de esta vuelta de horizonte al avance de la técnica vial. Hace pocos días, y refiriéndose al tema, decía en esta misma tribuna M. Dreyfus, Director General de Carreteras de Francia, que más importancia que la construcción de nuevas vías tenía la conservación del patrimonio que nos legaron nuestros predecesores. Gran parte de las carreteras

de la red principal en todos los países trabajan al límite de su resistencia mecánica o por debajo de ésta y hay que acudir a su refuerzo antes de que sea tarde y no quede más remedio que una costosa reconstrucción con las consiguientes molestias al tráfico.

Precisamente en Francia se han llevado a cabo profundos y sistemáticos estudios de refuerzo a partir de las deflexiones como índice de la capacidad portante de una calzada y en consecuencia dato determinante de la capa o capas con que debe complementarse la sección actual. El método se emplea desde hace algunos años en España. El programa REDIA juntamente con el ensanche y mejora de la capa de rodadura ha atendido en muchos casos al refuerzo estructural de la sección. Las campañas de auscultación de firmes con el deflectógrafo Lacroix constituyen un trabajo continuo de nuestra División de Materiales.

PAVIMENTOS BLANCOS Y PAVIMENTOS NEGROS

La polémica pavimentos blancos *versus*, pavimentos negros se mantiene desde hace años sin que los apasionados defensores de una u otra solución puedan aportar conclusiones claras para resolver este dilema técnico-económico. En todos los países desarrollados se construyen carreteras de hormigón y carreteras de asfalto, independientemente de condiciones de terreno y clima. Respecto a este tema decía el citado M. Dreyfus, que no era malo que siguiera esta situación de controversia que es base de una competencia estimulante para el perfeccionamiento de la calidad y reducción de costes de ambos tipos de pavimentos.

En ellos la evolución de la técnica ha sido importante en los últimos diez años. En las vías de mayor tráfico, el incremento de ejes pesados ha impuesto sustanciales variaciones en las capas de mezcla asfáltica como consecuencia de las deformaciones producidas en el pavimento, especialmente las roderas o huellas en el sentido longitudinal de la calzada. Se producen éstas en los días más calidos del año, por las desfavorables condiciones termoplásticas de las capas asfálticas, cuando no se cuida especialmente de conseguir un elevado módulo de rigidez.

Las modificaciones que este problema de flucción ha impuesto en el proyecto de mezclas son ya bien conocidas: empleo de betunes más duros 60-80, y 40-60 en rampas o zonas muy cálidas, árido en su totalidad de machaqueo, incluso en la arena, limitando la natural redondeada al 10 por 100 y fórmulas granulométricas de grano grueso, con más del 60 por 100 superior a 2 milímetros.

Estas condiciones encarecen la mezcla y hacen más difícil la compactación por su rigidez, pero son indispensables para las condiciones extremas de nuestras carreteras en clima, cargas por eje y pendientes.

La preocupación de conseguir capas de rodadura estables incluso en las condiciones más desfavorables de algunos tramos singulares (rampas, zonas de parada y arranque; etc.) ha llevado al empleo de ligantes modificados o a la incorporación de aditivos a las mezclas. Las mezclas con alquitrán y cloruro de polivinilo, empleadas ya en España en aeropuertos y calles, la adición de caucho o siliconas, son ejemplos de estas nuevas técnicas que quizá se prosiguen para responder a las cada vez más duras solicitudes del tráfico.

La compactación de mezclas asfálticas ha sido también objeto de evolución. Ac-

tualmente, los mejores resultados se consiguen con rodillos de neumáticos, el efecto de amasado que producen favorece la orientación del árido y da lugar a una mayor impermeabilidad superficial. Se recomienda unas primeras pasadas de un rodillo tanden ligero, de diámetro grande. La compactación vibratoria temida en un principio va abriéndose camino, apoyada en la experiencia alemana. Este sistema permite compactar capas de mayor espesor.

Preocupación dominante, por el riesgo de vidas que entraña, son las capas de rodadura deslizantes. El tema se ha estudiado mucho y se sigue estudiando. El elevado coeficiente de pulido del árido, las fórmulas granulométricas discontinuas para conseguir mezclas del tipo llamado *grenu* y la inscrustación *a posteriori* de grava preenvuelta, o sea el *chipping* inglés, son exigencias y soluciones para conseguir una rugosidad permanente.

Para vías de tráfico ligero y medio seguirán siendo buena solución los tratamientos superficiales. Las nuevas tendencias se concretan especialmente en mayores exigencias para el árido de cubrición en cuanto a tamaño, forma, calidad y resistencia al pulido. Respecto al ligante, las características que más se cuidan son la adhesividad al árido, la viscosidad de aplicación, el período de curado y la susceptibilidad térmica. Los cut-backs RC de grados 3 a 5 y las emulsiones son los que más se emplean.

Los tratamientos simples o dobles constituyen capas protectoras suficientes en muchos casos, y por el momento, son la mejor solución para la transformación de

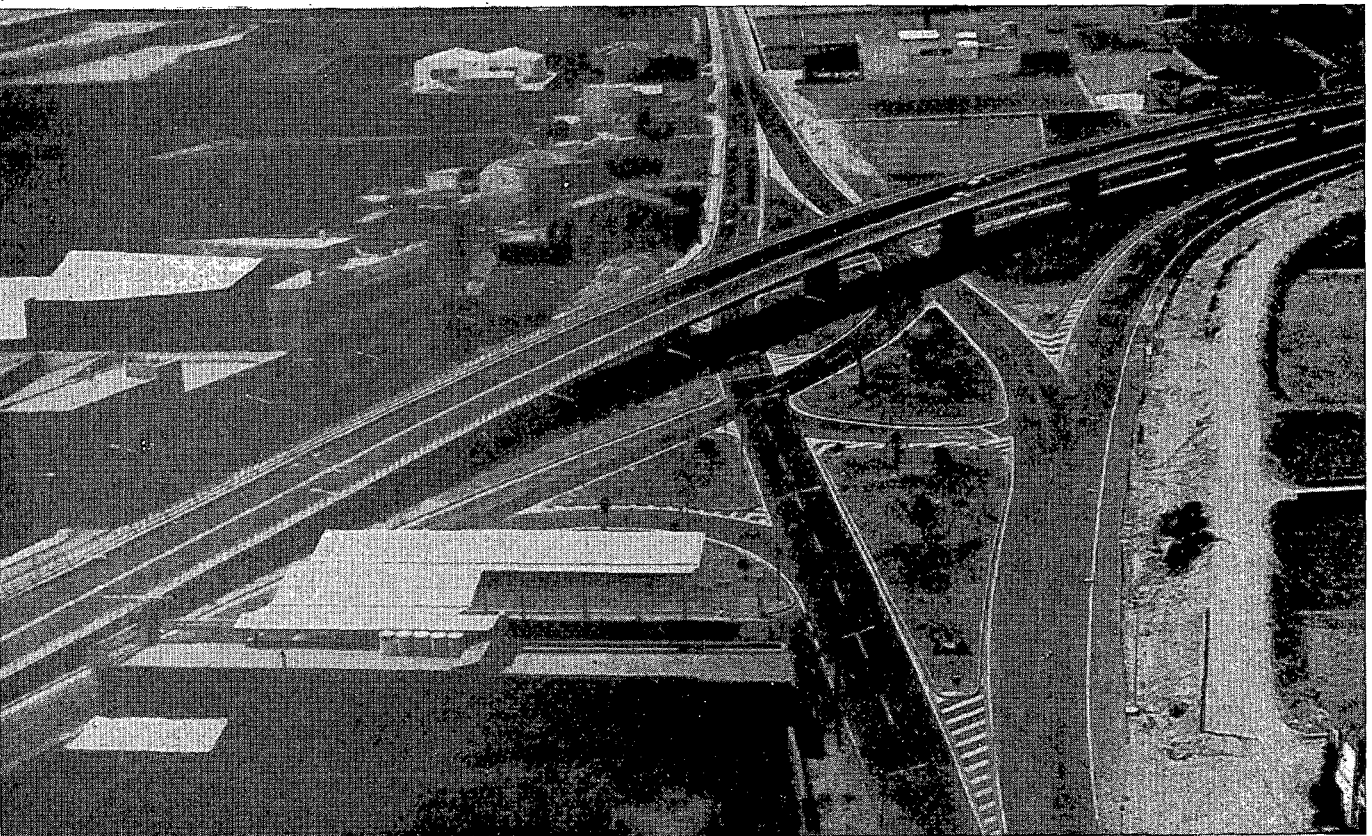


Fig. 6. — Como muestra de las últimas realizaciones de la técnica vial española, véase este tramo elevado de la autopista de peaje Mongat-Mataró.

los firmes de macadam ordinario de tan difícil conservación, por lo que tendrán larga aplicación en todos los países. Pero es preciso cuidar la elección de los materiales y las fórmulas de dosificación; con esto y con la ejecución en tiempo favorable se llega a revestimientos de gran duración.

Las especificaciones más estrictas sobre tratamientos superficiales son las australianas, en las que se han inspirado las normas del Instituto del Asfalto. Parece que estos riegos de gran calidad son apropiados y rentables para vías de hasta 5 000 vehículos/día.

Se tiende a compactar con rodillos de neumáticos sobre todo cuando el árido no es muy duro o en carreteras viejas de difícil regularización superficial. El peso mínimo del compactador será de 5 toneladas.

Una modalidad relativamente nueva de los tratamientos superficiales son los *slurries* o lechadas, cuya aplicación principal es la regeneración o protección de pavimentos asfálticos.

Como es sabido estas lechadas son mezclas de arena, *filler* y una emulsión estable, ácida o básica, según la naturaleza del árido y la rapidez de ejecución que se precise.

Los tratamientos de *slurry* tienen un gran porvenir; esto se está viendo en los últimos años, siendo las principales causas que abonan su empleo, la extensión mecanizada y la utilización de lechadas catiónicas en carreteras o vías urbanas donde no puede desviarse el tráfico. Se emplean también como tratamientos antideslizantes y los *slurries* coloreados para isletas de intersecciones y pavimentos diferenciados.

La evolución y tendencias de la técnica de pavimentos rígidos se ha puesto de manifiesto en el Primer Simposio Europeo sobre firmes de hormigón, celebrado en París en julio pasado.

El trabajo a flexo-tracción de las losas por las variaciones del gradiente térmico y el efecto del paso repetido de ejes pesados exige condiciones estrictas de calidad de materiales y dosificación en el hormigón. El empleo de cementos con bajo contenido de aluminato tricálcico para evitar fisuraciones—lo que es muy importante en el caso de juntas serradas— y la incorporación de aireantes para evitar los efectos perjudiciales de las sales fundentes de la nieve, son puntos cada vez más considerados en el hormigón de pavimentos.

Se tiende a suprimir las juntas de dilatación y aunque hay también tendencia a suprimir los pasadores de transmisión de carga entre losas, éstos se siguen usando para tráfico muy pesado. La calidad de las bases: de grava-cemento, e incluso de mezcla asfáltica de 10 centímetros de espesor, reducen cada vez más la necesidad de pasadores.

Se nota también una tendencia a la solución de hormigón en masa, más que armado, con juntas cada 6 metros. En América se aplica el espaciamiento irregular de las juntas para evitar fenómenos perjudiciales de resonancia. La oblicuidad de la junta, para distribuir la carga de las ruedas de un eje en los bordes de las losas contiguas, es una práctica eficaz para reducir deflexiones y tensiones, prolongando con ello la vida del pavimento.

Se tiende cada vez más a las juntas serradas y a la obturación con perfiles de *neopreno*, con lo que se consigue la mejor calidad de rodadura.

La dificultad de reparación de los pavimentos de hormigón hidráulico impone lógicamente la preocupación de evitarlas y con ello una ejecución esmeradísima de la obra.

Respecto a la puesta en obra se ve que prospera el sistema de encofrados deslizantes, por su gran rendimiento —que llega en los Estados Unidos a 4 km./día de calzada de dos carriles— y un ahorro del 50 por 100 de mano de obra.

En el acabado superficial se tiende al estriado profundo (6 mm.) conseguido por cepillado transversal con púas de acero, para obtener una rugosidad grande y duradera.

Respecto a la reparación de pavimentos deteriorados, la aplicación de morteros con resina epoxy es por ahora la solución de más garantía.

EL CONTROL DE OBRA

Una de las innovaciones fundamentales de la técnica de carreteras ha sido el control de calidad mediante ensayos de laboratorio y otras determinaciones que garanticen el cumplimiento de las prescripciones facultativas del contrato. Sustituye este control a la inspección visual del Ingeniero que antes se practicaba.

Dentro de las normas y sistemas de ensayo ha habido hasta ahora una notable evolución motivada por el creciente ritmo de obra. En España se utilizó el control por primera vez hace quince años y desde entonces el sistema se ha desarrollado considerablemente a través del Laboratorio del Transporte y los Laboratorios Regionales de la Dirección General de Carreteras.

En la evolución del control se pasó de los ensayos clásicos a los nucleares con los que se determinan densidades y humedades por medio de isótopos radiactivos.

El gran volumen de obra que permiten realizar los equipos mecanizados empieza a hacer insuficiente los ensayos en uso que son ensayos puntuales. Incluso con los nucleares —dado el número de ensayos que el volumen de obra y las frecuencias especificadas exigen— se demora el conocimiento de los resultados y no es posible detectar a tiempo anomalías para proceder a la oportuna corrección.

Por tal circunstancia se trata de poner a punto ensayos rápidos o métodos continuos que permitan seguir el proceso de ejecución revelando inmediatamente cualquier defecto. Citaremos como ejemplo el *compactómetro*, aparato que mide el par de tracción del rodillo que compacta una capa. Cuando se inicia la compactación, el rodillo encuentra gran resistencia al avance, pero a medida que se compacta el par disminuye hasta que permanece prácticamente constante. Por una correlación entre valores del par y densidades se puede saber cuándo se llega a la especificada. El compactómetro será muy útil para los tramos-testigo, previos a la ejecución de la obra de tierra, a los que antes nos referimos.

Citaremos como nueva tendencia en el control la aplicación del análisis estadístico, tema aún discutido en el Comité Europeo de Ensayos de Materiales. Es indudable que existen dificultades por las diferencias que la obra de carreteras presenta respecto a la industria en la que las circunstancias son mucho más favorables. Pero el análisis estadístico puede evitar criterios subjetivos y, por ello, sería conveniente adaptar las normas de inspección a la experiencia estadística. La revisión de los

niveles de calidad es muy importante, pues quizá, muchos están por encima de lo que exige el elemento de obra por su función. A propósito de esto se cita el caso de las obras de hormigón en los Estados Unidos, donde se estima una pérdida anual de mil millones de dólares por exigencias excesivas en las especificaciones frente a lo que realmente requieren los elementos por las solicitudes a que van a estar sometidos.

No hay que olvidar que si la seguridad de una obra depende no de la resistencia media, sino de la mínima, lo que interesa es llegar a valores uniformes más que a altas resistencias con dispersiones grandes.

PROMOCION DE NUEVOS MATERIALES

El empleo de nuevos materiales en la construcción de carreteras se debe principalmente a una de las dos causas siguientes: a la mejora de los elementos de la obra en cuanto a su resistencia y duración, o al aprovechamiento de subproductos de la industria que de no utilizarse constituyen una carga para la economía nacional. Por ambas circunstancias conviene estar al día en los adelantos tecnológicos y abrir el campo de utilización de los materiales disponibles.

Un ejemplo típico es el de las escorias de horno alto que pueden emplearse como árido inerte o activo; el primero simplemente machacado y el segundo en la llamada escoria granulada, enfriada por chorro de agua, que por su poder hidráulico cementa el árido natural dando lugar a bases de gran rigidez, de aplicación en nuevos firmes o refuerzos de los existentes. El esfuerzo de Francia es ejemplar en esta técnica y son muchos los tramos reforzados y las bases de autopistas en los que se ha aplicado.

Las cenizas volantes, procedentes de la combustión del carbón finamente pulverizado que se emplea en las centrales térmicas, son un material económico para la estabilización de suelos y bases granulares. Se emplean también para capas anticontaminantes, explanadas mejoradas, relleno de obras de fábrica y trasdosado de muros. La producción española de estas cenizas llegará pronto a 2 millones de toneladas, por lo que es importante ordenar su aprovechamiento.

Otros materiales industriales, algunos ya citados, incorporados con carácter de aditivos a los suelos, mezclas asfálticas o de hormigón de cemento, mejoran la calidad de las capas del firme, y por ello serán cada vez más usados en esta técnica perfeccionable de la carretera.

* * *

No vamos a sacar conclusiones o recomendaciones de esta conferencia que ha sido sólo una exposición, aunque quizá un poco cansada por el número de temas sobre los que he ido divagando. Mi lección es una lección de apertura de curso que ha pretendido demostrar la importancia de la asignatura. Se volverá sobre los temas, pero con profundidad monográfica, en los distintos grupos. Por ahora me conformaría si he sembrado inquietudes o un estímulo a seguir las novedades de nuestra especialidad, pero adaptadas a nuestro nivel y circunstancia. "Adaptar y no adaptar" es regla de oro que no debe olvidarse nunca.