

EVOLUCION DE LA CONSTRUCCION DE AUTOPISTAS EN ESPAÑA

Por Fernando GUIJO LINARES
Ingeniero de Caminos
Director de Construcción de Eurovías,
Concesionaria Española de Autopistas, S. A.

Desde que en 1965 se acometió la empresa de dotar a nuestro país de una red de autopistas a través del P.A.N.E., han sido muchas las nuevas características y métodos de construcción que se han incorporado a nuestro bagaje destinadas a conseguir una ejecución más rápida y económica y una mayor adecuación de sus características a la función para la que fueron concebidas cara a su explotación y conservación.

Para pasar revista, aun somera, a las diferentes técnicas empleadas y a su evolución a lo largo del tiempo sería necesario disponer de un espacio que sobrepasa muchísimo las limitaciones que nos impone un artículo. Pedimos de antemano disculpas por la superficialidad con que deben tratarse los diferentes temas y nos ponemos a disposición de cualquier lector interesado para ampliar, en lo que nos sea posible, cualquier tema de los que trataremos a continuación.

A fin de sistematizar nuestra exposición, intentaremos concretar los diferentes aspectos del tema, tal como aparecen cronológicamente al construir una autopista. Comenzaremos por la obra de tierra.

OBRA DE TIERRA

Las características principales de la obra de tierra han sufrido enormes cambios a lo largo de estos doce años. Su evolución se ha visto marcada sobre todo por la utilización de maquinaria más pesada y por el mayor índice de mecanización de las obras, lo que ha traído como consecuencia la supresión de túneles y grandes estructuras al haberse puesto a disposición de los técnicos medios con los que atacar desmontes y rellenos de gran altura.

— Refiriéndose al índice de mecanización, es evidente que solamente el hecho de la aparición de concursos de obras de la envergadura de una autopista, obligó a las constructoras a adecuar sus medios a los nuevos volúmenes. Por ejemplo, la autopista Bilbao-Behobia, en sus 100 kilómetros de longitud, tiene 40 millones de metros cúbicos de obra de tierra; no era posible intentar atacarlos en los plazos pedidos con los parques de maquinaria que, salvo escasísimas excepciones, existían en las constructoras. Esto era tan evidente que en los propios decretos de adjudicación se contemplaba la posibilidad de que las Empresas Concesionarias de autopistas, compraran maquinaria con exenciones arancelarias para poner-



las a disposición de las empresas que resultaran adjudicatarias de las obras.

Pero, dejando aparte este primer impulso, y ya puestos de lleno a su construcción, también se ha notado una evolución en los medios de movimiento de tierras producida, por un lado, por los adelantos tecnológicos, al aparecer nuevas máquinas más y más potentes, y, por otro, y a nuestro juicio, principalmente, por el encarecimiento de mano de obra, energía y transporte que impulsan hacia un mayor grado de mecanización. Basta ver el cuadro número 1, que se refiere a dos autopistas hechas por el mismo grupo técnico, para ver que el índice de mecanización por hombre ha aumentado en un 50 por 100 en cuatro años; en ambas los kilómetros en obra eran unos 70.

AÑO-72			AÑO-76		
Autopista Bilbao-Behobia			Autopista Burgos-Máizaga		
Hombres	CV	CV/Hm.	Hombres	CV	CV/Hm.
1.691	64.830	38,2	930	52.310	56,2

Si tenemos en cuenta que la Autopista Bilbao-Behobia discurría por terreno más accidentado y que su volumen de tierras a mover por km. era superior a la otra, se desprende que el aumento del índice de mecanización ha sido claramente espectacular. A pesar de esto, aún seguimos estando lejos de otros países industrializados. Todavía en nuestras obras hay demasiada gente del "centro del campo", como diría un aficionado al fútbol.

— El disponer de estos medios hace que cambien también las soluciones. Las obras que en los años 60 se suponían inalcanzables u onerosas se proyectan y ejecutan con profusión en los 70 al amparo de nuevas técnicas. En desmonte existen alturas ya construidas que sólo se alcanzaban en canteras y en terraplenes, hemos llegado a dimensiones de presa de tierras. Precisamente esta comparación nos da pie para hablar de un trasvase de técnicas de un campo a otro que nos parece interesante; en algunos pedraplenes de la Bilbao-Behobia, y en particular en el enclavado en el término de Itziar, de 74 m. de altura y más de un millón de metros cúbicos de volumen, se utilizó una técnica calcada de las presas de escollera.

Su construcción se hizo en tongadas de 2 m. hasta las 10 últimas, que tenían 1 m. de espesor. Las especificaciones del relleno eran una granulometría relativamente continua con tamaños máximos del orden del espesor de una tongada y limitación de finos al 10 por 100 en el tamiz 200 y al 30 por 100 en el de 1 pulgada. Estas limitaciones no tienen grandes fundamentos teóricos y están basadas solamente en las experiencias habidas en grandes presas de escollera.

Naturalmente, para el control de calidad de estas grandes obras tampoco son válidos los métodos tradicionales. En este pedraplén antedicho, se efectuaron en primer lugar tongadas de ensayo que permitieron saber cuál era la maquinaria de carga, transporte y compactación que en menos tiempo y con menos gastos de energía conseguía llegar a un índice de huecos adecuado. Después y durante la obra se vigilaba el empleo sistemático de esta maquinaria seleccionada (es importante vigilar la carga) y se hacían grandes catas de 2 metros cuadrados y 2 metros de profundidad de donde se extraían las piedras con retroexcavadora y se medían una a una hasta conseguir algo que pudiéramos llamar una macrogranulometría. Cada ensayo venía a durar dos días y se hacía uno cada dos tongadas (— 10.000 metros cúbicos).

— Otro factor que ha influido decisivamente en las obras ha sido el encarecimiento vertiginoso del transporte en general y del efectuado por camión en particular. En los años 60 era frecuente que la flota de transporte de tierras en las obras fuera alquilada a varios subcontratistas de camiones que poseían uno o varios cada uno. Eran pequeños industriales que se han llevado por delante la riada de los precios y de la técnica; las empresas manejan ahora mucho más su propio transporte

o los destajan a otras que cuentan con grandes flotas, especialistas en esta materia.

Estas flotas están construidas en general, y para lo que a tierras se refiera, por Dumper 35 Tm. a 70 Tm. de carga, a fin de lograr un mayor aprovechamiento de combustible y mano de obra. Como regla general, puede decirse que en grandes obras de tierra, sólo se usan camiones convencionales por motivos viales, es decir, la posibilidad de circular por carreteras nacionales.

Este encarecimiento ha hecho valorar más la forma de extracción, basada en la utilización de las traillas. Hace unos años esta utilísima máquina estaba indicada casi exclusivamente para la extracción de tierras o suelos. En estos momentos es muy frecuente su utilización para la carga y transporte de roca friable previamente escarificada por un tractor potente (también en esto del escarificado se ha cambiado mucho de opinión) y es frecuente en estos momentos oír decir a un jefe de obra que es más barato romper un ripper cada mes que volar en un tajo, debido a la cantidad de mano de obra necesaria y a la compleja organización de un tajo de voladura.

Las modernas traillas permiten cargar, y, sobre todo, descargar materia de regular tamaño y si el transporte es menor de 500 m., su precio es del orden de la mitad que con camiones, aun con los más pesados. Además tiene la ventaja adicional de no necesitar apenas extensión en el relleno con lo que se abarata también el precio de esta unidad.

— El coste del transporte viene lógicamente influenciado por el tiempo del ciclo de carga-descarga. La utilización de elementos de transporte de grandes dimensiones y esta necesidad de rapidez y mejora de rendimiento ha hecho evolucionar asimismo la óptica del constructor en cuanto a obras auxiliares se refiere.

En las primeras autopistas en que tomamos parte, el constructor planeaba la obra apoyándola en las vías de circulación existentes. Ese error se ha subsanado claramente en los últimos años y el contratista gasta mucho tiempo y dinero en preparar una red interna viaria que le permita la circulación de su transporte sin ninguna injerencia; algunas incluso disponen de una señalización muy cuidadosa que en algunos casos se hace totalmente imprescindible dada la velocidad a que circulan los modernos ingenios de transporte como traillas, dumpers, etc.

— En resumen, podemos decir que se tiende, en primer lugar, a la escarificación con ripper del mayor porcentaje posible de material duro para evitar voladuras; esto nos lleva al tractor cada vez más potente. El encarecimiento del transporte hace que se utilicen grandes camiones que necesitan enormes cargadoras; para alimentarlas se necesitan empujadores y el tractor anterior se nos queda pequeño para servir a la carga y ripar. Aparacece un tractor aún más potente y así sucesivamente. Con este ciclo vamos ya en tractores de 520 CV, y se fabrican en Norteamérica y Japón otros de más de 600.

EVOLUCION DE LA CONSTRUCCION DE AUTOPISTAS EN ESPAÑA

— Como se ve, todos los párrafos anteriores se refieren a racionalización, y, por tanto, abaratamiento de la construcción. Esto tiene especial significado en el intento de supresión de ciclos no totalmente productivos, como son los préstamos y los vertederos. El proyectista es consciente en estos momentos de que es muy difícilmente rentable no utilizar el material resultante de los desmontes; por este motivo afina el lápiz y procura compensar tierras al máximo con un adecuado diagrama de masas. Para ello cuenta con nuevas técnicas de construcción que hacen aprovechables materiales que anteriormente se desechaban; ya nos hemos referido a grandes rellenos con piedras de voladuras hasta de 2 m. de tamaño máximo. También es muy sabido que los compactadores de 13 o más Tms. vibratorios y los "pata de cabra" autopropulsados han hecho utilizables materiales que antes se rechazaban o se ponían en obra con mucha prevención. Tampoco creo que sea de este lugar hacer hincapié en las técnicas de estabilización, ya que, en los que conocemos, no se ha utilizado en gran escala en autopistas, hasta ahora, en España.

Si queremos, sin embargo, referirnos a una técnica inglesa, el "sandwich", utilizada por nosotros con éxito en la provincia de Guipúzcoa y que consideramos una buena solución, sobre todo en climas húmedos. Sirve para aprovechar materiales de condiciones intrínsecas aceptables, pero con una humedad natural excesiva. Su funcionamiento y su técnica son muy simples. Consiste en colocar alternativamente capas de roca más o menos sana, pero con una cierta permeabilidad, con capas de mayor espesor de este material húmedo. El agua drena por las capas pétreas y el terraplén consolida por peso propio, si hay tiempo o con ayuda de una sobrecarga si no hay, pero sin necesidad de compactación de ninguna de las capas. Naturalmente, todo el ciclo de transporte debe programarse desde la capa de piedra para no pisar el material húmedo.

— Para complementar estos rellenos y en general toda la obra de tierra, se ha utilizado en muchos casos la proyección de diferentes clases de semillas mezcladas con un soporte, para protección de taludes con las raíces de la vegetación que resulta. Existen gran cantidad de variedades para su adecuación a los diferentes climas y tienen un gran resultado en lo que a estabilidad superficial de taludes se refiere.

- Para terminar este capítulo, nos referimos a la asesoría geológica en obra. Se ha hecho absolutamente imprescindible, dado el volumen que en una autopista toma la obra de tierra el disponer no sólo de un informe geológico o geotécnico de proyecto muy bien estudiado, sino de una asesoría a pie de obra que vigile los resultados de su estudio anterior, siempre puntual y algo aleatorio. Como se dice en las obras la mejor sonda es un

D-9 y el geólogo debe estar allí para interpretar lo que ve, y comparar las decisiones que se tomaron en el proyecto basadas en estudios previos, con los términos reales de la obra. Esto último no es exclusivo de la geología; refleja una tendencia general al trabajo en equipo del proyectista, la Dirección de obra y el constructor, salvando prejuicios antiguos que todos los que llevamos algún tiempo en el mundo de las obras civiles conocemos.

OBRA DE FABRICA

En este capítulo evolución se identifica con normalización y prefabricación. Es en esta unidad más que en ninguna otra donde ha incidido extraordinariamente el aumento del precio de la mano de obra y esto ha tenido como consecuencia que resulten rentables grandes inversiones en parques de prefabricación y en elementos auxiliares tendentes al ahorro de horas-hombre como encofrados en grandes paneles, vigas de lanzamiento, cimbras lanzadas, etc.

El ejemplo más importante de obras de fábrica prefabricadas en autopistas lo protagonizan las construidas por Dragados y Construcciones, es decir, la Sevilla-Cádiz, para Bética de Autopistas, la Tarragona-Valencia-Alicante para Autopistas del Mare Nostrum, y la de Navarra para Audenasa.

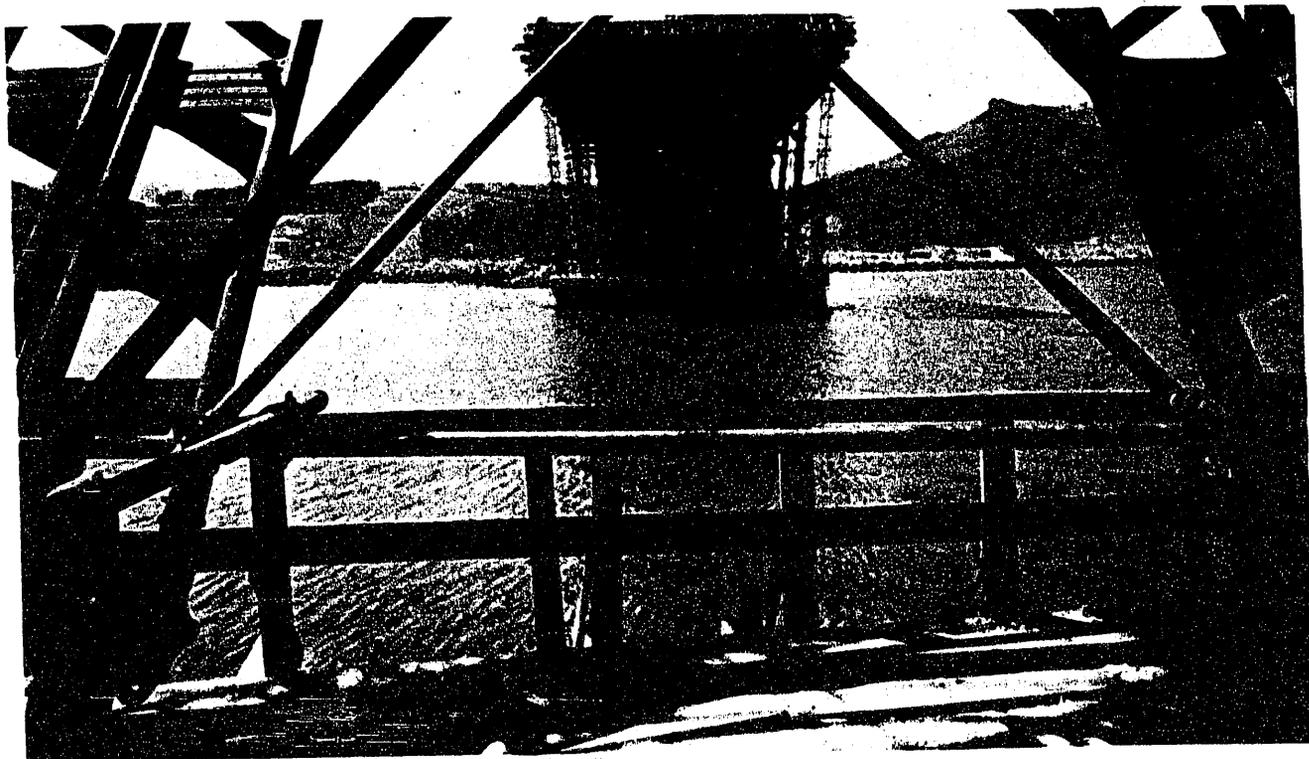
En la primera y por primera vez en España **todos** los elementos que forman parte de los viaductos, hasta la cimentación, han sido prefabricados; están formados por pilas de 2 ó 3 tubos cilíndricos de hormigón pretensado, unidos en su parte superior por cabeceros sobre los que descansan las vigas que forman el tablero.

Los tubos pretensados que sirvieron para cimentaciones y pilas, de 0,91 m. de diámetro, eran hincados en el terreno por medio de dos grúas de 130 Tm., una de las cuales sostenía una maza de simple efecto de 30 Tm. y la otra una guiadera para mantener el tubo en posición vertical.

Es evidente que en esta autopista primó a la hora de la prefabricación completa, el plazo de ejecución que era de 8 meses para 104.000 metros cuadrados de puente. Asimismo, la zona que atraviesa fundamentalmente llana ayuda a la consecución de una solución única.

La misma Empresa, en 1972, montó en Sagunto un parque de prefabricación de estructuras, obras de desagüe y acequias sobre una superficie de 25 Has. y una capacidad para 12.500 m.²/mes de estructuras pretensadas, amén de 2.500 ml. de obras de desagüe y 6.000 ml./mes de acequias. La inversión superó en 1972 los 800 millones de pesetas, lo que da idea del ahorro que se pretende obtener tanto en dinero como en tiempo. En este momento es oportuno decir que en una autopista

EVOLUCION DE LA CONSTRUCCION DE AUTOPISTAS EN ESPAÑA



Viaducto sobre la ría de Orreaga (Guipúzcoa)

de peaje, el negocio comienza cuando se empieza a cobrar, por lo que los plazos priman algunas veces sobre los costos al hacer más rentable el conjunto.

Esta prefabricación, aunque no tan extremada, es denominador común de prácticamente todas las autopistas españolas, al menos en lo que a tableros se refiere. En esto se observa alguna diferencia con el resto de Europa, donde se tiende más a la industrialización de los elementos auxiliares, como los grandes encofrados, y al hormigonado "in situ" que a la fabricación de vigas o elementos de tablero en parque y a su posterior traslado a obra, que es la tendencia española.

— También han evolucionado, al compás de la prefabricación, los elementos auxiliares necesarios para su correcta puesta en obra. Uno de estos medios son los carros de lanzamiento de vigas.

Los primeros carros eran simples vigas metálicas que se lanzaban sobre los dos apoyos del vano, y que servían de carriles a un puente-grúa que transportaba la viga; luego, ya sobre los apoyos, se movía transversalmente, o bien la viga lanzada, o bien la de lanzamiento hasta colocarla en posición; sobre las vigas así colocadas se hormigonaba el tablero y una vez hormigonado se repetía la operación con el siguiente. El transporte de las vigas a su lugar de empleo se hacía con pórticos sobre neumáticos o con camiones, siempre con dificultad y riesgo para la viga, dado que su camino de rodadura solía ser difícil.

En los años 70 aparece en España la viga de lanzamiento SICET y similares, que transportan la viga desde cualquier distancia y la colocan sobre cualquier vano en posición esté o no hormigonados los tableros anteriores. La que se ha utilizado en la Bilbao-Behobia tiene 106 m. de longitud y puede poner vigas hasta 110 Tms. y 50 metros de largo.

Naturalmente, la independencia del lanzamiento respecto del hormigonado de tableros es obviamente una ventaja que se traduce en un rendimiento de equipos superior.

Estos medios auxiliares no sólo abaratan la obra, sino también el proyecto, ya que esta viga, por ejemplo, permite disminuir la excentricidad de cargas sobre dinteles de pilas, ahorrando sollicitaciones debidas únicamente al proceso constructivo.

— Es también sabido que la operación de colocación del hormigón en obra, sobre todo en alturas, es muy cara, y lo que es peor para la calidad, bastante lenta, lo que tiene el peligro de formación de juntas frías, cortes de hormigonado, etcétera. Para la solución de este problema han proliferado últimamente en obra las bombas de hormigonado fijas o móviles sobre camión que sustituyen con gran ventaja a las grúas y cazoletas convencionales.

Su utilización es enorme versátil, ya que están resueltos los problemas de altura y codos e

EVOLUCION DE LA CONSTRUCCION DE AUTOPISTAS EN ESPAÑA

incluso los de docilidad necesaria del hormigón con los plastificantes presentes en estos momentos en el mercado.

— Llegados a este punto no me resisto a hacer mención del viaducto de Chonta en Eibar, dentro de la Autopista Bilbao-Behobia, porque es un ejemplo de que la prefabricación no ha dormido el ingenio y la osadía de proyectistas y constructores españoles. Este viaducto salva la calle Chonta de Eibar a un altura de 45 m. de altura, y la densidad de fábricas de la zona obliga a un cierto emplazamiento de las pilas con una luz central libre de 50 m.; es evidente que esta luz podía haberse salvado con dovelas sucesivas o algún otro procedimiento de hormigonado desde las pilas, pero el viaducto está emplazado en una curva de 500 m. de radio con peralte del 5 por 100 y una pendiente longitudinal del 3 por 100, lo que hacía particularmente complicada la geometría de un hormigonado sucesivo. Ningún intento de cimbra volante o apoyada era factible en términos económicos lógicos.

Para resolver el conjunto de problemas se contó con el ingenio y preparación de D. Ginés Aparicio, Ingeniero de Caminos, inventor de la idea y con los medios y entusiasmo de S. A. Ferrovial para construirla. La idea consistió en construir las pilas verticales con encofrado deslizante, sobre rótulas giratorias y abrirlas después para, colocando sobre ellas un cantilever de 52 m. de longitud, dejar para las vigas un espacio de 43 m., máximo disponible y colocable en obra. Un esquema del viaducto terminado está en la figura 2 y otro del proceso de apertura en la 3.

Esquemáticamente éste fue el siguiente:

Escalón 1: Los 10 gatos reversibles conectados hidráulicamente entre sí sueltan 56 cm. de cable en emboladas de 8 cm., con lo que la pila lado Bilbao se inclina 56 cm. en punta por efecto de los contrapesos.

Escalón 2: Los gatos de pretensado recogen 28 cm. de cable, todo el conjunto se mueve 28 cm. hacia Behobia, quedando las dos pilas abiertas 28 cm. más que su posición inicial y simétricas respecto al eje.

La operación continúa hasta la posición final de 18 m. de apertura; al terminar se hormigonan las rótulas y zapatas, se deja un cable uniendo las cabezas por seguridad.

Los cantilever se hormigonaron sobre unos encofrados colgados de dos torres levantadas y sobre las cabezas de las pilas. En la fotografía número 4, una vista de viaducto terminado.

— La prefabricación y, por ella, la normalización a la que antes aludíamos, se extiende también a todas las obras de fábrica auxiliares de drenaje, pasos, etc. Es muy raro actualmente ver en autopistas pontones de la colección oficial que han sido sustituidos o bien por cajones de

hormigón, prefabricado o no, o bien por pasos metálicos tubulares o multichapa en acero galvanizado, cuya rapidez y sencillez de montaje las ha impuesto en multitud de ocasiones.

Igual puede decirse de caños y alcantarillas de desagüe. Es muy infrecuente la utilización de hormigonados "in situ" aun con la aparición de los encofrados hinchables. Es más económico la colocación de tubos metálico o en hormigón pretensados y ambas son soluciones fuertemente extendidas.

Un capítulo interesante de la evolución de la técnica en obras de fábrica lo constituyen los muros, con la aparición en el 71 en España de la tierra armada.

Su fundamento técnico es simple: se trata de contar para la resistencia a una carga, en este caso propia y del tráfico, con el rozamiento de los granos de tierra y unos flejes de acero galvanizado, lo que permite, con una cara exterior de contención vertical, efectuar macizos de sostenimiento de taludes de igual efecto que un muro convencional.

En realidad, el resultado es un aumento de la cohesión de la tierra en la dirección en que se colocan las armaduras, directamente proporcional a la resistencia a tracción de esta.

Las especificaciones que debe cumplir el relleno no son demasiado rígidas (un 15 % de finos, menos de 25 % de tamaños mayores de 15 cms. y ningún elemento de más de 35 cms.) y las ventajas con respecto a la organización de los tajos son evidentes al no mezclar dos equipos diferentes (tierras y hormigones) con los problemas de coordinación que esto lleva aparejados.

Este tipo de muros tiene también la ventaja de su aspecto estético, muy uniforme al ser prefabricada (metálica o de hormigón) su cara exterior. En ella pueden hacerse una gama de figuras geométricas bastante extensa.



EVOLUCION DE LA CONSTRUCCION DE AUTOPISTAS EN ESPAÑA

— Para terminar, y dentro de este capítulo de obras de fábrica, vamos a referirnos a los túneles. En primer lugar, todo lo dicho en el apartado de tierras respecto a los grandes desmontes tiende a suprimir los túneles en cuanto a su cota de recubrimiento no es excesiva o no existen otros condicionantes estéticos o urbanísticos que obliguen a su ejecución.

Cuando ésta es inevitable, la técnica ha evolucionado también en lo que se refiere a voladuras de frente, desescombro, hormigonado, etc., pero nos gustaría sobre todo referirnos a un nuevo método austriaco de túneles que ha sido aplicado en España por primera vez a escala de autopista en los túneles del tibatabo para Tabasa.

El sistema consiste en una excavación tradicional a sección completa o por fases, dependiendo de la calidad de la roca, seguida inmediatamente de la aplicación de un revestimiento en hormigón proyectado de 10 a 30 cm. de espesor complementado por un bulonaje de pequeña longitud (3 a 6 m. para sección hasta 100 metros cuadrados) y una densidad de 1 a 4, cada 20 metros cuadrados; este revestimiento está armado con una malla metálica soldada. Las ventajas de este sistema sobre los tradicionales son múltiples.

En primer lugar, el ejecutar el recubrimiento inmediatamente tras la excavación implica una gran seguridad para el personal que trabaja dentro del túnel, factor siempre a tener en cuenta primordialmente. En segundo lugar, este revestimiento puede ser el definitivo por razones estructurales, aunque por razones estéticas aconsejen a veces su recubrimiento posterior.

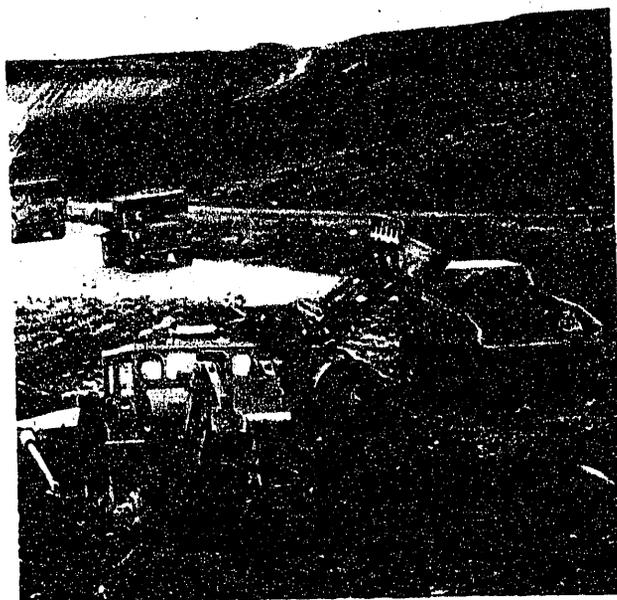
También, utilizando este sistema, se hace un sostenimiento del macizo continuo, perfectamente solidario al terreno y amoldado a las irregularidades de la excavación; no es, pues, necesaria la inyección de bóveda que se hace en otros métodos con la consiguiente inseguridad en el objetivo. Este recubrimiento inmediato impide en gran parte la descomposición del macizo y por eso, su pérdida de resistencia mecánica.

Es flexible y como está anclado con el terreno forma con él una bóveda autorresistente susceptible de adaptarse a las modificaciones del medio debidas a la excavación y a la redistribución de tensiones.

Todas estas ventajas tienen que ser desarrolladas por personal altamente calificado a fin de aprovecharlas en su totalidad y nos han decidido a intentar su utilización en los túneles de Pancorbo correspondientes a la autopista Burgos-Málaga de Eurovías, C.E.A.S.A.

FIRMES

En este capítulo el mayor avance técnico acaudable a las autopistas ha sido la rotura del muro o comodidad que existía para la utilización de firmes de hormigón. Efectivamente, el Plan Redia,



atacado unos años antes que el Plan de Autopistas, había dejado en los constructores y proyectistas un buen pozo de experiencia en lo que aglomerados asfálticos se refería amén de una maquinaria idónea para este tipo de mezclas. Así, las primeras autopistas, Madrid-Villalba, variante de San Sebastián, Solución-Sur de Bilbao, Barcelona-La Junquera, etc., se concibieron y después se ejecutaron con firmes flexibles heredando la técnica del Plan Redia mejorándola en los aspectos necesarios, pero apartándose poco de lo que había sido lo anterior.

Quizá el único ejemplo de firme flexible no totalmente tradicional lo constituye el de la Bilbao-Behovia, que combina mezclas y bases inglesas con las españolas, pensando en que las condiciones climatológicas del lugar se asemejan bastante a las existentes en el sur de la Gran Bretaña.

En esta autopista se construye, por primera vez en España, una base de hormigón pobre, basada en el "lean concrete" inglés. Su técnica de colocación y composición es parecida a la ya conocida de grava-cemento con mayor dosificación de este último componente.

En la rodadura se usó una mezcla según norma BS-594 con contenidos de ligante del orden del 6,5 y 7 por 100 de filler. Resulta una mezcla francamente rígida (no es despreciable la influencia que en esta elección tuvo las roderas existentes en algunas carreteras por entonces) que dio problemas de construcción hasta que los equipos se familiarizaron con ella. Esta mezcla es fuertemente antiderrapante y nada deformable, aunque resulta cara por su alto contenido de betún.

EVOLUCION DE LA CONSTRUCCION DE AUTOPISTAS EN ESPAÑA

Los resultados pueden considerarse como muy buenos al haberse conservado en el tiempo las propiedades que influyeron en su elección.

Dentro del capítulo de firmes flexibles, constituye una novedad técnica interesante el "full depth", o sea, "todo asfalto", incluida en la nueva norma oficial de este tipo de firmes. Esta técnica ha sido adoptada y comienza a utilizarse en la autopista Burgos-Máizaga y consiste en la supresión de la base granular o de cemento y su sustitución por otra capa de base asfáltica, constituyéndose de esta forma un auténtico firme flexible.

La construcción por este procedimiento es económica cuando se dispone en obra de una explanada de gran calidad como resulta ser en los alrededores de Burgos. Sus ventajas son variadas; por un lado, se reduce el espesor total del pavimento con menor cubicaje de material a colocar y transportar (recuérdese lo anteriormente dicho sobre precio del transporte); se mejora la utilización de los equipos, al no necesitarlos más que de un tipo para todo firme y por último se facilita la construcción por etapas, técnica que se está imponiendo en las autopistas por las ventajas de retraso de inversiones y mejor utilización del material empleado que suponen.

También durante el periodo de construcción tiene ventajas derivadas de la uniformidad del material. Podemos citar la impermeabilidad que presta para protección de las capas de abajo y su casi inmediata utilización como vía de transporte interno como las más importantes.

— Refiriéndose ahora a firmes de hormigón, los ejemplos más importantes lo constituyen la "y" asturiana, en hormigón armado y las autopistas de peaje de Sevilla-Cádiz y Tarragona-Alicante, en hormigón en masa.

Estas últimas fueron las que rompieron la barrera a la que nos referíamos al principio y están construidas con losa continua de hormigón en masa de 25 cm. de espesor sobre una base tratada con cemento siguiendo fielmente la técnica californiana.

La base en la que se apoya la losa es uno de los puntos más delicados de esta técnica; su perfilado debe ser perfecto y su estabilidad grande para recibir el pavimento de hormigón. En el futuro su misión es el reparto de cargas y la desaparición de asientos diferenciales, ya que este es el fundamento teórico de un pavimento de hormigón con juntas de retracción serradas y sin pasadores. A tal fin, y para preservar de posibles daños, debe evitarse al máximo la circulación de obras por encima, constituyendo circuitos paralelos de transporte interno, si ello es necesario. Para la construcción de esta base se utilizan extendedoras de todo el ancho de autopista que dan un perfecto grado de terminación geométrica.

La puesta en obra de la losa se hace con un "tren" de hormigonado formado, en primer lugar

por una extendidora que extiende, vibra y extrusiona el hormigón vertido ante ella por los camiones; le sigue una acabadora, normalmente de tubo sesgado y una terminadora de textura superficial, generalmente de púas (en Sevilla-Cádiz se hizo con arpillera) para conseguir rugosidad transversal al tráfico. Tras todas estas máquinas circula un puente de curado, extendiendo el líquido protector, generalmente de color para distinguir la zona ya tratada y por último y ya con el hormigón endurecido, la serradora de juntas.

Estas juntas son sesgadas y a intervalos variables comprendidos entre 3,5 y 6 m., sin pasadores y sin sellar. Su anchura es de 3 a 4 m. y su profundidad de 5 cm.

— En cuanto al hormigón armado, a finales de 1974 se inició la pavimentación de los 40 km. de "y" asturiana, Oviedo-Gijón-Avilés. La fuerte incidencia de tráfico pesado que se preveía, la cimentación y el clima llevaron a elegir un pavimento continuo de hormigón armado de 22 cm. de espesor, basándose en experiencias belgas, aunque también de origen norteamericano.

El inconveniente principal de esta técnica es su precio, ya que la cuantía longitudinal es del 0,8 por 100, lo que supone unos 16 kg. de acero por metro cuadrado, además de una mayor complicación de puesta en obra debido a la presencia de la ferralla sobre la base.

Esta técnica de firmes de hormigón, en cualquiera de las dos enunciadas, tiene la ventaja de hacer el firme prácticamente de una sola vez, con sólo la base como material de fabricación industrial distinta. En este sentido, se parece a la antes descrita "full-depth" en asfalto. Como en ella, se amortizan grandes instalaciones de fabricación; basta decir que en Sevilla-Cádiz se utilizó una planta de 400 metros cúbicos/h. suficiente para hacer diariamente dos kilómetros de calzada.

El buen resultado de ambos sistemas ha hecho que en estos momentos se estudie sistemáticamente la adopción de firme flexible o rígido al preparar la construcción de una autopista, ensanchando una vez más el campo de las técnicas a aplicar.

CONCLUSION

Somos conscientes de que todo lo que antecede no es sino una especie de catálogo incompleto de la evolución de las técnicas aplicadas a la construcción de autopistas en España, ya más de 2.000 km. en explotación o en obra. Cualquiera de los temas esbozados es susceptible de constituir por sí solo un artículo completo. Esperamos, sin embargo, haber dado al lector una visión de conjunto de cómo los técnicos dedicados a la ejecución de estas obras han intentado aplicar los últimos adelantos aparecidos tanto en España como en el resto del mundo.