

CONSIDERACIONES ESPECIALMENTE FRANCESAS SOBRE LOS DIVERSOS MODOS DE REVESTIMIENTO DE CARRETERAS

Conferencia por M. GEORGES CORET

I. INTRODUCCION

SEÑORAS Y SEÑORES:

Es costumbre empezar una disertación como ésta hablando del honor y del temor que se siente: Costumbre, desde luego, no injustificada por lo que se refiere a mí en cuanto al honor que me hacen, no sólo al hablar en una tribuna extranjera y ante técnicos altamente calificados, sino además por expresarme en nombre de la "Asociación Técnica de la Carretera" francesa delante de cierto número de sus miembros, los cuales estaban plenamente calificados para hacerlo; y este honor es todavía más alto para mí, porque soy el único francés inscrito en el programa paralelamente al Sr. Director de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Turismo de Francia.

Este paralelismo no excluye en nada que tenga yo — aunque mal, como decía nuestro humorista Tristan Bernard a los que volvían a contar sus cuentos — que recortar su propio discurso en los numerosos puntos en los cuales técnicos de la administración y de la industria franceses — y extranjeros en el plano de las Comisiones internacionales — se inspiran en sus valiosos dictámenes.

Muy ingrato sería, en cambio, si hablase de un apuro, puesto que mis colegas me han aliviado en gran parte, trayéndome, cada cual en lo que le concierne, lo esencial de las múltiples y diversas figuras del cuadro que voy a tratar de pintar ante ustedes.

Doy las gracias muy especialmente, nombrándoles, si me permiten decirlo, en el orden de su entrada en escena en mi estudio:

La Federación Nacional de Productores de Materiales de Vialidad.

La Cámara Sindical de Distribución de Betunes de Petróleo.

El Sindicato de Fabricantes de Emulsiones de betún para carreteras.

El Sindicato General de Industrias de Alquitrases y Benzoles.

El Sindicato de Productores de Tarmacadam de Escorias.

El Sindicato Nacional de Fabricantes de Cementos y Cales Hidráulicas.

El Sindicato Nacional de Industrias de Equipo M.T.P.S. (Manutención Obras Públicas Siderurgia).

El Sindicato Profesional de Contratistas de Obras de Carreteras de Francia.

La Asociación Técnica de la Carretera tendrá mucho gusto en dar sobre dichos grupos y sobre sus componentes todos los informes susceptibles de facilitar el desarrollo de los contactos que se hayan establecido entre nuestras dos industrias, con ocasión de las presentes Jornadas.

El mérito de la síntesis de las novedades en su campo de actividad es de estos organismos mucho más que mío, y sus representantes, aquí presentes, serán los más calificados para darles, después de este discurso, todas las explicaciones o todos los complementos de información que puedan ustedes desear referentes a estos temas de actualidad.

No puedo olvidar en mis fuentes de documentación, para citar únicamente dos nombres entre los de los autores que despoje literalmente, la valiosa y abundante aportación que en el curso de Carreteras del Sr. Coquand, Profesor de la Escuela de Ponts et Chaussées de París y las obras del Sr. Duriez, Inspector General de Ponts et Chaussées, han ofrecido a una atrevida recopilación que se ha extendido también a los innumerables artículos que los técnicos franceses y españoles, entre otros, han difundido en diez años de *Revue Générale des Routes*, y diez números especiales consagrados a "La Carretera" por la Revista *Science et Industrie*.

Pero después de haber compulsado la abundante literatura técnica francesa y extranjera, cuyas fuentes citadas constituyen, al menos en volumen, sólo una pequeña parte, se queda uno verdaderamente asustado ante la amplitud y la dificultad del trabajo, que habría de consistir en resumir en una obra extensa la suma de conocimientos actuales en el dominio de las carreteras.

Esta no podía ser mi ambición y he tenido que limitarme a volar por encima de todos estos trabajos de nuestros colegas.

Pero, para que pareciese que traía alguna contribución personal, me esforcé en garabatear algunas consideraciones en las páginas intermedias de este álbum de vistas aéreas, y también he tratado de hacer más alegres con algunas digresiones, unos co-

mentarios técnicos que seguramente hubieran parecido áridos, al menos para las señoras que han tenido la amabilidad de sentarse en esta sala.

Aridos y sin duda también descorazonadores, señoras, si como temo, lo que ustedes y sus amigas francesas piden a la carretera, tanto en su propio coche como al volante del de su marido, es todavía más difícil de conseguir que lo que la técnica más sabia podría ofrecerles.

Deberá tratarse, entre otras exigencias:

De una anchura de carretera de 30 a 40 metros, que, según el ejemplo de las colisiones aéreas, prueba que, sin duda, no sería suficiente todavía para permitir sin peligro la libre fantasía de los cruces y las maniobras espectaculares al querer adelantar a los demás coches.

De una duración ilimitada para que, intempestivas obras de mantenimiento, no vengán a modificar sus itinerarios o moderar su marcha, o al menos, que dichas obras, si son inevitables, puedan efectuarse sin interrupción de tráfico y sin desviación, especialmente de noche.

La ejecución de una superficie maravillosamente plana, como la de su espejo, pero que no deslice, sin embargo, en tiempo de lluvia, a fin de permitirles correr sobre ella sin inconveniente, a plena marcha.

Pero mientras hoy no pueden ustedes mostrarse tan exigentes con los pobres pequeños créditos de los que disponen nuestros ingenieros, puede no ser ilusorio esperar que algún día llegará a ser realidad este sueño.

Ya se han hecho espectaculares progresos y ha llegado el momento en el cual se trata, ante todo, de perfeccionar. Este perfeccionamiento de las técnicas, esta exposición de los más recientes avances es a la que, cada uno en su dominio, los conferenciantes de los Congresos, tal como el nuestro, consagran habitualmente sus estudios.

Mi disertación será menos especializada.

En efecto, lo mismo que el Sr. Director de Carreteras ha querido abordar un tema muy general para la primera conferencia que tuvo el gusto de dar en España, pensé perezosamente que, tratándose de una cuestión ya extensamente precedida de otros estudios o artículos en la prensa técnica, y que no era — salvo algunas novedades muy recientes que me han pedido que subraye — susceptible de aportar algo muy original, podría yo tratar de dar a esta charla una forma didáctica — “al uso de la gente del gran mundo”, se decía en Francia en el siglo XVIII — para ayudarles a despertar aquí en España, como se ha encargado de hacerlo en Francia la Asociación Técnica de la Carretera, el interés, aun de los profanos, respecto a los problemas de la carretera y a contribuir, por tanto, a reforzar la opinión a favor del presupuesto de las carreteras que ustedes también se esfuerzan en suscitar.

Por esto, y a pesar del título adoptado para mi exposición, pensando en nuestros amigos españoles,

bastante numerosos sin duda, que han querido honrar estas jornadas con su presencia sin estar especialmente familiarizados con las cuestiones de carreteras, me permitiré hablarles de la construcción de carreteras en general; de presentarles a los que no están familiarizados con los problemas de carreteras, de reavivar a los ojos de los que los siguen diariamente un cuadro de conjunto de la técnica de la carretera, pintado con los colores especiales que le dan la Administración de Ponts et Chaussées y la Industria Francesa.

Estoy convencido de haber pecado a menudo, no por defecto de objetividad, sino, lo temo, por ignorancia, y les pediré, ante todo, su indulgencia por una falta de homogeneidad y una probable insuficiencia de dosificación entre los diversos capítulos de este estudio.

También encontrarán ustedes, sin duda, asertos y aun afirmaciones venidas de fuentes demasiado unilaterales o mal interpretadas por mí, que puedan ser refutadas. ¿Pero no son tales desacuerdos los que alimentan las discusiones técnicas?

Sin embargo, no sabría disculparme demasiado con los técnicos sobre el hecho de que no puedan descubrir nada nuevo en estas páginas, y, sin falsa modestia, quisiera pedirles que hagan el favor de rectificar, con eventuales intervenciones, lo que pudiesen encontrar de discutible, y aun de inexacto, en las transposiciones de datos, de los cuales no habré sabido ser, en definitiva, más que un intérprete muy imperfecto.

II. ASPECTOS DIVERSOS DEL PROBLEMA DE CARRETERAS. COMPARACION ENTRE FRANCIA Y ESPAÑA

Lo que de la carretera interesa ante todo al automovilista que confía en ella es lo que resulta, si no de la última fase, al menos de la segunda parte de las obras de carretera: la que después de la constitución de la calzada, llega a darle, por el revestimiento, el aspecto exterior, el placer, el buen rodar y el *comfort*.

Esta preocupación — superficial, es cierto — del automovilista, puede considerarse como derivada de algún modo de una deformación, por no decir de una pereza de espíritu, del hombre moderno, la cual es debida sin duda al exceso de especialización u orientación profesional, que le incita a fijarse más en el aspecto exterior que en la constitución interna de todas las cosas algo extrañas a él, y lo lleva a menospreciar los milagros, todavía insospechados ayer, como son, por ejemplo, la televisión o la cirugía moderna, y a no dejar de protestar contra las imperfecciones que se permiten presentar todavía.

“Lo que cuenta es el resultado”, es una sentencia que ofrece a veces al genio una seguridad de éxito que el talento oscuro no sabe siempre merecer.

El resultado en materia de carreteras puede obtenerse de diferentes modos; en efecto, a la técnica de

carreteras, siendo a la vez una ciencia y un arte, no se ha ofrecido la posibilidad y quizá aún no se ha hecho sentir la necesidad de codificar estrictamente sus procedimientos.

Además, si la imparcialidad de mi misión no me prohibiese discutir los méritos respectivos de tal o cual modo de revestimiento, el solo hecho de que hayan sido llevados, los unos y los otros, si no hasta la perfección, al menos hasta un grado bastante avanzado de técnica, sería suficiente para explicar que la elección entre unos y otros sea menos una cuestión de valor intrínseco que de adaptación a las necesidades.

La elección de los métodos de revestimiento puede inspirarse, entre otros datos, en:

La naturaleza de los suelos.

El clima y los vientos dominantes.

Las disponibilidades en material.

La importancia del tráfico.

Los imperativos económicos, y otros muchos factores.

Dejando de lado por un momento los tres primeros elementos, se concibe que las redes de carreteras se hayan desarrollado en relación con el papel que les impone la circulación que tienen que absorber y los créditos que la amplitud de puntos de vista de los grandes financieros, o más a menudo, las enérgicas exigencias de los usuarios, les han atribuido. Desde este punto de vista, sin duda, no han llegado ustedes todavía, amigos españoles, a la etapa de casi saturación de ciertos itinerarios que exige en Francia soluciones radicales en numerosos puntos.

Evidentemente, España es un país de turismo, y

nosotros, los franceses, estamos bien colocados para afirmarlo, pues de 1.600.000 extranjeros que han entrado aquí en 1952, según los últimos informes que poseo, 700.000 son franceses, es decir, que casi el 50 por 100 venían de nuestro país.

Observo que ciertos obstáculos han debido hacerles difícil la reciprocidad, puesto que nosotros recibíamos, durante el mismo año 1952, 3.200.000 extranjeros, entre los cuales no creo que ustedes hayan figurado en más de 60 a 80.000. Pero no dudo que dicha proporción habrá mejorado notablemente desde hace cuatro años, y que, además, las amistades y relaciones individuales que estas jornadas permitan hacer, contribuyan a engrosar pronto la oleada de vuestra emigración pasajera.

Pero si el turismo extranjero contribuye a la alimentación del tráfico de carreteras de cada país, es evidente que el principal elemento es nacional.

Sin prejuzgar los cambios que puedan resultar de ello, me ha parecido curioso comprobar, a la luz de los cuadros I y II adjuntos, que:

El número de habitantes por unidad administrativa: provincia en España, departamento en Francia;

El número de ciudades de más de 100.000 habitantes:

La población media de dichas ciudades (excluidas las de más de 1.000.000);

El porcentaje global de su población en relación con la población total, se cifran con valores muy parecidos.

Por el contrario, se observa una diferencia muy notable en el hecho de que, aproximadamente, la mitad de la población vive:

CUADRO I. -- *Confrontación de ciertos datos demográficos en Francia y España.*

	FRANCIA	ESPAÑA
Número de habitantes	43 millones	28.500.000
Superficie	550.000 Km.	505.000 Km.
Número de habitantes por Km. ²	78	56
Número de unidades administrativas (1)	90 departamentos	50 provincias
Número de habitantes por unidad	480.000 por departamento	570.000 por provincia
Número de ciudades de más de 100.000 habitantes	22	20
Media de población de dichas ciudades, excluyendo	185.000	190.000
	París y alre- ded., 6.300.000	Madrid, 1.600.000 Barcelona, 1.500.000
Porcentaje global de la población en las ciudades de más de 100.000 habitantes	23,5 %, París inclusive	23 %, Madrid y Barcelona inclusive
50 % aproximadamente de la población vive en ciudades de	Menos de 2.000 habitantes	Menos de 10.000 habitantes
NOTA. — En España existe un flujo muy grande hacia las ciudades cuya población ha triplicado en 50-60 años, mientras la población total sólo aumentaba en 50 %.		

(1) Igual que en las provincias francesas, las regiones españolas correspondientes a ellas ya no tienen existencia administrativa.

CUADRO II. — Comparación del reparto de la población en Francia y España.

FRANCIA				ESPAÑA					
N. de ciuda- des	Población global o 300 000	% de la pobla- ción total	Ciudades de más de 100 000 habitantes				Número de ciuda- des	Población global 3 000 000	% de la población total
			Ciudades francesas	Número de habi- tantes en millares		Ciudades españolas			
				Paris 2 900	Alrededores . . 3 400				
1		14,5%		0 300	1 600		2		11%
1 millón					1 500		1 millón		
			Marsella	630	540	Valencia			
			Lyón	461	380	Sevilla			
			Toulouse	264	300	Málaga			
			Bordeaux	254	260	Zaragoza			
			Nice	211	230	Bilbao			
			Nantes	200	230	Murcia			
			Lille	189	170	Granada			
			Saint-Étienne . .	178	160	Córdoba			
			Strasbourg	176	145	Palma de Mallorca .			
	3 900 000	9%	Toulon	126	140	La Coruña	18	3 500 000	12%
			Rennes	114	125	Gijón			
21			Nancy	114	120	Alicante			
			Reims	111	116	Valladolid			
			Clermont-Ferrand .	108	110	Cartagena			
			Rouen	108	110	San Sebastián . . .			
			Limoges	108	105	Oviedo			
			Le Havre	107	105	Santander			
			Grenoble	102	103	Jerez			
			Roubaix	101					
			Dijon	101					
			Le Mans	100					
			21 ciudades	3 870	3 450	18 ciudades			
100 000			Media	185	190				
	100				90	Cádiz			
					85	Salamanca	302	3 000 000	28%
					85	Burgos			
50 000					85	Badajoz			
20 000	131						50 000		
10 000							20 000		
2 000							10 000		
	20 millon.	47%					2 000	2 900 000	10%
43 millones							8 900	11 millon.	385, %
								28 500 000	

En España, en aglomeraciones de menos de 10 000 habitantes, y esto, quizá solamente desde poco tiempo, a causa del éxodo relativo, recientemente señalado, de los campos.

En Francia, en pequeñas ciudades de menos de 2.000, lo que indica, de todos modos, una dispersión geográfica más extensa en Francia, y un volumen de cambios individuales a distancia más extenso.

Y esto explica también que en todos los dominios, al menos en valor absoluto, la carretera no tenga todavía en la actividad general española, ni tampoco en sus preocupaciones presupuestarias, un lugar tan importante como el que ocupa en Francia.

Debo a la amabilidad del Prof. J. L. Escario los datos siguientes (Cuadro III), que nuestros colegas franceses podrán confrontar con sus propias cifras.

III. - EXPOSICION SUMARIA SOBRE LA ESTRUCTURA DE LAS CALZADAS

Desde el punto de vista del usuario que la frecuenta, cualquiera que sea el modo de construcción de una carretera, sus características se limitan al estado de superficie, al cual van unidas las cualidades de seguridad y de comodidad.

Para el ingeniero, el aspecto final de la carretera es, al contrario, sólo el término de un largo trabajo cuyas diversas etapas se escalonan en altura con una profundidad variable:

Con las exigencias del tráfico.

Con los métodos adoptados.

La carretera más sencilla es la que está constituida por la explanación del suelo natural, pista que el tránsito hace un poco más practicable a medida que quita de ella los obstáculos (ramas, piedras gordas) y se regulariza la superficie.

Solamente en casos muy excepcionales, ese camino de tierras, practicable para los coches de caballos a pesar de los baches que se forman en él, puede aceptar un tráfico de automóviles, como no sea a una velocidad irrisoria.

Por eso, en cuanto la carretera empezó a recobrar la importancia que la vía férrea le había quitado durante largos años y se comprobó que con el tráfico automovilístico iba a volver a ser una de las principales arterias de la vida económica, fué preciso pensar no solamente en construirla bien, sino también en remediar su desgaste.

Para remediar el deterioro que el tráfico impone a la carretera, una solución de conservación económica es evidentemente la de hacer sustituible la capa superior que se desgasta.

Esta solución puede ser la de un "revestimiento" que, siendo de la misma naturaleza que el objeto a deteriorar, o aun participando de su substancia, se adultera, se mancha, se deteriora como él, pero se reemplaza fácilmente, como lo hacen: el delantal del ama de casa, el respaldo del departamento del ferrocarril, la alfombra que protege los pisos de nuestras casas.

Pero puede ser también, como en la coraza del crucero, la placa de blindaje, el revestimiento anti-ácido, el cromado de los accesorios, un revestimiento más resistente que la capa que se debe proteger: más costoso también, pero cuya longevidad compensa con creces el precio de coste inicial.

Que sea idéntico a la carretera de la cual no constituye sino una capa superior relativamente fácil de reemplazar o claramente superpuesta a ella por una técnica de fabricación diferente, el revestimiento superficial no se distingue siempre con facilidad de la capa interior y los procedimientos más elementales tienden, a veces, sencillamente, a "reforzar" la superficie.

La primera idea que viene a la mente para conseguirlo es la de mejorar la resistencia y la homo-

geneidad del suelo por un tratamiento de superficie o de ligera penetración, con exclusión de toda excavación.

Sin embargo es solamente, en casos de tráfico reducido, cuando tal tratamiento podría bastar para hacer de este suelo natural la forma sólida y nivelada que juegue el papel de infraestructura, de capa inferior de cimiento sobre la cual una capa de rodadura, análoga a las que se describirán más adelante, podrá ser extendida sin interposición de una capa intermedia, la cual llegaría a ser absolutamente indispensable en caso de tráfico importante.

Impregnación, estabilización del suelo, serán las operaciones que podrán, excepcionalmente, reforzar bastante el suelo natural para que juegue a la vez el doble papel de la forma y de las dos capas, inferior y superior, que figuran en el esquema completo de una carretera totalmente construida.

En cuanto se pasa esta etapa, se encuentra uno ante una verdadera creación de la carretera por colocación mecánica y tratamiento de materiales resistentes, siendo a menudo materiales de aportación bien elegidos y trabajados muy especialmente cuando se trata de terraplenes.

Construir una "carretera" susceptible de soportar una circulación notable, o reconstruir una carretera existente que resulta ya insuficiente para el tráfico, constituyen operaciones que exigen que el mismo subsuelo sea modificado y que, por consiguiente, la creación de la calzada sea anterior al eventual revestimiento.

CUADRO III

<i>Longitud de la red de carreteras españolas:</i>	
A cargo del Estado	73.126 Km.
A cargo de los Departamentos con subvención del Estado	41.322 »
A cargo exclusivo de los Municipios	4.600 »
	119.048 Km.
<i>Presupuesto dedicado:</i>	
A su mantenimiento	607,191 mill.
Construcción de nuevas carreteras	244,081 »
Modernización de la red actual	750.000 »
<i>La distribución del revestimiento es la siguiente:</i>	
Adoquinado	841.408 Km.
Empedrado	637.499 »
Hormigón-cemento	379.526 »
Hormigón asfáltico	375.142 »
Revestimiento superficial bituminoso	21.869,361 »
Macadam	49.022,907 »
<i>Número de automóviles en circulación:</i>	
Camiones y camionetas	120.000
Coches de turismo	150.000
Omnibus	8.600
Otros vehículos	30.000
<i>Tonelaje de materiales utilizados:</i>	
Betún	68.000 Tn.
Alquitrán	10.000 »

En resumen, si se hace caso omiso de las contingencias que hayan podido intervenir en la constitución natural o artificial de los caminos y de las carreteras, y si se limita uno a observar en corte para distinguir el escalonamiento de su constitución, el esquema es siempre idéntico, excepto el hecho de que, a veces, algunos elementos pueden faltar en las técnicas más elementales.

Aunque sus elementos sean bien conocidos, hemos creído un deber presentar este sencillo esquema teórico de la construcción de una carretera, con el fin de hacer figurar en él las palabras francesas y españolas que correspondan al nivel de cada uno de los elementos que la constituyen.

Permitásenos hacer una corta digresión sobre la terminología, impuesta por la preocupación de suprimir toda ambigüedad, tanto mayor en un texto, o

mejor aún en una exposición, cuanto más profanos sean en la materia tratada el lector o el auditor a los cuales se dirigen.

Entre los iniciados, que conocen bien a fondo de lo que se habla, la impropiedad de términos no es grave, pues aunque no pase desapercibida se rectifica tácitamente.

Otra cosa es cuando el lector o el auditor, que teme perder el hilo de las ideas, se agarra sistemáticamente a las señales que constituyen para él ciertos términos, de los cuales no discute ni un momento la supuesta significación.

Con mayor motivo es indispensable, cuando un texto debe de traducirse a un idioma extranjero, ponerse completamente de acuerdo, sin ambigüedad posible, sobre el significado de los términos esenciales, y esto, más que un escollo suplementario pudiera

ESQUEMA TEORICO DE CONSTITUCION DE UNA CALZADA

NOTA. — Las rayas verticales separan las soluciones variables que pueden ser adoptadas a un nivel de una capa de terreno dada, sin que haya unión obligatoria, en una misma vertical, entre las soluciones que se superponen en el esquema.

Capas de la carretera	CALZADAS FLEXIBLES						Pavimento	Firmes rígidos
Revestimiento impermeabilizador y protector	Capa superficial Revestimiento superficial (aglomerante fluido y gravas en mono y multicapas)						Adoquines	Losas
Capa superior	Macadam Con agua Aglomerado por semi-penetración del producto bituminoso. Consolidado por colocación de aglomerados. Macadam-mortero. Tarmacadam (revestimiento abierto).		(1)	Impregnación suelos con elementos finos (Suelos estabilizados mecánicamente y si han lugar con betún o alquitrán cemento		Materiales aglomerados Abiertos (Tarmacadam o Macadam bituminoso). Semiabiertos. Cerrados (hormigones bituminosos).		de hormigón de cemento
Capa inferior o capa de cimientó	Telford (2)			Piedras partidas semiduras.		Simple capa de materiales sanos y resistentes, a menudo locales		
Subcapa				Drenaje (gravas)				Anticontaminante (arena fina)
Forma				Rocosa				Compacta

(1) La impregnación, indicada únicamente en el esquema para los firmes con elementos finos, pueden ser excepcionalmente ejecutada sobre un macadam un poco más abierto, cuando contiene una fuerte proporción de recebo.

(2) El Telford o la piedra partida están en vías de desaparición, siendo substituidas, generalmente, por materias locales menos costosas de transporte y de puesta en obra, a condición de que la granulometría de dichas materias se estudie bien para permitir, con una buena compactación, la construcción de un suelo con suficiente resistencia para las diversas proporciones posibles en humedad del firme considerado

suponer en los textos técnicos, en dos idiomas de raíces comunes, como el francés y el español, en los cuales las palabras tienen formas parecidas, el riesgo de ser engañado por una asimilación demasiado fácil.

Añadiremos, para volver a nuestro esquema de carretera, que la construcción de una calzada comprende una serie de capas superpuestas, y que cada una de ellas debe jugar un papel determinado: poder sustentador, drenaje, repartición de las cargas, resistencia al desgaste, impermeabilidad; pero que además hay entre ellas una tal interpenetración de funciones que ninguna de dichas capas podría jugar el papel que le corresponde si las que le son adyacentes no hubiesen sido establecidas de acuerdo con las reglas de la Geotecnia. El espesor de la capa de cemento se hace demasiado débil si el subsuelo no ha sido suficientemente compactado, y la resistencia mecánica de una capa de rodadura se hace ineficaz si la capa superior sobre la cual descansa carece de estabilidad. El cuerpo de la carretera forma un "todo".

Sólo recordaremos, para hacer memoria, que dicha relativa interdependencia de las diversas capas que constituyen la carretera está considerada diferentemente por los ingenieros según se trate de:

a) *Revestimientos flexibles*, que constituyen prácticamente todos los modos de revestimiento, sin excepción.

b) *Revestimientos de hormigón*, que se denominan *firmes rígidos*.

c) *Revestimientos de adoquinado* que, según su modo de construcción, se relacionan más o menos con una u otra de las categorías precedentes.

La diferencia reside en el hecho de que:

a) Las capas superpuestas de materiales que constituyen los revestimientos flexibles no son susceptibles de resistencia notable a la tracción; los esfuerzos se transmiten en su seno por el mecanismo clásico de la distribución de tensiones en el suelo.

Las capas superiores son, generalmente, más resistentes y menos deformables que las capas inferiores; pero las tensiones en el suelo pueden ser elevadas.

b) En los firmes rígidos, al contrario, la parte superior está constituida por una losa de hormigón, la cual, flectando elásticamente bajo las cargas, transmite los esfuerzos a distancia y los reparte también sobre una superficie extensa.

De todos modos, utilizaremos el esquema de la página anterior para recordar ciertas ideas bien conocidas, exponer algunas sugerencias o explicar nuevas realizaciones referentes a cada una de las cinco capas teóricamente superpuestas en la carretera.

Examinaremos más rápidamente las tres primeras: caja sub-base-capas de cemento, pues en apariencia al menos, y bajo la reserva muy importante que acaba de hacerse referente al carácter más o menos monolítico de una buena carretera, estas tres capas son menos espectacularmente responsables de las

cualidades prácticas de la carretera que la capa superior y el revestimiento.

IV.—LOS MATERIALES PETREOS

Antes de empezar a examinar los diversos cementos que constituyen la carretera, me permitirán decir unas palabras sobre la importancia que atribuyen los ingenieros a las propiedades del suelo.

En efecto, con excepción de los materiales de fabricación artificial, tales como las escorias minerales y vegetales, los *fillers* de origen industrial, es de la corteza terrestre de la que se extraen todos los materiales que constituyen el conjunto del firme, desde el Telford y la piedra partida hasta los adoquines, pasando por los diversos macadams, emulsiones superficiales y revestimientos bituminosos de todas clases.

Sin entrar en el detalle de la naturaleza geológica de las rocas que determinan sus cualidades, sino refiriéndonos más bien a su origen y a su estado físico, se distinguirán, desde el punto de vista del constructor, dos categorías de materiales:

1.^a Materiales de granulometría "homogénea o abierta", llevando una fuerte proporción de huecos que resisten por encaje y trituración, expuestos al desgaste, y por esta razón elegidos entre las rocas duras.

Suministrados en general por la trituración de las piedras duras de cantera, se utilizan para los macadams revestimientos abiertos y gravillas para tratamiento superficial.

2.^a Materiales de granulometría "continua o cerrada", destinados a ser compactados, resistiendo a los esfuerzos por compacidad y cohesión.

Proviene generalmente de yacimientos de materiales granulares naturales, mejorados, si es posible, por trituración y cribado, y a veces también de la trituración de rocas de una dureza media: están indicados para los firmes estabilizados, los hormigones bituminosos y aglomerados duros.

Los materiales de cantera.

La extensa y sistemática utilización de la primera categoría (la de los materiales de cantera) hecha en el pasado es debida a la abundante repartición de numerosas canteras sobre el suelo francés.

Pero debido a los progresos de la técnica, las condiciones que deben tener las canteras para atender a todas las necesidades son cada vez más difíciles de lograr. Han sido resumidas como sigue por un representante de esta industria:

Elegir un yacimiento cuya explotación sea suficientemente fácil para que su precio de coste no sea prohibitivo.

Elegir un yacimiento situado debidamente próximo a los centros de consumo.

Disponer de una fábrica que comprenda numerosas escalas de trituración y re trituración, con el fin de eliminar los elementos blandos y friables y de obtener materiales cúbicos.

Disponer de una instalación de cribado que permita:

- una regularidad perfecta del cribado, cualquiera que sea el grado higrométrico;
- la producción de numerosos tipos para servir los pedidos y tener materiales que no se segreguen fácilmente.

Disponer de silos y de depósitos importantes para satisfacer el pedido irregular en cada granulometría y las demandas estacionales en el conjunto.

Disponer de posibilidades de lavado para obtener materiales limpios libres de polvo y de materias terrosas.

Sólo una racionalización de las explotaciones, que llevará evidentemente a inevitables concentraciones y a la instauración de un plan sistemático y tan económico como sea posible de transporte y de repartición de los materiales duros indispensables en todos sus puntos, podría, evidentemente, permitir la satisfacción plena de las exigencias antes citadas.

Esta organización, por perfecta que sea, no debe llegar a impedir la utilización de materiales blandos de segunda clase que puedan encontrarse y utilizarse económicamente en las regiones pobres en materiales duros, cuando en rigor sean suficientes, y ello debe únicamente permitir hacer que en algún punto los revestimientos, cuya importancia requiere el empleo de materiales duros, no lleguen a ser irrealizables por no haber posibilidad de aprovisionamiento o por un precio de coste prohibitivo.

Los materiales naturales.

Al lado de estos materiales de cantera, se encuentra casi por todas partes en Francia, y próximos a las obras, materiales naturales que pueden convenir para la construcción de firmes flexibles. Son, por ejemplo, los depósitos aluviales o glaciales, las arenas. La utilización de las trituradoras móviles permite tratar en el punto de empleo materiales que pueden ser utilizados en la realización de revestimientos densos, a condición de que los áridos no sean demasiado arcillosos o susceptibles de transformarse en arcilla.

Comparación del empleo de materiales de cantera y de materiales naturales.

Un problema que está en primer plano en la actualidad, es la utilización sistemática de materiales naturales en los aglomerados densos.

Si nos preocupamos verdaderamente de dar a la industria de las canteras los medios para responder a todas las condiciones que debe tener para satisfacer a las necesidades de muchas otras técnicas, hay que

consignar que dicha explotación racional de las canteras, que exige importantes inversiones, no podría ser concebida y llevada a cabo con utilidad si su establecimiento llegase a coincidir, como algunos han temido por un momento que fuese el caso en Francia, con una tendencia exagerada a la utilización sistemática de los materiales locales, cualquiera que fuese su naturaleza.

Es bien cierto, en esta materia como en otras, que no es a la luz de los estrictos imperativos económicos de periodos difíciles a la que se debe transformar toda la economía industrial.

Si se demuestra, a falta de evidencia, que las técnicas nuevas, tales como estabilización de los suelos para la confección de firmes, o empleo de revestimientos densos sustituidos parcialmente con emulsiones superficiales, "pueden" utilizar materiales naturales, aluviales y otros, pero también se acomodan al empleo de materiales de cantera, la competencia entre los dos productos perderá el carácter excesivamente subjetivo que tenía hasta ahora y volverá a colocarse en el cuadro de las comparaciones técnicas, que son el pan de cada día de nuestros ingenieros.

V. — CONSIDERACIONES SOBRE LAS CAPAS INFERIOR Y DE CIMENTOS

Salvo en el caso en que la capa que va a constituir el asiento de la calzada pueda ser trazada en un desnorte rocoso, especialmente si se ha tenido que hacer en terraplén, deben suprimirse las tierras vegetales y blandas, drenar si es preciso y compactar correctamente.

Entre la capa y la capa inferior o capa de cimiento habrá que insertar, a menudo, una sub-capa drenante de grava o gravilla para localizar las subidas de agua capilares, o una sub-capa formada de una materia bastante fina para impedir que suba la arcilla a la capa inferior.

Pero éstos son sólo accesorios de lo esencial, que es la capa inferior o capa de cimiento. Como pronto veremos, es preciso, para las capas superiores, una comparación entre la técnica de granulometría discontinua, que constituye el macadam, y la de granulometría continua, que representan los suelos de elementos finos; esta comparación no tendría razón de ser en la época en la que casi sólo se empleaba el Telford como cimiento.

Pero hoy esta etapa se ha sobrepasado extensamente.

Además de la lentitud y coste de la puesta en obra, el Telford presenta el inconveniente de conservar una gran cantidad de huecos en los que penetra progresivamente el suelo inmediato, principalmente tratándose de un suelo arcilloso; sería entonces absolutamente necesaria la subcapa de arena o escorias.

El Telford está en vías de desaparecer y no es probable que sobreviva, sino para pequeñas superficies.

Supone una mejora del sistema Telford la sustitución de las piedras colocadas a mano que lo constituían, por piedras partidas tiradas sin orden y apisonadas.

Los resultados, variables con las condiciones, son bastante desiguales y deben esperar la comprobación de la experiencia.

La desaparición del efecto de bóveda hace que el sistema no sea aceptable sino con ciertos materiales que se rompen parcialmente y dan al cimiento una cierta compacidad.

Una aplicación muy extensa ha sido hecha del material extraído de graveras, exigiendo que estos materiales respondan a normas bien determinadas.

La escoria de hornos altos ha seguido esta evolución: en vez de ser empleada bajo forma de piedras gruesas, está ahora utilizada según granulometrias escalonadas: 0/80 ó 0/40. Presenta entonces características notables para cimiento de carretera. Es absolutamente insensible al agua, presenta un ángulo de rozamiento elevado y da al compactar densidades del orden de 2.1. Por último, se produce un endurecimiento progresivo bajo el efecto de la cal contenida en la escoria y alcanza entonces resistencias elevadas que le acercan a los revestimientos de tipo rígido.

Existe también otra ventaja para la capa inferior formada por suelos continuos: es fácil encontrar materiales convenientes, poco arcillosos, puesto que no se necesita cohesión, y con los que se puede fácilmente realizar capas insensibles al agua.

VI. — CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL CONJUNTO DE LA CAPA SUPERIOR DE REVESTIMIENTO. EL PAPEL DE LOS AGLOMERANTES

Tal como se deduce del esquema, la distinción formal entre la capa superior y revestimiento:

a) Existe desde el momento en que la capa superior está hecha de macadam o de elementos finos.

b) No tiene la misma diferenciación con la técnica de los materiales aglomerados, en los que constituyen la parte superior de la calzada hasta el aire libre.

c) Se desvanece completamente en el caso de losas de hormigón hidráulico o de adoquines, los cuales son sólo, en casos excepcionales, cubiertos con la capa protectora.

Esto conduce a examinar separadamente, por lo que se refiere a la capa superior propiamente dicha, en espera de revestimiento:

A) Firmes a base de macadam o de suelos de elementos finos.

B) Firmes de materiales aglomerados.

C) Firmes de hormigón hidráulico y adoquinados.

El estudio de las dos técnicas de este tercer grupo se transfiere a un capítulo que seguirá al de los revestimientos superficiales.

Esta disociación nos parece también justificarse por el hecho de que un elemento importante de la constitución de los firmes va a intervenir sobre los macadams, suelos de elementos finos: materiales aglomerados y revestimientos, revestimientos que ignoraban no sólo los constructores de las vías romanas y de los caminos reales de nuestros antepasados, sino también Mac Adam, Tresaguet y los otros técnicos de carreteras que fueron modernos en el siglo pasado.

Un divertido *slogan* publicitario, cuya mención me disculparán los utilizadores de las otras técnicas de carreteras, ha sido imaginado en este sentido por nuestros colegas fabricantes de betún. Es en los Campos Eliseos, lugar en que debe reinar una eterna concordia entre las estrellas, en donde los constructores de carreteras antes citados, reunidos con Colbert y Polonceau, contemplando juntos las obras de una carretera moderna, pronuncian esta queja melancólica:

"Nuestra vida eterna está llena de amargura.

No hemos conocido la emulsión de betún."

Me apresuro en decir, fiel al deseo de imparcialidad que me anima, que si el progreso que representan los aglomerantes en la técnica de ciertos macadams, de los suelos de elementos finos y de los materiales aglomerados, constituye una mejora con relación a las anteriores equivocaciones en esta materia, este elogio de los productos "negros" no representa ninguna posición racista, ninguna segregación en la comparación de sus méritos con los de los productos "blancos" constituidos especialmente por el cemento, y de los cuales se hablará aparte.

Los aglomerantes.

Así, pues, los macadams, excepto el macadam con agua, los suelos de elementos finos, los materiales aglomerados, hacen un llamamiento a los aglomerantes bituminosos.

Estos son de dos clases: el betún y el alquitrán.

Cronológicamente, debería hablarse primero del alquitrán, pues sus primeros empleos datan de principios de siglo, y extensamente generalizado a partir de 1919, fué prácticamente el único producto negro en la carretera hasta 1932.

Pero, como lo indica el cuadro adjunto, que recuerda los consumos comparados de los dos aglomerantes desde principios de siglo, el correspondiente al betún ha conquistado un orden que es hoy del doble que el alquitrán.

Es ante todo, por esta razón, además de respetar el orden curiosamente alfabético, por lo menos en francés, de los *betunes*, *cut-backs*, emulsiones de betún o de alquitrán, alquitranes y aceites de alquitrán,

y también por consideraciones de cortesía particular, por lo que hablaré primero de los productos bituminosos.

1. — LOS BETUNES.

Su gama está constituida: por los aglomerantes clásicos que son los betunes puros empleados en caliente, los *cut-backs*, activados o no, y las emulsiones alcalinas, a las cuales se añaden las emulsiones ácidas, todo ello completado por el empleo de activantes

1) Betunes.

Los betunes de carreteras más corrientes son los de penetración 80/100 y 180/220, cuyas principales especificaciones, puestas al día en 1956 por la Dirección de Carreteras, están indicadas en el cuadro siguiente:

Penetración a 25° C.	80-100	120/220
Punto de reblandecimiento, en °C. (anillo y bola)	41/51	34/43
Densidad a 25° C.	v en los dos casos 1 a 1.07	
Punto de inflamación Cleveland, en °C.	230° C.	
Ductibilidad a 25° C., en cm.	100 cm.	
Solubilidad en sulfuro de carbono	99.5 %	
Contenido de parafina según el método del Laboratorio Central de Ponts et Chaussées	4.5 %	

Las refineries han logrado, en el curso de estos últimos años, liberarse de las limitaciones impuestas por las características de los crudos, y es ahora posible, con tratamientos apropiados y el empleo de aditivos, obtener, a partir de crudos de los más diversos orígenes, betunes que respondan, por una parte, a las especificaciones oficiales, francesas o extranjeras, y satisfagan además a las condiciones requeridas por los usuarios en lo que se refiere especialmente a la miscibilidad (emulsiones alcalinas y emulsiones ácidas).

Entre los principales crudos utilizados durante estos últimos años para la fabricación de los betunes de carreteras, hay que citar los de origen venezolano, los procedentes del Oriente Medio, de los Estados Unidos, y el de Lacq, de origen francés.

Todos estos betunes han sido empleados con igual éxito, y esto tanto en caliente como para la preparación de los *cut-backs* o de las emulsiones en fase alcalina y ácida.

2) Cut-backs.

Los *cut-backs* franceses, que son objeto de especificaciones de la Dirección de Carreteras, se dividen en dos grupos principales:

Los *cut-backs* corrientes.

Los *cut-backs* de cura rápida.

Cada calidad está designada por dos límites de viscosidad medida a 25° C. por el método S.T.V. 10 milímetros.

Los *cut-backs* corrientes son cinco, variables en viscosidad:

Del más fluido, o 1.

Al más viscoso, 400/600.

El más empleado es el *cut-back* 150/250.

Los *cut-backs* de cura rápida son dos:

25/75, análogo al R.C.3 americano, y

100/250, análogo al R.C.4 americano.

3) Emulsiones.

a) *Emulsiones alcalinas*. — Las emulsiones alcalinas gozan de un gran prestigio. En 1956, sobre un total de más de 800.000 toneladas de *cut-backs* y betunes de carretera, unas 300.000 toneladas de betún han sido puestas en obra bajo forma de emulsión alcalina. Lo que representa cerca de 55.000 toneladas de dichas emulsiones.

Las proporciones de betún son, en general, de 55 ó 60 por 100. Las emulsiones a 50 por 100, muy apreciadas hace algunos años, tienen tendencia a disminuir en beneficio de las concentraciones más elevadas. Sólo representaban, en 1955, un 18 por 100 del total.

Estas emulsiones, a base de betún 180/220, son, en su mayoría, del tipo de rotura rápida, pero existen también emulsiones estabilizadas que permiten el revestimiento y la puesta en obra de materiales finos. Las emulsiones más estables, destinadas al revestimiento de materiales muy finos, entre los que están los arcillosos, son empleadas, sobre todo, para el tratamiento "retread" y la estabilización de los suelos.

Una categoría especial de emulsión alcalina de gran adhesividad, llamada "emulsión alcalina activada", ha permitido extender el campo de utilización de las emulsiones alcalinas al mejorar la adhesividad sobre los áridos.

Para las obras de invierno es necesario poder disponer de emulsiones cuya resistencia al frío sea satisfactoria. Las emulsiones especiales del tipo invierno pueden soportar sin rotura temperaturas de - 10° C. Se recomienda, sin embargo, aplicarlas con precaución, pues si su estabilidad al frío está mejorada, su velocidad de rotura es bastante lenta.

b) *Emulsión ácida*. — Un nuevo tipo de emulsión, que ha hecho su aparición hace algunos años en Francia, es la emulsión en fase ácida o emulsión catiónica.

Desde 1938, los laboratorios franceses habían empezado el estudio de esta cuestión, que ha tenido por resultado en 1950 las primeras fabricaciones industriales.

En 1952, se habían fabricado 700 toneladas. En el curso del año 1956 han sido empleadas unas 45.000 toneladas de emulsión ácida.

Este rápido desarrollo se justifica por las numerosas ventajas traídas por este nuevo producto.

Ante todo, es posible alcanzar con este tipo de emulsión elevadas concentraciones de aglomerantes, sin sobrepasar las normas de viscosidad compatibles con las posibilidades de distribución. Las emulsiones ácidas corrientes tienen una proporción de aglomerante del 65 por 100, que puede ser elevada al 70 por 100. Sin embargo, a igualdad de viscosidad, las concentraciones de las emulsiones alcalinas no sobrepasan el 60 por 100. La velocidad de rotura es muy rápida y sensiblemente independiente de la higrometría. Esto permite efectuar la distribución superficial en tiempo lluvioso sin interrumpir prácticamente la circulación.

La adhesividad del aglomerante es excelente con todos los materiales, cualquiera que sea su naturaleza (silíceo, calcáreo, sílico-calcáreo) o su forma (gravilla redonda o de trituración). Esta característica ofrece la posibilidad de emplear gravillas baratas, que son difícilmente utilizables con los aglomerantes habituales, y sin embargo, dotadas de buenas cualidades en carretera, tales como las gravillas silíceas en general.

Por este procedimiento, todos los betunes de carreteras pueden emulsionarse.

Las patentes francesas que se refieren a la fabricación de las emulsiones ácidas de betunes y de los aglomerantes hidrocarbonados, empiezan a ser cedidas a diferentes países extranjeros, y es evidente que este nuevo tipo de emulsión irá creciendo en los años venideros.

II. — LOS ALQUITRANES.

Como dijimos, el alquitrán es el primer aglomerante bituminoso que ha sido empleado para la construcción y el mantenimiento de las carreteras.

Su mayor cualidad radicaba en su rusticidad, en el sentido de que se acomodaba a toda clase de recebos, de condiciones de clima a menudo desfavorables y de una técnica de empleo empírica en su origen, sin comprometer la duración de los revestimientos.

La densidad del alquitrán está comprendida entre 1.1 y 1.2, lo que le diferencia del betún de densidad igual a la del agua. Esta divergencia hace evidentemente más delicada la fabricación de las emulsiones de alquitrán que las emulsiones de betún.

En cambio, respecto a la mezcla del aglomerante y el recebo, queda planteado el problema de saber en qué medida el juego aparente de los volúmenes, más que el de los pesos, ocasionará automáticamente, para

una misma eficacia, consumos de tonelaje de betún y de alquitrán en la relación de sus densidades.

Los alquitranes presentan una adhesividad notable hacia la mayoría de los materiales naturales y, especialmente, sobre materiales silíceos, a causa de los aceites ácidos que entran en su composición.

Además, las emulsiones de alquitrán son, *ipso facto*, emulsiones ácidas con todas las ventajas que llevan.

El alquitrán tiene una susceptibilidad un poco superior a la de otros aglomerantes, lo que lleva ventajas del punto de vista de la puesta en obra en caliente, pero inconvenientes a causa de una cierta rigidez en frío.

El alquitrán ofrece una buena resistencia a la acción de los aceites de petróleo, lo que aconseja emplearlo para revestimientos protectores de las superficies llamadas a recibir proyecciones accidentales de estos productos, especialmente en las pistas de aviación o en zonas de estacionamiento de aviones.

Existe un fenómeno que, aunque no es exclusivo del alquitrán, sino más o menos común a todos los aglomerantes, ve su nombre especialmente unido al del alquitrán: es el envejecimiento. Los técnicos del alquitrán son algo responsables de ello a causa de la publicidad que han dado a los estudios llevados a cabo a este efecto.

En realidad, más que de un envejecimiento se trata de un endurecimiento progresivo, y este fenómeno está íntimamente ligado con la composición orgánica del aglomerante.

El "envejecimiento" resulta del hecho de que ciertos compuestos de los aglomerantes tienen tendencia a evaporarse, otros a oxidarse o a polimerizarse, bajo la acción del aire y de las variaciones de la temperatura ambiente.

Así, pues, antes de que se pensara, como veremos más adelante, en mejorar los alquitranes por introducción de aceites antracénicos, era ya posible darse cuenta de que los alquitranes que contenían una fuerte proporción de éstos, eran susceptibles de mayor longevidad.

Por otra parte, y lo subraya el informe español del Congreso de Estambul, otros aglomerantes, de origen natural, pero que también resultan de operaciones susceptibles de transformar su naturaleza, parecen haber cambiado progresivamente de calidad desde hace unos veinte años, y los productos actuales de este tipo envejecen mucho más rápidamente que los antiguos.

Los laboratorios de la Industria del Alquitrán se han esforzado, tanto en Francia como en el extranjero, en estudiar a fondo el fenómeno, con el fin de conocer sus ventajas y sus inconvenientes y de orientar las fabricaciones para eliminar estos últimos y conservar, entre otras ventajas, las que puedan resultar de una oxidación calculada.

Esta oxidación del alquitrán constituye, en efecto, una ventaja desde ciertos puntos de vista. Gracias a

ella, las películas de alquitrán se cubren de una capa de materia inerte, que se opone al deslizamiento, en el caso de que se haya esparcido un exceso de aglomerante por la superficie de la calzada, hecho cuya importancia se conoce en lo que se refiere a la seguridad de la circulación en la carretera.

Los inconvenientes más claros que el envejecimiento puede presentar, y que tendrían por efecto

disminuir las cualidades intrínsecas de los alquitranes como aglomerantes, han conducido, sobre todo por la introducción de una gran proporción de aceite antracénico que se mantiene en su seno, a la obtención de alquitranes de gran duración.

Unos tests, que permitan caracterizar dichos alquitranes, han sido realizados, tanto en Francia como en Inglaterra y en Alemania, y conducen sensible-

CUADRO IV. — *Alquitranes. Antiguas especificaciones.*

CATEGORIAS	A	B	C	D	E
Viscosidad a 30° C., en segundos, con abertura Redwood	40/120 4 mm.	120/300 4 mm.	15/40 10 mm.	60/120 10 mm.	150/300 10 mm.
Agua	Máximo, 0.75 %.				
Densidad a 15° C.	Comprendida entre 1,120 y 1,260.				
Destilación:					
Antes de 170° C. (máximo)	1 % (no comprendida el agua).				
De 170 a 270° C. (máximo)	24 %		20 %		15 %
De 270 a 320° C. (máximo)			15 %		
Insoluble en el benzeno	Entre 5 y 22 % en peso.		Entre 8 y 25 % en peso.		
Proporción de naftalina	Menos de 6.5 % en peso.				
Productos absorbibles por la sosa	Menos de 5 % en volumen.				

CUADRO V. — *Alquitranes. Nuevas especificaciones.*

CATEGORIAS	1	2	3	4	5
Viscosidad a 30° C., en segundos, con abertura Redwood	40/120 4 mm.	120/300 4 mm.	15/40 10 mm.	60/120 10 mm.	150/300 10 mm.
Agua	Máximo, 0.5 % para todas las categorías.				
Densidad a 15° C.	Comprendida entre 1,120 y 1,260.				
Destilación:					
Antes de 170° C. (máximo)	1 %		0.5 %		
De 170 a 300° C. (máximo)	30 %	27 %		15 %	
De 300 a 360° C. (mínimo)	15 %	15 %	15 %	18 %	20 %
Proporción de brea a 72° KS (mínimo)	45 %	45 %	45 %	45 %	45 %
Idem id. (máximo)	55 %	58 %	61 %	64 %	67 %
T.R.S. después de 30 minutos (mínimo)	15° C.	15° C.	15° C.	15° C.	15° C.
T.R.S. después de 2 horas (máximo)	35° C.	35° C.	35° C.	38° C.	40° C.
	Con una tolerancia de 3°.				

mente a los mismos resultados. El *test* francés es el llamado de la temperatura de reblandecimiento superficial (T.R.S.), concebido por el Sr. Ingeniero Jefe Leroux, y que determina la duración del alquitrán en función del comportamiento a diferentes temperaturas de la película que se forma en su superficie bajo la acción de agentes externos.

La viscosidad es, quizá, la cualidad más espectacular y más inmediatamente sensible de todos los aglomerantes y especialmente del alquitrán. Es, en todo caso, la que condiciona la puesta en obra de los alquitranes muy viscosos, que exige, con las circulaciones intensas actuales, una adherencia lo más rápida posible de la gravilla al firme.

Para asegurar un buen reparto de dichos alquitranes, es necesario que su viscosidad sea provisionalmente reducida o neutralizada por su distribución:

Sea a una temperatura relativamente elevada, teniendo cuidado, sin embargo, de que el contacto con un firme demasiado frío no haga inoperante esta precaución.

Sea bajo la forma disfrazada de emulsiones, o de mezclas con aceites volátiles rápidamente eliminados.

Sin embargo, si el aumento de la viscosidad intrínseca de los aglomerantes se encuentra en la línea de los progresos de la moderna técnica de carreteras, el empleo de aglomerantes de alquitrán especialmente fluidos sigue imponiéndose, aunque no sea más que para las impregnaciones de recebos finos y compactos, que dejan en su interior huecos de pequeñas dimensiones.

Es para llenar toda la gama de viscosidades medidas que los alquitranes se fabrican actualmente de cinco clases diferentes, que van de:

- una viscosidad de 30 segundos, medida en el orificio de 1 mm.,
- a una viscosidad de 300 segundos, medida en el orificio de 10 mm.

Tal como se ve en los cuadros IV y V, que figuran en la página anterior, y que resumen las especificaciones oficiales de los alquitranes, la introducción de la acción del T.R.S. ha llevado, desde 1917, a la publicación para los alquitranes de las normas llamadas "Nuevas especificaciones", la cuales, para cada viscosidad presentan, al lado de cada uno de los tipos antiguos, un tipo nuevo caracterizado por su correspondencia con las exigencias de T.R.S.

En fin, diremos algunas palabras referentes a las mezclas *alquitrán-filler*: El procedimiento que consiste en la incorporación del filler al alquitrán ha tenido cierto auge en el curso de los últimos años, mejorando especialmente la susceptibilidad del alquitrán y oponiéndose a su envejecimiento.

Esta técnica tiende a disminuir de importancia con la utilización de los alquitranes T.R.S. y de los alquitranes viscosos.

III. — LAS MEZCLAS ALQUITRÁN-BETÚN Y BETÚN-ALQUITRÁN.

Ha parecido ventajoso fabricar aglomerantes mezclando alquitrán o alguno de sus componentes con betún. Las cualidades de dichos aglomerantes son las de los dos productos que lo componen. Ofrecen mejor resistencia al envejecimiento que algunos alquitranes y adhesividad superior a la de algunos cut-backs de origen puramente petrolífero.

Estos aglomerantes "alquitrán-betún", "betún-alquitrán" o "betún fluidificado con aceite de alquitrán", se han desarrollado mucho en estos últimos años, tanto para revestimientos superficiales como para la fabricación de aglomerados.

IV. — LOS ACTIVANTES.

La adhesividad es evidentemente la propiedad primordial del aglomerante en su comportamiento respecto al recebo que tiene que rodear.

Cuando dicha adhesividad se sabe que es insuficiente, puede mejorarse considerablemente, sobre todo en el caso de los betunes, por los *activadores de adhesividad*, cuya realización ha permitido reducir considerablemente los riesgos de accidentes.

La utilización del activador puede ser realizada de dos modos diferentes:

- por adhesión en el mismo aglomerante;
- por pulverización separada en la superficie del aglomerante y del recebo.

La mezcla del activador con el aglomerante reduce el equipo necesario y facilita la ejecución del activado; sin embargo, dicho método presenta innegables inconvenientes:

Las obras no tienen siempre el medio de realizar de modo económico la mezcla homogénea de una débil cantidad de activador con una gran cantidad de aglomerante.

Por otra parte, solamente la parte del activador presente en la interfase del aglomerante y del recebo, es realmente útil. Todo el activador incluido en la masa misma del aglomerante, queda sin efecto. En fin, el desplazamiento de las moléculas del activador en la interfase, por fenómenos de orientación molecular, se encuentra frenada por la viscosidad del aglomerante. Esta técnica necesita, pues, la introducción en el aglomerante de cantidades sobreaabundantes de activantes, siempre costosos.

Una mejora muy neta de la técnica del activado ha sido concebida por un nuevo procedimiento, realizado por una cooperación de los Laboratorios y de las Empresas franceses. Este procedimiento permite aplicar la totalidad del activante en el sitio exacto donde se debe manifestar su acción, es decir, en la interfase del aglomerante y de la gravilla.

El activador está, en este caso, generalmente diluido en un producto fluido, solvente del petróleo o

de la hulla, preferentemente en fase acuosa, lo que evita una fluidez inútil del aglomerante. Se pulveriza la solución activada sobre la superficie del aglomerante extendido sobre el firme, antes de poner la gravilla, o en la gravilla misma, antes de su distribución.

CUADRO VI.—Consumo de aglomerantes bituminosos para carreteras en Francia (en toneladas).

AÑOS	BETUNES		Alquitranes
	En todas sus formas	En emulsión	
1913	—	—	Menos de 3 000
1919	—	—	5,000
1922	—	—	30,000
1924	—	1,250	90,000
1928	94,000	40,000	239,000
1930	172,000	105,000	450,000
1932	213,000	145,000	520,000
1934	253,000	145,000	520,000
1936	316,000	155,000	519,000
1948	278,000	145,000	311,000
1950	387,000	195,000	315,000
1952	459,000	231,000	345,000
1954	648,000	273,000	366,000
1956	803,000	300,000	341,000

La utilización de algunos productos tensio-activos, que transforman en hidrofobia la hidrofilia de algunas gravillas, ha llevado a un nuevo perfeccionamiento de este método: la operación de activado de la gravilla puede hacerse directamente en cantera, después de la trituración.

Así es posible constituir silos importantes de gravilla hidrófoba antes del comienzo de las obras.

Antes de dejar el dominio de los aglomerantes, puede ser interesante subrayar, según el informe alemán en Estambul, relativo a los revestimientos superficiales, y muy especialmente al sellado de revestimientos abiertos, el procedimiento llamado "de mortero" bituminoso fluido o Schlämme, en el cual se obtiene, por medios puramente mecánicos y sin agente emulsivo, el equivalente de una emulsión bajo la forma de un mortero de arena fina y de filler que, mezclado con alquitrán o betún, forma una suspensión en el agua finamente dividida.

Al eliminar el agua, en parte por exudación, en parte por evaporación, el mortero se vuelve excesivamente duro.

Material francés de almacenamiento y distribución de los aglomerantes.

La amplitud de la red de carreteras revestidas en Francia, y las cantidades muy importantes de aglomerantes bituminosos que se utilizan cada año para su mantenimiento, y su extensión (del orden de más de un millón de toneladas, según las últimas evaluaciones), han llevado a los usuarios a prever instalaciones fijas o semifijas de almacenamiento y calentamiento de los aglomerantes, así como un parque muy importante de distribuidoras (parte estimada en más de un millar de vehículos de capacidades superiores a 4.000 litros).

Por lo que se refiere a las instalaciones fijas, su importancia es muy variable: yendo del cuadro de la subdivisión al cuadro departamental, sus capacidades de salida diaria varían de 40 a 150 toneladas.

Su abastecimiento se efectúa por vía férrea, y cada vez más por transporte de carretera, solución que elimina la necesidad de recalentamiento de las cisternas sobre vagones para permitir su trasiego, por llegar el producto a temperatura suficiente para asegurar su bombeo.

Los fluidos utilizados para calentar las calderas son, por orden decreciente de utilización:

- el vapor de agua saturado de 8 a 15 hpz;
- el aceite caliente;
- el aire caliente.

Estos centros de calentamiento están equipados con cubetas calefactoras, cuyas capacidades están en función de las distribuidoras y, muy a menudo, son múltiplo de la capacidad media de las distribuidoras a alimentar, de 5.000 a 20.000 litros.

Los centros modernos disponen de máquinas de bombeo, canalizaciones y grifería, provistas de camisas con circulación de vapor o de aceite caliente, que aseguran un perfecto funcionamiento del material con los aglomerantes más viscosos.

Obvio es decir que las calderas están equipadas con materiales completamente automáticos y el calentamiento se hace por medio de quemadores de fuel-oil.

Dada la posibilidad creciente diariamente de hacerse entregar los aglomerantes por grandes *containers* de carretera, de modo rápido y bastante flexible, a temperaturas ya sensibles (que corresponden al mínimo de bombeo), algunas obras pueden ser abastecidas por cisternas de almacenamiento semifijas, que se consideran más bien como "volantes" de productos listos para su empleo.

Estas cisternas, de capacidad variable, de 15.000 a 40.000 litros, montadas sobre remolques, disponen de grupos autónomos de bombeo y calentamiento. El dispositivo de calentamiento consiste, generalmente, en un tubo en forma de U, con quemadores de mazut o serpentines con circulación de aceite caliente, siendo la caldera de aceite independiente, o bien incorporada a la misma cisterna.

Por lo que se refiere a los materiales de distribución, creemos poder decir que Francia ha llegado a construir máquinas de clase internacional muy perfeccionadas, tanto desde el punto de vista de la calidad del material propiamente dicho, como desde el punto de vista de la calidad y precisión del trabajo ejecutado.

Estas máquinas se caracterizan esencialmente por:

Sus calderas para el aglomerante, aisladas térmicamente, de capacidad variable, de 4.000 a 12.000 litros, montadas sobre chasis automóbiles de la potencia conveniente.

Un dispositivo de calentamiento, eventual por quemador de mazut o por circulación de vapor, considerado, sobre todo, como auxilio.

Un dispositivo de alimentación de la barra de distribución:

- por bomba volumétrica, que establece una circulación continua para los productos calientes;
- por compresión del aglomerante en la cuba, para los productos fríos.

En el caso de alimentación por bomba volumétrica, ésta está movida: por motor auxiliar con caja de velocidad y contador de vueltas, que permite establecer y averiguar las velocidades de rotación de la bomba y, por consiguiente, su caudal, o se toma del movimiento del vehículo. En este caso, la bomba es de caudal variable y un sistema simple de cuadrante con cursor permite una regulación fácil para asegurar las dosificaciones pedidas en cada lugar.

Una barra de distribución, de la que dos tipos se construyen actualmente:

- la barra con pulverizadores múltiples, de circulación continua, toma de aire automática, variación de longitud de distribución en marcha;
- la barra "baja presión", tipo Leroux, telescópica, con variación de longitud de distribución continua durante la marcha.

Esta última máquina, muy precisa y original en su concepción, está casi exclusivamente reservada a los revestimientos generales que necesiten condiciones de limpieza y orden en el trabajo muy desarrolladas.

Tales aparatos, aparejados o abastecidos convenientemente, permiten revestir diariamente unos 50.000 m.² de calzada, en obras bien organizadas.

Como complemento de las distribuidoras, Francia construye gravadores mecánicos de gran rendimiento, de dos tipos:

- un aparato llamado "trasero de caja", fijado en la puerta trasera de la caja de camiones, es el modelo más corrientemente empleado y el más apreciado, por ser autónomo y muy flexible;

— un aparato independiente, enganchado y empujado por el camión, que vierte dentro de él, llamado extendidora.

Estos dos materiales, muy perfeccionados, dan completa satisfacción a los usuarios.

VII. — CAPAS SUPERIORES

1. Macadam y suelos de elementos finos.

Nos conformaremos con una ojeada muy rápida sobre:

- el macadam;
- los suelos de elementos finos;
- la comprobación de ciertos puntos de contacto y el recuerdo de soluciones intermedias entre estas dos técnicas.

Macadam.

El macadam está constituido, a grandes rasgos, por una capa de piedras duras, comprendidas generalmente entre 40 y 70 mm. de espesor uniforme, que no sobrepasan vez y media la dimensión de las más gruesas.

Dichas piedras están encajadas por compresión, llenándose después los vacíos con una materia de agregación:

- arcilla arenosa: es el macadam con agua;
- gravilla fijada por un aglomerante bituminoso: es el procedimiento de la semipenetración;
- materiales aglomerados de pequeña dimensión: es la percolación;
- mortero de cemento: es el macadam-mortero.

Precursor de los materiales aglomerados, el Tarmacadam se incluye, a veces, en el capítulo de los macadams.

Es inútil entrar en el detalle de las técnicas bien conocidas del *macadam con agua*, sino para subrayar, anticipándonos algo, que el revestimiento por encaje superficial constituye un problema diferente del revestimiento de los otros macadams, puesto que no se trata ni de impregnación, ni de interpenetración con un aglomerante ya existente en la masa, sino de un simple acoplamiento de un mosaico de piedras superficiales, razón por la cual la adhesividad del aglomerante juega un papel primordial.

Se observa también el paralelismo entre este macadam con agua francés y el que los americanos llaman *Wätterbound macadam*, que no difiere del otro sino por una granulometría un poco diferente (20-60 en vez de 40-70) y el empleo sistemático, como material de recho, de arena de trituración 0,5 ó 0,10, mientras la técnica francesa es más flexible y se remite, para la elección de esta materia de recho, a la experiencia de los constructores, proscribiendo, naturalmente, las materias muy arcillosas.

La penetración y la semipenetración, técnicas antes utilizadas paralelamente, pero de los cuales sólo la segunda se utiliza hoy ampliamente, se situaban en el orden lógico y cronológico de las operaciones, entre la confección de la capa superior, que perfeccionan, y la del revestimiento superficial, a nivel, por tanto, de esas "operaciones previas al revestimiento de segunda capa", de las cuales se hablará más adelante.

La penetración tenía por objeto reemplazar el material de recebo del macadam corriente por un aglomerante bituminoso, al mismo tiempo que las piedras estaban acopiadas por elementos de dimensión más pequeña que llenaban la casi totalidad de los vacíos de las capas de piedra, bajo el efecto de un apisonado en seco.

En la semipenetración, hoy casi únicamente practicada, y que conserva numerosos adeptos a pesar del desarrollo tomado en el curso de estos últimos años por los revestidos densos, la técnica del macadam con agua — incorporación de agua y relleno de los huecos con arenas de detritus de cantera o pequeñas gravillas — queda aplicada a la parte inferior, mientras la técnica de la penetración sólo interesa los huecos de la parte superior, los cuales se encuentran, por tanto, llenos de aglomerante.

Después de compactar las piedras con el cilindro, se extiende una capa de aglomerante seguida de una capa de gravilla mediana: nuevo apisonado y segunda capa de gravilla un poco más gruesa antes del revestimiento propiamente dicho. Las dosificaciones de cada extensión varían de una región a otra.

La emulsión juega un gran papel en las técnicas de penetración, aunque se utiliza también alouitrán y *cut-back*.

La emulsión aniónica o alcalina encuentra aquí su principal aplicación. Puede ser interesante utilizarla después de haber tratado el macadam con un activante.

La emulsión catiónica o ácida se utiliza principalmente en esta técnica durante la mala temporada, pues su rotura rápida e independiente de la higrometría le impide fluir bajo el macadam.

La *percolación* difiere de la semipenetración por la sustitución de gravillas aglomeradas por la mezcla *in situ* de la grava con el aglomerante.

Nada especial merece mencionarse sobre la técnica del *macadam-mortero*, técnica que participa, casi tanto del dominio de los firmes rígidos como de los firmes flexibles constituidos por los otros macadams.

El material de recebo se sustituye, en efecto, por un mortero de cemento, lo que puede dar una mejor resistencia al agua y hacer aconsejar su empleo en zonas especialmente húmedas.

Los fracasos que se pueden encontrar en la construcción de los macadams parecen tener principalmente las causas siguientes:

Preparación insuficiente de la explanación, exis-

tiendo una nivelación insuficiente o produciendo asientos ulteriores.

Deslavado del cimientó por el agua.

Segregación en la descarga de la piedra, de donde resultarán desigualdades y puntos débiles en el firme.

Exceso de arcilla en el material de recebo.

Fragilidad excesiva o heladidad de los materiales.

Apisonado irregular.

Puesta en obra prematura del material de recebo.

Suelos de elementos finos.

En cuanto se determina constituir las capas superiores con suelo de elementos finos, el problema que para un suelo de otro tipo es aumentar su resistencia a las cargas, es ante todo el de aumentar su estabilidad.

Esta mejora se obtiene incorporando mecánicamente, por mezcla al suelo dado, otro suelo que posea los elementos que le faltan al primero, o utilizando un aglomerante.

Se efectúa generalmente *in situ*, en el caso de una simple estabilización mecánica, con instalación móvil, cuando la estabilización utiliza un aglomerante o emulsiones.

Se debe hacer una distinción desde el punto de vista de la estabilización por los aglomerantes, entre:

Los suelos arcillosos coherentes, por el hecho de su composición y en los cuales el papel del aglomerante es menos aumentar la cohesión que reducir su susceptibilidad al agua, impermeabilizándolo.

Los suelos no coherentes, arenosos, los cuales, prácticamente exentos de arcilla, tienen que ser revestidos con un aglomerante bituminoso que aglomere los elementos del suelo.

Sin embargo, tanto en un caso como en otro, la superficie específica de los elementos es demasiado grande para que se pueda pensar en rodearlos en su totalidad de aglomerado, sin correr el riesgo de un exceso de este aglomerado, el cual, realizando una lubricación excesiva, perjudicaría la estabilidad.

No es este el caso de los materiales de dimensión bastante elevada, de superficie específica suficientemente débil y que serán tratados bajo la denominación de "materiales aglomerados".

Si el empleo de los suelos de elementos finos para las capas inferiores tiende a generalizarse, como se ha dicho antes, su utilización en capa superior es diferente, según que éstas estén revestidas, igual que el macadam, pero después de impregnación, o que, al contrario, como en el caso de caminos rurales, se renunciara a este revestimiento, aunque se deba remediar periódicamente las destrucciones superficiales y deformaciones mediante pasadas de niveladora.

Puntos de contacto entre los dos métodos del macadam y de los suelos de elementos finos.

La clara superioridad de los suelos continuos en capa inferior, que ha sido señalada más arriba, no se vuelve a encontrar tan nítida en la capa superior, para la cual el problema es mucho más complejo.

El macadam, sometido a menos variables que los firmes de elementos finos, resulta preferible si las condiciones locales permiten realizarlo sin gastos excesivos.

Los firmes de elementos finos tienen una ventaja económica si el material local que se puede utilizar es decididamente menos costoso que el que exigiría el macadam. Desde el punto de vista de la ejecución, las obras de importancia media son, quizá, las menos justificadas para dicha técnica, mientras que está particularmente indicada:

Para importantes obras que permitan la utilización del material especializado que se necesita especialmente para la estabilización de los suelos, más que para modestas obras de caminos rurales, donde el macadam no puede ser revestido y donde el mejor entretenimiento es perfilar con la niveladora.

Cuando un firme de elementos finos soporta un tráfico pesado, es indispensable, para conferirle una resistencia superficial al punzonamiento comparable con la de un macadam, protegerla con un revestimiento multicapa (el revestimiento multicapa no basta) o por una capa de aglomerados. Esta circunstancia debe tenerse en cuenta en la comparación de los precios de coste.

La comparación entre las dos técnicas del macadam y de los suelos de elementos finos, que se distinguen sobre todo por la naturaleza de la granulometría: discontinua en el primer caso, continua en el segundo, no podría ser mejor completada más que por el examen de dos técnicas especiales intermedias que constituyen:

El macadam de granulometría continua.

El "retread process".

En el *macadam de granulometría continua*, también llamado Trafficbound en Estados Unidos, el firme está constituido por un material compacto, cuyos elementos más gruesos están triturados, y de un grueso de 40 a 50 mm. Dicha técnica permite:

Emplear piedras un poco menos duras que las del macadam clásico.

Emplear algunos subproductos de cantera, que son inutilizables en la técnica tradicional (materiales por debajo de 20 mm.), cuando la piedra no es bastante dura para que sus productos puedan encontrar una salida en los revestimientos.

El "Retread process".

El juego, cuya acción a veces disimulada se conoce, de las fuerzas naturales hacia las obras humanas, incita en el caso especial de la carretera a tomar

en consideración las transformaciones que, produciéndose a la largo en la constitución del firme, modifican notablemente su estructura.

Es así como, cuando un macadam queda durante muchos años sometido a la circulación, el desgaste lo transforma poco a poco en un material de granulometría continua, y como la influencia de las cosas inanimadas no se ejerce siempre en el sentido de su "perversidad", ocurre a menudo que dicha granulometría se encuentre situada en el intervalo de los tipos de firmes de elementos finos.

De dicha comprobación ha nacido la idea de recuperar los elementos nuevos de este macadam, así transformado, para encontrar en ellos todos los de un firme compactado. Sin embargo, es poco corriente que la obra de la naturaleza alcance la perfección. Por esta razón, el cribado y aun la trituración de algunos elementos, puede imponerse para perfeccionarlo antes que la estabilización con aglomerantes bituminosos. Este es el "Retread process", cuyo desarrollo tiende a aumentar en las carreteras de importancia secundaria.

VIII. — CAPA SUPERIOR

II. MATERIALES AGLOMERADOS

Es seguramente inútil observar que cada vez que un aglomerante bituminoso interviene en la técnica de carreteras, los áridos con los cuales toma contacto se encuentran más o menos revestidos.

Si la expresión de *materiales aglomerados* se reserva, sin embargo, a los materiales de un grueso bastante notable, de los cuales vamos a hablar ahora, es porque es únicamente en su caso cuando, a causa de sus dimensiones, la superficie específica que ofrecen a un revestido completo es suficientemente débil para que se pueda, sin destruir la estabilidad por una lubricación excesiva, mezclar bastante aglomerante para realizar el verdadero "revestimiento" de cada grano por una película continua y obtener así una cohesión, para la cual es esencial la cohesión del aglomerante.

Se pueden calcular teóricamente los porcentajes de aglomerante a emplear en función de las dimensiones de la gravilla, arena o *filler*, y pueden variar de 3 a 10 por 100.

La proporción de aglomerante y la de *filler* están, además, relacionadas. La presencia de una cantidad moderada de *filler* es útil porque permite, sin riesgo de exceso, emplear una dosificación elevada que aumenta la cohesión y la impermeabilidad.

Además, la presencia del *filler* aumenta la compacidad y reduce la variación de la viscosidad del aglomerante con la temperatura.

Sin embargo, no hay que exagerar la cantidad de *filler*, lo que haría caer otra vez en el inconveniente de un exceso de aglomerante para asegurar un revestimiento integral.

Hay que utilizar un aglomerante viscoso, que no se seque rápidamente; dicha condición es tanto más importante cuanto mayor sea la densidad del agregado, pero es fácilmente obtenible gracias al hecho de que el envejecimiento es función, principalmente, de los contactos prolongados del aglomerante con el aire, los cuales son tanto menos de temer cuanto más cerrado está el revestimiento.

La distinción es ahora clásica entre:

Aglomerados cerrados u hormigones bituminosos, en los cuales el porcentaje de huecos no debe sobrepasar el 5 por 100.

Aglomerados densos o semiabiertos, con un porcentaje de huecos que puede llegar hasta 15 por 100.

Aglomerados abiertos, tales como tarmacadam y macadam bituminoso, constituidos especialmente por los aglomerados en frío, que pueden aceptar hasta un 20 por 100 de vacíos.

Esta clasificación se vuelve a encontrar en los recebos destinados a ser empleados en capas superficiales, cuya granulometría es, pues, exceptuando el coeficiente de reducción, homotética a la de los hormigones o aglomerados, estando sustituida la gravilla por arena, la arena por un *filler* o polvo de asfalto, el *filler* por cal, que en el caso del agregado bituminoso contribuye a mejorar la insuficiente adhesividad de la arena.

Anticipándonos un poco a la cuestión de los revestimientos, diremos que dichos agregados son:

El *sheet-asphalt*, que es un micro-hormigón-materia de lujo, muy empleado en Estados Unidos para las vías urbanas.

El *sand-asphalt*, que es un micro-aglomerado denso, muy empleado en las regiones pobres en piedras.

La dimensión media de estos últimos agregados es muy reducida en relación con la de los revestimientos más densos o abiertos, antes citados; la superficie específica crece en proporción también, y también crece la dosificación en aglomerante, que puede alcanzar cerca del 10 por 100 en el caso de *sand-asphalt*.

Hormigones bituminosos cerrados.

Estos hormigones serán, evidentemente, tanto más resistentes, tanto menos deformables, cuanto el índice de huecos del recho sea más próximo a la compacidad máxima, lo que lleva, generalmente, al empleo en proporciones exactas de cuatro tipos de materiales diferentes: gravillas gruesas, pequeñas gravillas, arena y *filler*.

El cálculo y la experiencia muestran que en estas condiciones sólo existe muy poco margen entre la cantidad mínima de aglomerante necesaria para obtener una cobertura perfecta de todas las superficies libres, y el máximo, apenas superior, que hay que introducir para llenar los vacíos de un árido muy compacto.

La confección de estos hormigones, sea en central fija, sea en instalaciones móviles desmontables y transportables, pero establecidas durante la ejecución de las obras en la proximidad de éstas, necesita una gran precisión en la trituración y la granulometría, una elección juiciosa de la calidad del aglomerante, de su viscosidad, y más aún, si es posible, de su dosificación.

Aunque las condiciones de éxito en la realización de hormigones bituminosos sean múltiples y las exigencias relativas al aglomerante constituyen solamente un elemento de éstas, los primeros éxitos de dicha técnica parecen haber podido obtenerse solamente con betunes en caliente.

Importantes progresos han sido hechos en esta materia, y, después de Inglaterra y Bélgica, Francia procede hoy a la realización de hormigones alquitranados técnicamente buenos, pero cuyo precio de coste queda todavía condicionado por el porcentaje de aglomerantes y de *filler* a introducir, así como por la naturaleza de dicho *filler*.

Revestidos densos o semiabiertos.

Proceden del mismo principio que los hormigones bituminosos, pero siendo más elevado el porcentaje de huecos, es más aceptable un margen más amplio de composición y tolerancias.

Los hormigones alquitranados que, al menos en estos últimos años, no habían podido alcanzar la perfección de los hormigones bituminosos, han sido a menudo clasificados por este hecho en la categoría de aglomerados densos.

En la fabricación de los aglomerados densos, se ha tratado de conciliar el mantenimiento de las cualidades de impermeabilidad y de resistencia al desgaste con un precio de coste menor, resultando, ante todo, de condiciones de ejecución menos severas.

Especialmente, este tipo de aglomerado sólo utiliza un único tipo de árido, o dos todo lo más, y no comporta generalmente modificación de la granulometría natural de dicho árido.

Es posible utilizar exclusivamente áridos localmente disponibles, y es precisamente de los esfuerzos emprendidos para generalizar la utilización en masa de dichos materiales locales en los aglomerados densos de los que ha nacido la controversia entre ingenieros y contratistas, cuyos ecos, sin duda, tardarán en apagarse.

De todos modos, el desarrollo de los aglomerados densos ha sido particularmente rápido durante estos últimos años. Su tonelaje era antes de 1952 extremadamente débil. Es en 1952 cuando, en el departamento del Haut-Rhin, ha empezado la técnica de fabricación de aglomerado en cantidad por una gran central, a base de un material local barato: 1954 ha visto el pleno desarrollo de esta técnica en Francia.

En 1950, el tonelaje para el conjunto del territorio ha sido de unas 1.800.000 toneladas.

Dado el volumen de las inversiones necesarias para esta técnica, no pueden obtenerse precios de coste satisfactorios, sino para programas anuales importantes y regulares, y en un cuadro de obras concentradas y bien organizadas. Se han obtenido resultados satisfactorios con instalaciones que en una campaña han fabricado más de 100.000 toneladas de aglomerados.

El revestimiento rápido de los aglomerados, la realización de su técnica para la cooperación de la Administración y de la Empresa constituye uno de los hechos notables del desarrollo de las carreteras en Francia en estos últimos años.

Aglomerados abiertos.

Si la frontera de las dos categorías precedentes es progresivamente cada vez más imprecisa, los aglomerados abiertos, al contrario, se distinguen netamente de la una y de la otra por la ausencia de finos, y la posibilidad de eliminación y evaporación del agua, lo que hace muy práctica la utilización de las emulsiones y de los aglomerantes complejos.

El peligro de un eventual pequeño exceso de aglomerantes es aquí mucho menos temible que en los aglomerantes cerrados o densos: hay aún que tener en cuenta, en la dosificación del aglomerante, la fracción suplementaria que será necesaria para revestir las nuevas superficies que el rozamiento producirá poco a poco.

Puede uno conformarse, para su fabricación y puesta en obra, con instalaciones aún menos exactas, y, por lo tanto, todavía más sencillas. No es necesario calentar la materia, de donde el nombre de *aglomerados en frío*, dado a menudo a los aglomerados abiertos, aun en el caso de tener que calentar el aglomerante utilizado.

La amplia presencia de huecos que producen la fricción, hace que los materiales deban ser duros: la permeabilidad al agua, característica de los revestimientos abiertos, impone el cierre con una capa de sellado.

Ocupando un lugar destacado en la categoría de los aglomerados abiertos, el *tarmacado* de escorias ha sido utilizado especialmente para la realización de circuitos de carreras automovilísticas, gracias a las cualidades de rugosidad y de ausencia total de deslizamiento, conferidas por el empleo simultáneo de la escoria y del alquitrán. Se ha podido así realizar en Francia un circuito, que ha sido nombrado como uno de los mejores de Europa, pues reúne a la vez un perfil excelente e impecables condiciones de seguridad.

Una de las *dificultades a vencer en la técnica del aglomerado* es la de impedir la reversibilidad.

Casi siempre es la presencia de agua la base de los fenómenos de desagregación. Para remediarlo debe preceder el calentamiento de los áridos hasta la sequedad.

Pero la presencia no contrarrestada del agua puede ser neutralizada por la elección de aglomerantes, cuya afinidad para el recebo sea suficiente: alquitranes o emulsiones ácidas para los materiales silíceos, por ejemplo, o por el empleo de activantes, los cuales, facilitando dicha adhesividad, se oponen a la desagregación, así como han facilitado el aglomerado.

La técnica del doble revestimiento comporta:

- un pre-revestimiento en capa delgada, con productos que aseguren la adhesividad, seguido de un segundo revestimiento, que reforzará la primera capa y ayudará al encolado de los granos entre sí.

Los materiales franceses aglomerados.

Los materiales aglomerados de producción francesa permiten, según su composición, realizar los aglomerados en frío o en caliente, utilizando el método continuo por dosificación volumétrica, o el método discontinuo, por dosificación ponderal.

Los dos procedimientos "aglomerados en frío o en caliente" difieren simplemente por el hecho de que para el segundo hay que hacer intervenir un sistema de secado del recebo inútil para el primer procedimiento.

El aglomerado en caliente es el más empleado: las instalaciones que afectan al aglomerado en frío son continuas o discontinuas, es decir, de cargas sucesivas:

Una instalación de aglomerado en caliente comprende:

- un distribuidor-dosificador;
- un tambor secador rotativo;
- un ciclón para quitar el polvo;
- un clasificador-dosificador;
- un mezclador.

La alimentación de agregados se hace según una dosificación volumétrica o ponderal. Ocurre lo mismo para la alimentación del mezclador en aglomerantes, que se efectúa, por dosificación volumétrica o por dosificación ponderal, según que se emplee el método continuo o el método discontinuo.

La bomba de alimentación del mezclador de aglomerantes está sincronizada con el alimentador, garantizando así el porcentaje aglomerante-materiales, cualquiera que sea la velocidad del generador.

Se ha previsto en los aparatos de dosificación de materiales un dispositivo para la adición de *filler*.

La gama de capacidades de producción de los materiales franceses de preparación de los materiales aglomerados va de 3/4 t. h. hasta 100/120 t. h., pasando por las capacidades siguientes: 5/6 t. h., 10/12 t. h., 15/18 t. h., 25/30 t. h., 50/60 t. h.

Algunos aparatos, generalmente a partir de una producción de 25/30 t. h., se presentan sobre chasis, separados, por una parte, el secador; por otra parte, el conjunto mezclador y alimentador.

Los materiales de 5/6 t. h. están destinados al pequeño entretenimiento.

Los materiales de 8/10 t. h. están destinados a las pequeñas obras.

Los materiales de 25/30 t. h. están destinados a las obras medianas.

Los materiales de 50/60 t. h.-80/100 t. h. están destinados a las obras importantes.

Desde algún tiempo, el procedimiento IMPACCT ha hecho su aparición en Francia: pone en juego una técnica nueva, por lo que se refiere al reparto del aglomerante en los agregados.

El equipo de puesta en obra de los materiales aglomerados y de los hormigones bituminosos, más o menos densos, necesitan una mecanización cada vez más importante.

Diferentes materiales de construcción francesa se producen a este propósito:

El espaciador regulador corresponde a los "sprader box" americanos. Este aparato, del tipo de patines, está alimentado por camiones de cubeta y hace intervenir una regla niveladora, regulable a lo ancho. Tiene una capacidad de distribución de 600 a 1.000 toneladas diarias. Este aparato existe en dos versiones, automotor o remolcado.

Se puede citar también un aparato perfilador, compuesto de dos partes unidas entre sí, tolva motriz rodando en el suelo y un chasis compactador-nivelador, rodando sobre raíles.

Esta máquina permite un rendimiento de 25 a 30 toneladas hora, según la granulometría empleada.

Un constructor francés ha realizado una máquina de menos peso, para la puesta en obra de los aglomerados, fácilmente desplazable de una obra a otra: los aglomerados en caliente o fríos se vierten desde los camiones-cubetas sobre el firme delante del acabador; gracias al mando de las orugas la máquina empuja delante de ella al montón de aglomerados y una regla vibradora distribuye y compacta los aglomerados. El ancho de la capa es regulable; su máximo es de 2.050 mm. Su capacidad de trabajo es de 8 a 30 t. h., según el espesor de la capa.

Otra máquina francesa "distribuidor-perfilador", se compone de un conjunto tractor-distribuidor y de un conjunto regulador-compactador, montado sobre un chasis indeformable sobre cuatro ruedas motrices, provistas de neumáticas.

Esta máquina permite la confección de capas hasta de 3 m. de ancho y con un suplemento hasta 3,50 m. y 4 m. Puede alcanzar un rendimiento diario de 800 toneladas.

IX. REVESTIMIENTOS SUPERFICIALES

Revestimientos superficiales propiamente dichos.

Las revestimientos superficiales propiamente dichos constituyen la última fase de las operaciones de construcción de los firmes flexibles, constituidos por un macadam, o por un suelo de elementos finos. También se ha procedido normalmente hasta estos últimos años, por medio de dichos revestimientos, a las operaciones de mantenimiento de las calzadas.

Estos revestimientos siguen siendo muy apreciados en Francia para estos usos, a pesar del desarrollo de los materiales aglomerados en capa de superficie, que, según algunos, permiten una mayor regularidad de la capa de soldadura.

El revestimiento superficial es precedido frecuentemente, en la construcción de los firmes nuevos, de una "primera capa". Por eso, dicho revestimiento se llama a veces "de segunda capa", aunque esté constituido a menudo por mono o multi-capas.

Esta semejanza de términos justifican el interés que existe por una buena codificación de la terminología.

A. OPERACIONES PREVIAS AL REVESTIMIENTO SUPERFICIAL.

El revestimiento propiamente dicho debe ser precedido:

Sobre el macadam, de una operación especial llamada *revestimiento en primera capa* (en oposición, como se ha dicho antes, con el revestimiento final o de segunda capa).

Esta primera capa se ejecuta con un aglomerante fluido, que a la vez adhiere las partes de piedras limpias por barrido y es susceptible de impregnar el material de relleno que ocupa las juntas.

Sobre los firmes de elementos finos, una *impregnación*, revestimiento que consiste en la extensión del aglomerante, generalmente fluido, sobre el firme, para estabilizar los elementos superficiales, empapar una masa ya coherente, aumentando en cierta proporción su cohesión, logrando también su impermeabilidad, y preparando igualmente la unión con las capas superiores.

Impregnación. — Empleo del alquitrán. — A pesar del orden alfabético señalado antes, hablaremos primero del alquitrán, pues cronológicamente, y durante muchos años, la impregnación constituía un coto privado para el alquitrán, único producto suficientemente fluido en esa época para dar en condiciones normales de explotación resultados satisfactorios.

Además, el alquitrán se presta especialmente a este uso porque se adhiere al suelo aunque esté mojado.

Se han realizado con éxito impregnaciones sobre firmes compactados y embebidos en agua, no debiendo el aglomerante tener en este caso una excesiva fluidez, ya que se haría muy difícil la unión con las capas superiores, y que el alquitrán debe ser bastante viscoso para penetrar lentamente en el interior del firme y poder ayudar a la unión de las capas.

Alquitranes especiales de impregnación se han realizado con solventes poco volátiles para su utilización sobre firmes que contienen finos arcillosos; dichos aglomerantes han permitido impregnar verdaderos caminos de tierra.

La emulsión de alquitrán, cuyo empleo no se ha desarrollado todavía en Francia, presentaría, lo mismo que la emulsión de betún, la interesante ventaja de retrasar convenientemente la solidificación del aglomerante, la cual, evidentemente, estorbia su penetración.

Empleo de los productos bituminosos. — Tratándose necesariamente de un aglomerante fluido, no se puede prácticamente emplear el betún puro, y antes de la introducción de los *cut-backs* únicamente la emulsión de betún fué empleada en competencia con el alquitrán.

Las emulsiones alcalinas superestabilizadas han dado especialmente buenos resultados.

Las emulsiones ácidas tienen éxito, sobre todo, en el caso, ya señalado para el alquitrán, de superficies a tratar embebidas de agua.

Debe elegirse el aglomerante base de la emulsión según la textura de la calzada, con una viscosidad variable, según se trate de una superficie cerrada o porosa.

Se diluye la emulsión en agua, lo que evita la formación de una película de aglomerante en la superficie, que se rompe al contacto con los áridos. La impregnación se produce, pues, por desplazamiento del agua en beneficio del aglomerante y prosigue después de la evaporación del agua, gracias a la débil viscosidad del aglomerante base.

Por este procedimiento la profundidad de impregnación alcanzada es siempre notable, y esto se nota particularmente en los firmes muy húmedos.

El desarrollo de los *cut-backs* como aglomerantes de impregnación data del fin de la guerra, época en la cual una mayor flexibilidad de las especificaciones aduaneras ha permitido a las refinerías producir *cut-backs* fluidos, de viscosidad inferior a 20.

Actualmente se utilizan generalmente *cut-backs* 0/1 para firmes muy cerrados con material de recebo arcilloso, ó 10/15 para los firmes medianamente cerrados con material de recebo silíceo. Ciertas impregnaciones de firmes muy porosos han sido realizadas con éxito con *cut-backs* 50/100.

Primera observación. — Utilizando ambas técnicas aglomerantes y gravillas en cantidad relativamente débil, las operaciones previas al establecimiento del revestimiento superficial así definidas análogas

ha orientado a pensar en crear de un golpe un "tapiz", fundiendo las dos operaciones en una sola:

Impregnación sobre macadam y revestimiento superficial.

Primera capa sobre elementos finos y revestimiento superficial.

Pero los resultados de esta fusión, o más bien confusión, de las dos técnicas generalmente no son satisfactorias, pues los dos objetivos a alcanzar son muy diferentes.

La operación previa no puede, en efecto, llevar al establecimiento de una verdadera capa, debido a:

a) La naturaleza del aglomerante utilizado:

— el cual, para la primera capa, estando destinado a penetrar en el firme, debe quedar fluido durante cierto tiempo;

— mientras que dicho aglomerante no agarre bien la gravilla en la superficie.

b) La naturaleza de la gravilla o arena gruesa puesta en obra:

— que se extiende (con exclusión de la arena fina, que absorberá el aglomerante) para proteger dicho aglomerante y, además, solamente en dos casos:

— cuando no se puede interrumpir una circulación muy intensa;

— cuando la construcción de la segunda capa se traslada al año siguiente;

— pero que no conviene a la constitución de un tapiz resistente.

Segunda observación. — *Caso excepcional: ausencia de segunda capa.* — Antes de examinar más detenidamente las segundas capas, diremos una palabra del caso en que no se hacen.

Es el de algunas carreteras secundarias, de materiales finos y granulometría continua:

— en las que se admite algo de barro en invierno y polvo en verano;

— y a las que se prefiere repertilar, cuando sea necesario, antes que revestirlas (después de impregnación).

Esta solución de repertilarlas no debe ser considerada únicamente como un sistema de cubrir faltas. Está, al contrario, considerada por algunos como la única válida para caminos rurales sobre los cuales la impregnación que debería preceder el segundo revestimiento parece:

— no solamente como superficie;

— sino, llegado el caso, aún nociva si ha de impedir una evaporación indispensable.

Este punto de vista es especialmente interesante para el clima de las costas francesas y quizá españolas del Mediterráneo, en donde, manteniendo la evaporación casi constante el nivel de la franja capilar bajo la capa de rodadura, y conservando en ésta una cohesión suficiente, el revestimiento superficial y aun la simple impregnación, que se opondrían a los

beneficios de la evaporación, aparecen como especialmente contraindicados.

El riesgo de una desagregación superficial — que se podrá remediar con un entretenimiento periódico y rápido: por el paso de una niveladora que extienda los productos desagregados — será menos grave que el peligro de deformación y de inestabilidad permanentes del firme bajo el peligroso refugio de un revestimiento impermeable.

Hay que observar además que durante el periodo de invierno, cuando el firme es más sensible a la acción de las aguas subterráneas o de infiltración, los estragos estarán reducidos al mínimo a causa de la disminución de la circulación.

B. — REVESTIMIENTOS SUPERFICIALES PROPIAMENTE DICHOS, O SEGUNDA CAPA.

Se obtienen por extensión de una o varias capas de aglomerantes bituminosos, recubriendo o no cada capa por un recebo mineral constituido:

- por elementos finos;
- por arena;
- por gravilla de dimensiones variables, de un grueso adaptado a la circulación, pasando, sin embargo, raras veces de 30 mm.

Precedidas de un barrido para limpieza y supresión de los cuerpos extraños, las operaciones están seguidas de un apisonado destinado no a aplastar los materiales, sino a colocarlos en su sitio, y que debe realizarse, por lo tanto, con un cilindro ligero, salvo en el caso de materiales duros.

Las capas, como hemos dicho, pueden ser monocapa o multicapa. En el caso de revestimientos monocapa, se distinguen dos tipos, según que la gravilla se una al aglomerante sólo por su base o se incorpore totalmente a él:

- el revestimiento mosaico monocapa;
- el revestimiento tipo mortero.

Revestimiento superficial mosaico monocapa.

Se compone esencialmente de un lecho de un solo espesor de gravilla sujeta al firme subyacente de modo resistente y permanente por intermedio de una película de aglomerante; las gravas están apretadas y apoyadas fuertemente unas contra otras, sin superponerse, dibujando una especie de microenlosado o de mosaico, que cuando está nuevo posee un marcado relieve.

Revestimientos tipo mortero. — Están compuestos de un recebo, cuyos elementos tienen una dimensión comparable con el espesor de la capa del aglomerante extendido, espesor que excede raramente de 2 mm.

En la puesta en obra, la mayor parte del recebo (de estos revestimientos), arena fina o alquitrán, está sumergida en el aglomerante.

Este incorpora poco a poco, bajo el efecto de la circulación, el resto del recebo, como absorberá des-

pues ciertas cantidades extendidas con posterioridad.

Cuando se ha completado el proceso, se forma una pasta solidificada, especie de mortero bituminoso, que constituye la capa protectora del firme tratado.

Los alquitranes a base de elementos finos, los revestimientos arenosos de *cut-back* y de emulsiones de betún representan tipos clásicos de revestimientos tipo mortero.

Un caso especial de dichos revestimientos, que forman transición entre:

— revestimiento mosaico monocapa;

— revestimiento tipo mortero;

es el de las *capas de sellado*, con la misión bien diferente de lograr la impermeabilización de la superficie de un revestimiento aglomerado bituminoso; se compone de una capa de aglomerante de muy poco espesor espolvoreada con elementos finos en cantidad conveniente.

Se emplean también aglomerantes bituminosos y alquitranados en la confección de los revestimientos superficiales; su éxito depende, entre otros factores, del cuidado de la ejecución, de la época de su confección y de la afinidad recíproca del aglomerante y del recebo utilizados.

Empleo del betún. — El *cut-back* 120/250 y la emulsión de betún de rotura rápida constituyen los aglomerantes bituminosos más empleados. Sin embargo, en periodo caliente el *cut-back* 400/600 marca un claro desarrollo, especialmente cuando se extiende sobre ciertos itinerarios importantes.

La emulsión ácida se ha aplicado a principios de la última temporada, principalmente en las regiones húmedas o cuando la adhesividad de las gravillas utilizadas es insuficiente con el aglomerante clásico; en esta utilización encuentra sus principal aplicación.

En Francia, en las regiones de mucho sol y que disponen de materiales calcáreos, la emulsión alcalina es muy utilizada, durante el buen tiempo, para los revestimientos superficiales. No entraremos en detalles de las aplicaciones, pero sí indicaremos que dichos revestimientos se hacen indistintamente en monocapa o en multicapa.

En el dominio de los tratamientos superficiales, el empleo principal de la emulsión alcalina se encuentra en las reparaciones de carreteras (esto en todas las regiones de Francia).

Empleo del alquitrán. — Se utiliza, en los periodos relativamente fríos, un alquitrán de una viscosidad de 15/40 sg. (BRTA — 10 mm.). Con buen tiempo se pasa al 60/120 o aun a la categoría 150/300, especialmente en las carreteras de más circulación.

El alquitrán no es fácilmente deslavado por la lluvia cuando ocurre una tormenta a continuación de su aplicación, y no necesita, generalmente, el empleo de activantes, a menos que las gravillas estén muy sucias y posean mala adhesividad.

Las mezclas betún-alquitrán o betunes fluidificados con aceites de alquitrán se emplean también muy a menudo para aplicaciones superficiales. Añaden las cualidades de longevidad del betún a las de adhesividad que le son conferidas por los componentes del alquitrán.

Los aglomerantes densos en capa de superficie.

La competencia técnica industrial y económica entre los revestimientos superficiales y el empleo en capa de superficie de los materiales aglomerados en la forma de aglomerados densos es una cuestión tan actual, en Francia al menos, que, aunque haya sido ya mencionada en el capítulo IV al comparar los materiales de cantera con los materiales naturales, y en el capítulo VIII a propósito de los materiales aglomerados, hablaremos de nuevo un poco de ella.

Ha sido primeramente en los grandes itinerarios, en donde la circulación automóvil crece cada año en volumen, en peso y en velocidad, en donde algunos, basándose en la necesidad de añadir la seguridad y comodidad de un buen perfil a la capacidad resistente, han pensado utilizar las indiscutibles cualidades de los materiales aglomerados para evitar algunos inconvenientes de los revestimientos superficiales, tales como proyección de la gravilla o, al contrario, la resudación del producto bituminoso, que serían producidas por una dosificación inexacta del aglomerante.

Se menciona también el hecho de que el repavimentado general que exige a menudo la carretera puede ser ejecutado en buenas condiciones con facilidad y, según dicen los promotores, más eficazmente con los aglomerados que con un revestimiento, aunque sea multicapa.

Desde el punto de vista económico, es evidente que el coste de los aglomerados en capa de superficie es más elevado, pero la menor frecuencia de su renovación (en la hipótesis de una vida de diez años por lo menos) debe compensar ampliamente la diferencia.

Aun reconociendo una tendencia bastante definida al empleo de los materiales aglomerados para las circulaciones muy intensas, hay que hacer notar que los dos procedimientos conservan sus defensores.

Debido a la diversidad de casos posibles, es menos por la aplicación de la técnica de los aglomerados densos que por la elección de materiales locales para su constitución, hacia la cual algunos se dirigieron sistemáticamente, por lo que han surgido las más serias controversias.

En efecto, mientras materiales de origen granítico o porfídico, así como los calcáreos muy duros, que tienen una excelente curva granulométrica, pueden permitir confeccionar aglomerados densos que se comporten bien aun con una circulación pesada e intensa, sin que en este caso sea necesario protegerlos por un revestimiento superficial, lo que contribuye

ampliamente a la economía del procedimiento, por el contrario, aun sin considerar las otras cualidades, se corre el riesgo de no alcanzar una resistencia suficiente al desgaste con los materiales locales corrientes, lo que obliga a revestirlos con una materia de cantera de primera calidad.

El repavimentado. — Antes de abandonar el tema de las capas de superficie para emprender un examen rápido de las carreteras de hormigón hidráulico y de los adoquinados, los cuales, salvo casos excepcionales, no utilizan cemento, está indicado volver sobre una técnica especial para el arreglo de las carreteras usadas, la cual, si algunos informes son exactos, se practica muy poco en España y podría por este motivo interesar a alguno de nuestros amigos: se trata del repavimentado antes del revestimiento, operación de la cual ya hemos hablado cuando tratamos el problema de las carreteras secundarias, que, por el contrario, se dispensaban de revestir.

Los revestimientos superficiales y las capas delgadas de aglomerados densos actuarán mejor si han sido colocados sobre una superficie más lisa y estable. Uno de los factores de dicha estabilidad es también la horizontalidad de la superficie, dado que la convexidad somete, evidentemente, la carretera a unos esfuerzos desiguales, en los que también los vehículos toman parte, lo que compromete su seguridad.

Para restablecer esta horizontalidad se procede al establecimiento de una capa intermedia que se extiende hasta cerca de 1 m. del eje, y cuyo espesor debe también ser evidentemente mayor en los extremos de la carretera que cerca del eje. Esta capa comprende, evidentemente, las zonas de ensanchamiento que se han podido reservar antes del arreglo de la carretera, siempre que se quiera aumentar el ancho de la vía puesta a disposición de la circulación.

X. HORMIGONES DE CEMENTO Y ENLOSADOS

Carreteras de hormigón de cemento.

Las carreteras de hormigón de cemento se han desarrollado primeramente, en Francia, en el Norte y en el Paso de Calais (para reemplazar antiguas carreteras enlosadas), en Isère, Ille y Vilaine, Eure y Loir, Seine y Oise, sobre carreteras nacionales generalmente y también en parte sobre caminos departamentales.

La primera autopista francesa, por su fecha de ejecución y la importancia de su circulación, la autopista del Oeste de París, está revestida con hormigón de cemento, y en ella la última sección (ramal Sur) ha sido abierta al tráfico en julio de 1950. Sin embargo, en estos últimos años, por no existir un programa importante de autopistas donde podrían encontrar especialmente su empleo, las carreteras de

hormigón de cemento han tenido sólo un débil desarrollo (unos 30 Km. de firmes nuevos de 1953 a 1955, la mayor parte en Isère).

Por el contrario, en lo que se refiere a pistas de aviación, los revestimientos de hormigón de cemento han tenido el papel principal en los importantes programas realizados, tanto para los aeropuertos civiles como para los aeródromos militares (para el Ejército francés o para la NATO) y la superficie realizada ha sobrepasado la cifra considerable de 13 millones de metros cuadrados desde 1950.

La importante experiencia adquirida así por los servicios en materia de revestimientos hidráulicos ha llevado a la revisión o la precisión en ciertos conceptos y de las normas anteriores, tanto por lo que se refiere a la comprobación de los proyectos como a los métodos de ejecución.

Comprobación de los proyectos.— El cálculo de los firmes rígidos ha dado lugar a muy interesantes estudios, tanto matemáticos como a experiencias en el laboratorio. La dificultad de sacar conclusiones definitivas de dicho estudios proviene de la dificultad de establecer hipótesis exactas sobre la elasticidad de los suelos de cimiento, y el campo de las experiencias queda todavía ampliamente abierto. De hecho, el método de Westergaard, a pesar de las críticas teóricas a que se presta, da resultados que no han sido desmentidos por la experiencia y queda pendiente de las determinaciones prácticas del espesor.

Las importantes experiencias efectuadas en el aeropuerto de París sobre losas de hormigón, de tamaño verdadero, para determinar los efectos de la aplicación repetida de las cargas, han dado resultados extremadamente importantes. Han demostrado especialmente que no se puede determinar el desgaste de un firme ni su duración probable en función del tonelaje total que tendrá que soportar, pues los efectos de una misma carga para el desgaste del firme son completamente diferentes según que la aplicación esté concentrada en algunas cargas unitarias muy importantes o, al contrario, repartida en un gran número de cargas ligeras. Las ruedas muy pesadas sólo influyen para la ruina del firme, y las curvas experimentales obtenidas han mostrado la posibilidad, efectuando un pequeño número de aplicaciones de fuertes cargas llegando hasta la rotura, de determinar la carga límite que el revestimiento podrá prácticamente soportar indefinidamente.

Por otra parte, la experiencia ha mostrado la necesidad de aprovechar en los firmes de hormigón hidráulico los progresos obtenidos en el estudio de los cimientos de carretera. Una compactación conveniente, una o varias subcapas bien estudiadas, la protección contra las llegadas accidentales de agua, permiten evitar los inconvenientes que se han producido sobre ciertos revestimientos: la subpaca puede simplificar la ejecución de las juntas (supresión de las sub-losas de las clavijas).

Ejecución de las obras.— A consecuencia de las importantes obras ejecutadas para las pistas de aviación, una Comisión ha sido encargada de estudiar las modificaciones que habría que hacer en las especificaciones para revestimientos de hormigón; dicha Comisión ha procedido a una amplia encuesta sobre los resultados obtenidos.

Acaba de depositar sus conclusiones, y se deben señalar especialmente las proposiciones formuladas en lo que se refiere a la composición y al control de los hormigones y a la disposición de las juntas.

Para el hormigón las reglas anteriores imponían la constitución de hormigones de muy débil proporción de agua, exigiendo un ajuste muy enérgico para su colocación. Por otra parte, el control de la calidad del hormigón se efectuaba midiendo la compacidad de muestras de perforación tomadas en el firme, y la comparación de la compacidad realizada con la compacidad teórica óptima calculada con relación a la densidad de los materiales daba lugar a la aplicación de primas o penalidades.

Se ha comprobado que la fórmula empleada para la proporción de agua presentaba serios inconvenientes: tenía, ante todo, el inconveniente de no definir la proporción de agua sino en la hormigonera — mientras la proporción que interesa es la del hormigón en el momento de la vibración —. Además, la superioridad teórica de resistencia que se esperaba de hormigones tan secos corría el peligro de no ser obtenida en la práctica a causa de las dificultades de puesta en obra, y la falta de manejabilidad del hormigón ocasionaba grandes dificultades para la ejecución de las juntas y el pulimento de la superficie.

Las nuevas especificaciones propuestas por la Comisión comprenden, pues, hormigones con una proporción de agua más elevada. Prevén también ciertas modalidades del control de la calidad del hormigón que llevan a resultados más exactos y más equitativos para el contratista que los antiguos.

Para las juntas, las condiciones de ejecución han sido fijadas detalladamente por una instrucción ministerial de 1955, y dichas prescripciones siguen vigentes.

Pero quedaban en suspenso cierto número de puntos, siendo el más importante el de la distancia a adoptar entre juntas de dilatación. Finalmente, se ha estimado posible aconsejar la supresión, sin más, de las juntas de dilatación en secciones normales de carreteras de hormigón. Esta conclusión está en armonía con las últimas normas empleadas en la mayoría de los Estados americanos y los resultados obtenidos en varias obras extranjeras.

La distancia aconsejada para las juntas de tracción queda fijada a 5 y 7 m. Para su realización, la técnica del serrado de las juntas se muestra muy interesante; una profundidad de 4 a 5 cm. en el corte parece suficiente.

Revestimiento de hormigón pretensado. — Ha nacido en Francia una técnica que permite suprimir las juntas, que constituyen el punto débil de los revestimientos de hormigón: es la de los firmes de hormigón pretensado.

Una primera aplicación del pretensado a las obras había sido hecha en 1947 sobre 400 m. de pista en el aeropuerto de Orly; la puesta en tensión de un mosaico de losas de 1 m. de lado y 1,6 de espesor se realizó con la ayuda de un cable colocado transversalmente a la pista, con indicaciones alternativas de 45°. Los resultados obtenidos han sido muy satisfactorios y la pista resiste perfectamente, pero el precio de coste es bastante más elevado que con los dispositivos tradicionales.

Después de prolongados estudios, la aplicación del pretensado ha sido realizada por M. Freyssinet y los centros de investigación, de tal modo que su precio de coste puede competir con los dispositivos usuales. La colocación del hormigón tendrá lugar, ya no por losas, sino por aplicación directa con las máquinas vibroterminadoras de los revestimientos habituales.

El pretensado transversal se obtiene por cables de acero colocados en envoltentes preparados de antemano, y se ponen en tensión después del hormigonado, tomando un punto de apoyo sobre el corte lateral de la pista.

Para el pretensado longitudinal se emplean baterías de gatos planos transversales, colocados en juntas (llamadas juntas activas) distanciadas unos 100 metros, a medida que avanza el hormigonado; las reacciones de extremidad se obtienen por medio de estribos elásticos.

Cada junta activa recibe un bloque de gatos, constituido por varios gatos-saco paralelos. El papel de los gatos es únicamente el de crear las tensiones iniciales; una vez efectuada la regulación de las compresiones, se bloquean con mortero de cemento.

Los estribos están formados por una lámina de hormigón del mismo ancho que la pista, de forma cilíndrica, con generatrices horizontales, inmovilizadas por el roce en el suelo natural gracias a la sobrecarga de terraplén que soporta. Esta lámina de hormigón está provista de los planos verticales paralelos al eje de la vía de envoltentes distanciadas 0,50 m., formadas por tubos metálicos, en los cuales se colocan cables anclados a la parte baja del estribo, pero que puedan deslizarse libremente en los tubos.

En la parte alta estos cables salen de los estribos y están agarrados por los conos de anclaje acostumbrados en la pieza de extremidad de la losa de revestimiento.

La compresión longitudinal se hace en varias partes, por puesta en tensión de los cables de los estribos, por una parte, y por el aumento progresivo de presión de los gatos, por otra. Las operaciones de

regulación deben ser minuciosamente estudiadas y controladas.

Este procedimiento, después de una aplicación experimental sobre una pista de rodadura de 500 m. de largo en el aeropuerto de Orly, ha sido utilizado para la realización de la pista de 2.430 m. de largo y de 60 m. de ancho (así como de la pista de rodadura paralela de 25 m. de ancho) del aeropuerto de *Alger-Maison Blanche*.

Dichas aplicaciones han tenido un éxito muy notable, que permite vislumbrar un porvenir considerable para el desarrollo de este procedimiento.

Su extensión a los firmes de carreteras ha dado lugar a una prueba interesante sobre un tramo de la carretera nacional número 13 de *Bourg a Lyon*. Pero como las cargas para las cuales el revestimiento debe ser calculado son muy inferiores a las de las pistas de aeropuertos, la disminución posible del espesor es menor y compensa más difícilmente las inversiones que resulten de los dispositivos de puesta en tensión; el débil espesor plantea también por sí mismo ciertos problemas de realización. Se prevén nuevas pruebas para el estudio de estas cuestiones.

Máquinas destinadas a la construcción de las pistas y de las carreteras de hormigón. — Las importantes obras de construcción de pistas de aviación, de hormigón, que han sido emprendidas en el curso de estos últimos años han favorecido el desarrollo de máquinas vibroterminadoras para la aplicación de los revestimientos de hormigón.

Varias máquinas han sido construidas en Francia.

Una de ellas se basa sobre la técnica de la vibración interna del hormigón. Se compone esencialmente de una tolva receptora que asegure en todo el ancho de la losa a ejecutar la repartición del hormigón vibrado en la masa por peines vibrantes de agujas horizontales; la terminación está asegurada por una maestra vibrante instalada en la parte trasera de la máquina. Espesor del revestimiento realizable: 18 a 40 cm.; velocidad de desplazamiento: 1 m. por minuto.

Otro constructor ha realizado una máquina que utiliza un procedimiento interesante de vibración por vibrorreacción. Dicha máquina lleva un regulador de hormigón de movimiento alternativo.

Una maestra vibrante a reacción.

Una maestra de pulimentación, animada de un movimiento alternativo y de un movimiento oscilatorio horizontal.

Esta máquina puede compactar espesores de hormigón de 25 cm. en una sola pasada, con una velocidad de avance de 1 m. por minuto.

La industria francesa fabrica también cuchillos vibrantes, que son unas láminas vibrantes que cortan el revestimiento de hormigón hasta espesores que alcanzan 30 cm.

La carretera, ya sea de hormigón o de material negro, lleva corrientemente bordillos de hormigón.

Se fabrican sobre mesas vibrantes, en moldes de desmoldeo inmediato.

Señalemos, por último, una máquina interesante para la alimentación de hormigón a las vibradoras terminadoras de carreteras. Se trata de hormigoneras sobre orugas, de una capacidad de mezcla de 1.800 l., con un brazo orientable, con cubeta que se abre y permite verter el hormigón en el sitio donde debe ser aplicado.

El adoquinado.

Los adoquinados, a los cuales se consagran solamente unas páginas en los diversos cursos de carreteras, constituyen una técnica muy antigua, la única conveniente en esa época para las calzadas de circulación intensa y pesada.

Hoy, aunque los firmes modernos, especialmente los de hormigón, puedan prestar los mismos servicios, se prefiere el adoquinado cuando hay que prever obras de frecuente inspección, que pueden consistir en la sustitución de canalizaciones subterráneas y que obligarían a demoler irreparablemente un firme constituido según otro sistema.

La técnica de los adoquines tallados a mano resulta muy costosa y ha sido, como se sabe, rejuvenecida por la introducción del "empedrado", que cuesta 30 por 100 menos y da una superficie más lisa.

El *empedrado mosaico* está formado por losas sensiblemente cúbicas y pueden ser fabricadas directamente a máquina o por corte de adoquines usados. Se colocan en filas circulares, que se apoyan sobre los bordillos longitudinales.

Algunos han pensado que igual que las tazas para los zurdos tienen, como se sabe, el asa a la izquierda, las filas circulares de losas, al ofrecer su convexidad en el sentido de la circulación, añaden un efecto de bóveda a la resistencia propia de la losa; pero no hace falta subrayar que si dicha explicación no fuese una fantasía, no valdría sino para las vías inclinadas y con sentido único descendente.

Otros materiales de enlosado, tales como los ladrillos, se emplean poco, salvo que su precio de coste sea muy bajo, resultado de una producción local, pues son vulnerables al tráfico pesado.

El empleo de materiales especiales, como las losas de asfalto o de caucho, así como las formas distintas de la forma rectangular, especialmente la hexagonal, constituye obras excepcionales que se refieren más al revestimiento propiamente dicho.

Se debe hacer mención de los enlosados de fundición, que no han pasado de la etapa de las pruebas, así como de las *losas de madera* que han conocido, especialmente en París, un gran auge por su insonoridad, que no hubiera desaprobado el señor Prefecto Dubois, si no fuera por el desprendimiento

de los aceites que las impregnaban bajo el calor y la compresión, o la reducción de su coeficiente de rozamiento bajo la lluvia, que los transformaban con rapidez y, en todo tiempo, en peligrosas pistas de patinaje.

XI. EL MATERIAL Y LA MECANIZACIÓN

Lo que, para los profanos, diferencia las obras de carretera de hoy de lo que eran a principios de siglo, y aun en vísperas de la guerra de 1939, es la mecanización de las obras, la sustitución casi integral del hombre por la máquina.

A la vez consecuencia y elemento del progreso industrial, el desarrollo del Maquinismo en general no se alcanza sin ciertas contrapartidas, que hacen que no se identifique necesariamente con la marcha hacia un mejor bienestar humano.

La mecanización no es un fin en sí mismo, es sólo un medio al cual hay que pedir, ante todo, que libere al hombre de las tareas penosas, antihigiénicas o peligrosas, las cuales, mientras eran demasiado numerosas, lo privaban de un mínimo de gozo sin el cual no puede haber vida familiar y que, comprometiendo la salud física y moral del individuo, pesaban sobre el porvenir de la raza y daban lugar a los conflictos sociales.

Las mejoras pasadas y futuras de la clase obrera, que dependen de la mecanización, no pueden pagarse demasiado caro. Aunque en contra de lo que se espera generalmente de la mecanización resulte de ésta un alza en los precios de coste y el coste de la vida, esto no sería sino un efecto de justicia distributiva que traería un poco más de igualdad entre los hombres.

Por el contrario, cada vez que deja de exigirse esta primera obligación de salvaguardar vidas humanas, o de mejorar su penosa condición, creemos juicioso no adelantarse sino prudentemente en el camino de la mecanización. La consecuencia habitual de ésta, el aspecto bajo el cual apareció, a primera vista, a los que vieron en su taller cómo la primera máquina reemplazaba el trabajo humano, fué el de inutilizar provisionalmente unos brazos. Fué por este motivo por el que los navegantes quisieron asesinar al promotor al ver que el barco de vapor sustituía a la vela de sus antepasados, o por el que los tejedores artesanos se ensañaron en Francia contra los telares Jacquard. Quizá, con el presentimiento de que un día podría ocasionar la mecanización ciertos abusos, esos seres sencillos no se equivocaban del todo.

Quizá los libros primarios los juzgan muy a la ligera cuando los describen como detractores del progreso y los ridiculice como a tales. Los perfeccionamientos industriales y técnicos que no van acompañados de un progreso verdadero en el bienestar de todos los hombres no son sino empresas quiméricas.

Por eso, desde el momento en que una racionalización de los procesos de fabricación, una concentración de fábricas, un desarrollo de la mecanización que no se imponen desde el punto de vista humano, pueden ocasionar una despedida de obreros y una reducción en las horas de trabajo, hay que estar bien seguro, antes de hacerlo, que la baja del precio de coste que resultará de esta medida, para los productos manufacturados, será suficiente para ocasionar una baja del precio de venta y contribuir, por tanto, a una rebaja en el precio de coste de la vida, tal que el conjunto de los obreros pueda encontrar, en el número reducido de horas de trabajo que se les ofrece con el mismo salario por hora, unas ganancias suficientes para vivir igual, trabajando menos. Si no es así, la mecanización es un engaño. Lleva a la reducción de la actividad humana bajo el nivel en el que engañosas diversiones se vuelven ociosidad: se vuelve generadora, no de un descanso bienhechor, sino de un paro parcial deprimente, instigador de gastos superfluos o peligrosos, acompañado, para el obrero, de tal insuficiencia de recursos que hay que pagarle indemnizaciones que muy pronto absorben las ventajas aparentes de la operación.

Estas consideraciones, sacrilegios con respecto al Dios Progreso, no son verdaderamente valorables en Francia para el caso de obras de carreteras, donde es indiscutible que la mecanización es una necesidad.

En efecto, cuando se ha tratado de emplear máquinas, no ha sido para reducir la mano de obra en nombre de ciertas consideraciones teóricas, ideológicas o dogmáticas, sino, al contrario, para hacer frente a una insuficiencia numérica de mano de obra, la cual, a menudo ya deficiente para la modestia de las tareas de mantenimiento normal, se hacía incompatible con la amplitud de las obras que había que llevar rápidamente a buen término.

Es casi solamente en el arte, o en ciertas técnicas artesanas, donde una obra puede valer en proporción al número de horas de artista-obrero o de obrero-artista que han sido empleadas en realizarla.

Solamente en dichos dominios se puede encontrar la paradoja de ver apreciar: aquí, la ingenua acumulación de detalles pictóricos de ciertos primitivos, en otra parte las imperfecciones, tales como los errores tipográficos u otros de las ediciones príncipes, o allá, en fin, las irregularidades del encaje artesano que, algún día, sin duda, serán las únicas que podrán hacerlo discernir de las labores análogas hechas por máquinas cada vez más perfeccionadas.

En carretera, la rapidez y la perfección misma del trabajo no pueden ser obtenidas sino por el empleo de la máquina.

A los ejemplos de mecanización dados anteriormente con la breve descripción de los materiales para el revestimiento de los aglomerantes o la fabricación de carreteras y pistas de hormigón hidráulico, se puede añadir, al azar:

a) El recebo en macadam, donde el empleo de la *niveladora*, que prepara el trabajo simultáneo de tres a cuatro cilindros, ahorra el 60 por 100 de mano de obra para un trabajo de mejor calidad: y nadie piensa en sentirlo, sino en nombre de lo pintoresco, el *jeón caminero* de Louviers, *picapedrero*.

b) La ejecución de los revestimientos superficiales para cuya puesta en obra se han gastado cada año 8 a 10 miles de millones y cuya mecanización lleva consigo, entre otras innovaciones:

El aumento hasta 65 Km./hora de la velocidad: el de la capacidad de los camiones de aplicación de los aglomerantes, aumentada de 4,5 a 9 m.³.

La mejora de las barras de distribución.

Pero más aún la mecanización del suministro y distribución del recebo, cuyo tonelaje es muy superior al del aglomerante.

La sustitución de los cilindros de llantas metálicas por cilindros de neumáticos, que responden mejor a la doble necesidad de encajar y no aplastar la gravilla que un excesivo aligeramiento del peso de los cilindros haría correr el riesgo de sacrificar el encaje.

c) La coordinación y el desarrollo de los centros de almacenamiento, los cuales, como resultado de la posibilidad de aumentar su capacidad y disminuir su número, han llevado a reemplazar progresivamente los pequeños depósitos colocados en el bordillo de las carreteras y los escasos centros de recepción de las estaciones, por una red coherente cuyo emplazamiento en cada centro se determina en relación con la amplitud de las zonas a surtir, teniendo en cuenta la topografía local y la situación de las vías férreas y fluviales.

Esta centralización del almacenamiento y del calentamiento ha facilitado la elevación hasta 50 Km. de la distancia a recorrer por el aglomerante en camiones más rápidos, hasta la obra.

Ha permitido también la utilización de aglomerantes más variados, y el control automático de un calentamiento más enérgico.

Esta capacidad de equipo, que ha alcanzado entre 1946 y 1955, 255.000 m.³, ha permitido la aplicación de un tonelaje diario medio de 15 a 20 toneladas, con dos veces menos mano de obra que era necesario emplear antes para un tonelaje dos veces menor.

Otro aspecto impresionante del ahorro realizado reside en el hecho de que en 1956 se han aplicado 200.000 toneladas de aglomerantes, es decir, 25 a 30 por 100 más que en 1951, sin aumento de los créditos de mantenimiento, a pesar del aumento de los precios.

Pero cualesquiera que sean las ventajas técnicas y económicas de la mecanización, es evidente que su desarrollo es una cuestión de medida.

¿Por qué adquirir un material de gran rendimiento si el campo limitado de su acción no permite

sino una amortización demasiado lenta, o si dicha acción está frenada por estrangulaciones hacia arriba o hacia abajo de la cadena industrial, de la cual es sólo un eslabón?

Dicha armonización de las mejoras del material debe de ser, seguramente, la preocupación dominante de los Ingenieros: es necesario que vean la posibilidad de buscarla dentro de los límites del dominio que depende de su autoridad, o que se asocien con sus vecinos para alcanzar la escala que sólo permite a ciertas técnicas ser rentables.

Pero la cuestión de los transportes del material o de los materiales constituye uno de los más importantes elementos del capítulo de gastos: dicha realización, satisfactoria en determinado lugar, no se puede trasladar, por simple homotecia geográfica, a otro lugar: es el volumen de obras útiles a efectuar, sin que se pueda tratar, evidentemente, de suscitar otras superfluas para el éxito de la operación, la que condicionará, ante todo, la elección de los materiales.

XII. COMPARACIÓN DE LAS TÉCNICAS

La breve exposición, casi terminada, de las etapas sucesivas de construcción de las carreteras, ha puesto en evidencia la multiplicidad de las soluciones que existen en esta materia.

La elección entre dichas soluciones, aunque se la deje ampliamente a la apreciación de los Ingenieros, no podría sin embargo ser considerada como totalmente arbitraria, y lo menos que se puede decir es que, si no existen nunca fórmulas que se impongan imperativamente, hay sin embargo ciertas contraindicaciones que nadie podría olvidar sin riesgo de tropezar con serias dificultades.

Hay especialmente una causa que paraliza, desgraciadamente muy a menudo, los buenos deseos y las iniciativas, y pesa en todo caso sobre todas las decisiones, y es la insuficiencia de los créditos.

Al tratar de la cuestión de las "Carreteras económicas", tercera cuestión inscrita en el programa de la primera sesión, "Construcción y mantenimiento de carreteras", del Congreso de Estambul, el ponente francés señalaba, de acuerdo con varios colegas extranjeros, que no podía haber carreteras especialmente económicas, a menos que, por el contrario, lo tengan que ser todas, pues el precio de coste de una carretera dependía, muy ampliamente, para características equivalentes, de las circunstancias locales de suelo y de clima.

Otro elemento de decisión, que no es completamente independiente, es la parte más o menos amplia que se reservará a la fabricación *in situ* frente a la prefabricación.

Los dos métodos presentan, evidentemente, ventajas e inconvenientes.

Ya se trate de materia o de energía, de problemas de fabricación o de transporte, el elemento

esencial puede ser encontrado o creado en el mismo lugar de su utilización, o bien traído o transportado desde otro lugar.

La marcha del progreso ha seguido, generalmente, durante siglos, la del transporte a distancia: la energía hidráulica era utilizada desde siempre, pero localmente, en los motores de agua: la energía térmica, en calderas aisladas; la de las corrientes aéreas, en los molinos de viento. Pero solamente su transformación intermedia en energía eléctrica transportable ha llevado a domicilio la luz, el calor y la fuerza.

Las ventajas de la centralización residen evidentemente en la posibilidad de emplear materiales o de poner en obra medios solamente utilizables o rentables por medios no autorizados por los artesanos: los de la individualización en la autonomía, que da a cada unidad su independencia.

Como en lo que se refiere a carreteras se había tomado la costumbre de emplear sistemáticamente, para tal o cual uso, tal o cual materia de procedencia aún lejana, ha hecho falta cierta dosis de non-conformismo a los recientes promotores de la utilización generalizada de los materiales locales, para hacer frente apasionadamente a los antiguos errores.

Los factores que deben orientar hacia la solución a adoptar son múltiples y variados, y es evidente que pocas veces se nota, al menos en Francia, que la carretera no cambie claramente de aspecto y de consistencia cuando se va de un departamento (célula de una jurisdicción técnica de los Ingenieros) a otro.

Es evidente que:

Salvo en los casos en los cuales el límite de dos departamentos está marcado por una frontera natural: línea de división de las aguas, ríos que forman el fondo de un valle profundo, límites de territorios montañosos o poblados de árboles cayendo a pique en una llanura de aluviones.

Salvo también en los casos en los cuales la diferencia, sin estar marcado en la frontera misma, resulta a causa de variaciones de las condiciones dentro de unos 10 ó 15 kilómetros, lo que explica que cada una de las carreteras haya sido prolongada en dirección al límite departamental bajo la forma que se impone para ella a unos kilómetros de allí.

No son razones de técnica pura, sino también, y al menos en la misma proporción, las preferencias individuales, locales, o las cuestiones presupuestarias las que han determinado, para cada uno de los Ingenieros próximos, la elección de soluciones diferentes.

A fortiori, no hay que extrañarse de ver muy grandes diferencias de una frontera de Estado a la otra.

Había tenido durante un momento la esperanza de que la comparación de las técnicas adoptadas a ambos lados de ciertos departamentos, y aún más,

para estas Jornadas franco-españolas, en la frontera de nuestros dos países, podría ser instructiva.

Doy mis más expresivas gracias, a este respecto, a los Ingenieros Jefes e Ingenieros de los departamentos pirenaicos franceses, que se han apresurado amablemente a informarme sobre las diferencias que se notan al franquear la frontera, pero no creo que se pueda sacar ninguna enseñanza provechosa de las pocas comparaciones siguientes, que se refieren a las dos extremidades de los Pirineos:

1.º En la carretera Bayonne-Beloeil-San Sebastián, dos soluciones decididamente diferentes:

En Francia: carretera tradicional con Telford-semipenetración y revestimiento superficial de caliza dura u oñta con algunas pruebas de aglomerados densos y de arenas de mar aglomeradas en tapiz de revestimiento.

En España — entre Beloeil e Irún —: carretera hormigonada antes de la guerra, de 7 m. de anchura.

Después de la travesía de Irún, carretera bituminosa antigua sobre capa frenadora y escoria; una carretera nueva, también de hormigón.

2.º En los "Pirineos-Orientales", tanto en la frontera del Perthus como en la de Port-Bou, soluciones parecidas:

En Francia, respectivamente en las carreteras R.N. 9 y R.N. 14, revestimientos superficiales de alquitrán-betún o de *cut-back* con gravillas de las canteras vecinas.

En España, revestimientos superficiales con alquitrán, con gravillas de río.

3.º En el departamento de los "Pirineos-Orientales", alrededor del territorio español de Llívia, y de Bourg-Madame a Puigcerdá, unos medios considerados hoy como algo anticuados han dado, en uno de los dos países, seguramente gracias a la gran práctica de los especialistas que los utilizaban, unos resultados muy comparables, al menos desde el punto de vista de los resultados, a los que una relativa mecanización permitía obtener del otro lado de la frontera.

Para volver a Francia, uno de nuestros amigos, Ingeniero Jefe de un departamento donde la geografía mezcla la llanura con la montaña, señalaba, a título puramente documental, y sin pensar en dar una lección a sus colegas, que:

a) En los altos valles, donde los torrentes no han acumulado depósitos de aluviones importantes:

Se encuentran, sin embargo, generalmente, unos depósitos de arenas bastante rudimentarios, y de materiales sin finos difíciles de compactar, que pueden constituir buenas capas de drenaje y hacer cimientos muy aceptables.

Que en estos mismos valles se encuentra cierto número de escombros de rocas duras, que dan, una vez triturados, un macadam relativamente económico y de buena calidad.

De modo que la técnica que parece imponerse en

estas regiones es la de cimientos de material sin escoger revestidos de un firme de macadam tratado por semipenetración o por percolación con aglomerados.

b) En las zonas de llanura, donde se encuentran acumulados a menudo depósitos de aluviones susceptibles de ser utilizados, ya en bruto para cimientos, ya después de triturados, como asientos en elementos finos o aglomerados.

La técnica de una capa de base de elementos finos, coronada por una capa de materiales aglomerados, parece ser la más indicada.

Las técnicas derivadas de imperiosas necesidades, o relacionadas con el gusto o las costumbres, son, pues, múltiples.

Cada una de ellas presenta, sin embargo, uno o varios caracteres de originalidad que hacen que se adapten más o menos a tal o cual condición local.

Las comparaciones nacionales e internacionales serán tanto más útiles cuanto más puedan despejar las razones de las divergencias observadas, y también cuando se dé paso objetivamente, en una y otra parte, a la crítica de ciertos laboriosos fracasos, más aleccionadores que unos éxitos demasiado fáciles.

XIII. LAS DIFICULTADES DE LA PUESTA EN OBRA

La responsabilidad del Contratista.

"Esta carretera ha sido construida por...", "este puente ha sido edificado por...", son expresiones corrientes que hacen llevar a un solo nombre la responsabilidad meritoria de haber legado a las generaciones sucesivas una obra digna de elogios.

Sin embargo, esta distinción no vale, y no se otorga, a decir verdad, sino en los casos en los cuales se debe perpetuar el recuerdo de una participación esencial o espectacular, técnica o estética, a la creación de una obra verdaderamente extraordinaria, en el sentido etimológico de la palabra.

Aun en este caso, *a fortiori*, en todas las obras normales de carreteras, y salvo cuando es — como en el régimen francés de la Administración — el mismo Servicio de Ponts et Chaussées su propio contratista, la responsabilidad se encuentra ampliamente repartida entre el Ingeniero, el cual, concibiendo el proyecto en su conjunto, ha elegido las grandes directrices de su realización, y el contratista, que ha tenido que realizarlas, aceptando prácticamente, al menos desde el punto de vista financiero, los riesgos de un fracaso eventual.

El riesgo crece aún más para el contratista que realiza la obra, porque la perfección de una carretera resulta a la vez de la calidad de los materiales y de las condiciones de su puesta en obra, estando relacionada ésta con el grado de potencia y de precisión de un material que se supone juiciosamente llevado.

La utilización de una máquina que ha hecho sus pruebas alivia en parte al realizador de los riesgos — antes inexistentes a causa de la pequeña escala del lento trabajo diario de especialistas escrupulosos —, pero que lo haría correr hoy, a falta de mecanización, una mano de obra volante, abundante, contratada algo al azar.

Sin embargo, la máquina misma no está siempre en condiciones óptimas, y ha sido muy a menudo subrayado que las reparaciones iniciales a que ha sido sometida en el garaje, deben a menudo controlarse a la llegada a la obra, y ser frecuentemente reparada, aun en el curso del trabajo. Lo mismo que es peligroso creer que todo lo que está impreso es exacto, no se puede tampoco pensar que todo lo que es mecánico no tiene defecto.

Especialmente el deseo de llevar al extremo las posibilidades de precisión de una máquina moderna, que constituye a menudo su principal característica, no debe hacer olvidar el error grave que, cometido sobre la cifra de las unidades, hace ilusoria la seguridad de la cuarta decimal.

¿De qué serviría, por ejemplo, tener una barra de distribución cuyo juego de orificios pudiera ser regulado con gran precisión, si el robusto contador de velocidad del camión, que uno puede creer sincero *a priori*, se encontrase descompuesto?

Nos parece que debe darse una importancia muy especial, en las obras y más aún en las pruebas que deben permitir prejuzgar la calidad y precisión del material, del valor de una técnica, etc., al peligro que representa el juego simultáneo intempestivo de múltiples variables.

En efecto, se puede temer que, aunque nadie piense en discutir la intangibilidad del principio cartesiano que dice que "para conocer con seguridad la influencia de una variable, hay que tener la seguridad de que todas las otras han conservado un mismo valor en el curso de la experiencia", se considera demasiado a menudo la incertidumbre como despreciable, que tal de las variables que se ha considerado inmutable se ha quedado como tal, o que, al menos, su variación no ha sobrepasado los límites dentro de los cuales se ha creído poder colocarla.

El peligro proviene del hecho de que los errores se multiplican a menudo en progresión geométrica.

Aunque las consideraciones que siguen puedan ser estimadas como más teóricas que verdaderamente instructivas, porque raramente son aplicables, hemos pensado que no era superfluo indicar las inverosímiles diferencias que puede traer consigo la yuxtaposición de errores relativamente débiles por sí mismos, si, lo que puede muy bien ocurrir, se multiplican.

Un cálculo elemental muestra, en efecto, que para tres factores de un producto del cual cada uno se separa del valor medio considerado como "bueno

salvo errores" un 15 por 100, los valores extremos en más o en menos, que no está excluido que dicho producto represente por mala suerte, pueden encontrarse en la relación de 0.60 a 1.50, es decir, de 1 a 2.5.

Sin llegar hasta el caso de un producto de tres factores, y limitándose a los dos que representan, por ejemplo, las proporciones de aglomerante y grava de una aplicación superficial realizado teóricamente, a razón de: 1 l. al m.² por 12 Kg. de grava, se puede ver fácilmente que, con errores de 15 por 100 en dirección inversa: 0.85 l. al m.² y 13.8 Kg., dan la relación 16.2 en vez de 12; 1.15 l. al m.² y 10.8 Kg. dan la relación 9 en vez de 12, y si se comparan los dos revestimientos que se supone que han recibido "salvo errores" la misma proporción de grava en relación con el aglomerante, aparece que, de hecho, el segundo ha recibido 1.7 veces más que el primero, lo que quebranta irremediablemente toda comparación que se pensaría poder hacer entre los resultados de las dos aplicaciones.

Además, ocurre a veces que se encuentra uno con la imposibilidad, no solamente de delimitar, sino también de enumerar, con certeza, el juego de todas las variables parásitas distintas de aquella cuya influencia se estudia.

Será preciso al menos, para alejar intencionadamente los ensayos de control que se encuentran por lo tanto falseados, no ignorar la acción de estas variables parásitas.

Sobre una carretera donde se realizan pruebas por bandas sucesivas, variables de una a otra en calidad, será conveniente operar en este sentido paralelamente con un revestimiento testigo:

a) Limitando las pruebas a media carretera, siendo reservada la otra a dicho testigo, lo que deja todavía lugar a una incertidumbre por lo que se refiere a la posibilidad de comparar las circulaciones ascendente y descendente.

b) O bien, lo que nos parece mejor, alternando bandas de prueba y bandas testigo, para descubrir, llegado el caso, tal influencia muy local: de subsuelo, o de ventilación, u otra, que perjudicaría el resultado en tal o cual punto.

Para quedar en el dominio de las aplicaciones superficiales, de los cuales se han sacado los ejemplos anteriores, se podría también recordar que:

A medio camino entre soluciones extremas, raramente oportunas, muchas cosas, por lo que se refiere a la técnica de carreteras, representan problemas de medida y de dosificación.

La dosificación del esfuerzo debe estudiarse en el apisonado cuando tiene por objeto agregar la grava sin romperla.

Otra dosificación: la del plazo antes del apisonado, y el número de pasadas.

Dosificación especialmente delicada: la de la relación entre aglomerante y gravilla, para la cual —cuando se sale del cuadro de experiencias sistemáticas cuya posible variación ha sido señalada anteriormente— una regla empírica sencilla vale más, para algunos, que todas las fórmulas, es decir, que:

Para no tener excesivo desecho, hay que regular la dosificación, de modo que se pueda divisar un poco de aglomerante.

Pero que, a la inversa, la ausencia total de desecho es la prueba de la insuficiencia de la cobertura.

Para volver a la parte mutua que pueden comportar en el éxito de una operación la calidad de los materiales y la perfección de su puesta en obra, no se adelantará demasiado diciendo:

Que sin duda no existen materiales de tal calidad que puedan aceptar una puesta en obra muy deficiente.

Que no existe tampoco puesta en obra tan perfecta que pueda conformarse con malos materiales.

Malas condiciones atmosféricas, a veces imprevisibles, pueden unirse a las dificultades, y todo este conjunto hace que el arte y la ciencia de carreteras sean de los más complejos.

Los responsables de su éxito, sin rehusar que prueben su suerte las jóvenes Empresas, y sin renunciar, por otros medios que la adjudicación brutal y ciega, a obtener los mejores precios compatibles con un buen trabajo, no podrían imponerse demasiado, y ciertamente acuden preferentemente a firmas cuyo material, cuya experiencia y cuyo *standing* general constituyen para ellos unas garantías morales primordiales.

XIV. RESUMEN Y CONCLUSIONES

El conferenciante completó la presente exposición, al final de la sesión, con un breve resumen y algunas rápidas conclusiones.

* * *

Si el progreso material de la Humanidad es en particular función de la puesta al alcance de todos de los recursos de materiales y energía por las líneas de comunicación, oleoductos, líneas a larga distancia y otras arterias de la vida industrial, la gran generalización del intercambio, que facilita la posibilidad de la rapidez cada día acrecentada de los medios de transporte, induce a buscar el establecimiento de éstos en común en los planos nacional e internacional; es preciso admitir que hacerlo así, partiendo de la medida a que estas concepciones hoy se limitan estrictamente los dominios geográfico y económico, no presentan ningún carácter revolucionario o renova-

do, puesto que ello no constituye más que una transposición homotética de los conocimientos antiguos a los nuevos en escalas de tiempo y de distancia que figuran en el mundo moderno.

La construcción de carreteras es una de estas actividades, en las cuales las nociones de nacionalización y de internacionalización no asustan, por los grandes progresos que con ellas se han conseguido.

Olvidando que las carreteras terrestres conducían antaño, y ayer todavía, a las grandes invasiones, las autoridades de los diversos países que están encargados de las obras pacíficas de los hombres, trabajan en la creación de una vasta red de grandes itinerarios nacionales e internacionales, y el señor Director de Carreteras españolas ha querido recordar el papel eminente que juega Mr. Rumpier para armonizar las buenas voluntades.

Sobre estas redes se concentran especialmente los esfuerzos.

Deseándolas una larga vida pacífica y llena de utilidad, no nos será permitido olvidar los caminos de menor importancia, que, aunque no tengan la misma trascendencia comercial, ellos nos sirven para el turismo: sobre ellos también se desarrolla la vida interregional, interprovincial, y gracias a ellos todas las bellezas diseminadas en nuestros dos países serán conocidas y mejor admiradas, y será más fácil descubrirlas y contemplarlas.

Yo uno a este deseo el muy personalmente inspirado que me surgió, tal vez por la visita a la carretera de Toledo y el paso bajo las torres de la Puerta del Sol, mi voto de que sean preservados al máximo estos incomparables testimonios del pasado: monumentos históricos no clasificados, hermanos vivos de piedras muertas, que constituyen la entrada a ciertas villas: plantaciones centenarias, avenidas dobles, en las cuales a veces no es cuestión de aceptar la disminución de capacidad o el peligro que ellas presentan, pero en las que la desviación de la carretera, oportunamente iniciada unos centenares de metros antes, podría en ocasiones salvar su existencia.

La historia, todavía imperfectamente escrita, de la señalización de carreteras, me parece incitar a un gran cariño en relación con los pequeños canales de la circulación por carretera, que de día en día eclipsan a las grandes arterias, al mismo tiempo que se esfuma todo lo que este siglo del átomo rechaza en la sombra antes, puede ser, de que lo precipite en la nada, mezclado con las más orgullosas conquistas de la ciencia.

Aun considerando la vejez y desuso de estas pequeñas placas indicadoras, de fundición, que los servicios diarios ponían a la altura de la vista del co-

chero, y que por lo menos salvaban la estética del paisaje, nosotros no debemos mantener estos vestigios de una edad pasada, por ridículo que puedan resultar las arrogantes placas visibles a 100 kilómetros por hora, que en un porvenir próximo, cuando el avión individual haya resuelto el medio normal de transporte, serán letras de varios metros colocadas horizontalmente sobre carreteras, y los tejados del plano de Francia se señalarán al turista.

Entonces puede ser, por un capricho de la moda o por una necesidad de apaciguamiento, que mientras algunos partirán en cohete hacia la luna, otros menos audaces y más sabios se sentirán felices de que les hayan conservado los viejos caminos de antaño para ir, de puerta en puerta, en esas visitas de vecindad inmediata que constituirán entonces varios cientos de kilómetros.

Y renacerán los viajes como los de Hugo, Gautier, Dumas, Mérimée, Stendhal, que hicieron en España. Revivirán los recuerdos de las vacaciones, esas memorias de Hérédia, Coppée, Pierre Louys.

Barrès, Bazin, Bertrand, Claudel y, viviendo todavía, Montherlant y Joseph Peyré, que nos han dado sobre vosotros, queridos amigos españoles.

Estos escritos, que después del eclipse bien injusto que nuestra filosofía del siglo XVIII, habían hecho aumentar la admiración que los clásicos os habían producido y nuestros románticos y nuestros novelistas modernos los han transportado, con pasión, de vuestro folklore a nuestra literatura,

Por ello, un poco egoístamente, pensando en la vuelta al país de vuestros grandes desaparecidos de El Escorial y de todos los incomparables artistas que habéis dado al mundo, pero también para el prestigio y grandeza que ellos os han legado, que si el señor Director Rumpler me autoriza, y sin anticipar sobre las conclusiones de mañana, yo daré un primer testimonio del éxito de estas jornadas diciendo cuanto en ellas han amplificado, con nuestra admiración por vuestras bellas realizaciones en curso, nuestra cordial voluntad de participar en vuestras preocupaciones y de cooperar en vuestro trabajo.