

EMPLEO DE ESCORIAS DE ALTO HORNO EN LOS FIRMES DE CARRETERA

Por OLEGARIO LLAMAZARES GOMEZ

Dr. Ing. Caminos, Canales y Puertos.

Expone el autor las posibilidades de empleo de este subproducto, de múltiple aplicación, en las capas del firme, que requiere un estudio coordinado de los Servicios de carreteras y la industria siderúrgica, con vistas al aprovechamiento de nuestra creciente producción.

1. Hacia la ordenación del aprovechamiento de las escorias.

Después de la primera guerra mundial y como consecuencia del incremento de la producción siderúrgica se empezaron a aprovechar las escorias de alto horno, siendo uno de los principales destinos su utilización como áridos en los firmes de carretera. Desde entonces el sorprendente aumento de la producción y la evolución de las características estructurales de bases y pavimentos, han modificado las exigencias de este material industrial y dado lugar a una diversidad de usos.

La importancia que han adquirido las escorias en la construcción de carreteras la da la cifra de volumen anual que para este fin se consume en el mundo y que llega a 100 millones de toneladas, siendo los países que actualmente van en cabeza:

Estados Unidos	30,10 ⁶ Tn.
Alemania Occidental	15,10 ⁶ Tn.
Francia	12,10 ⁶ Tn.
Inglaterra	10,10 ⁶ Tn.

La historia del empleo progresivo de las escorias es una historia ejemplar de la ingeniería moderna, basada en una paciente investigación de los problemas que plantea su utilización y una imperativa necesidad de eliminar las grandes escombreras que ocupan amplias y valiosas parcelas de terreno contiguo a las factorías u obstaculizan el curso de los ríos, reduciendo su sección de desagüe en avenidas, con el consiguiente peligro de inundaciones.

El aprovechamiento de recursos debe impulsarse al máximo en nuestro mundo de pujante crecimiento, cuyo desarrollo tecnológico impone más necesidades que crea fuentes de

materiales de satisfactorias características funcionales y económicas. En el caso de las escorias, una actuación coordinada de los productores y los ingenieros de los Departamentos de Carreteras, ha permitido conocer en los países de técnica avanzada las posibilidades óptimas de aplicación y los procesos de tratamiento de este subproducto de la siderurgia que puede emplearse como material inerte o activo, que actúa de agente estabilizador de áridos naturales.

Un reciente viaje a Francia con motivo de asistir a la última reunión del Comité Técnico de Ensayos de Materiales de la AIPCR (1) que fue completada con una visita al Laboratorio Regional de Ponts et Chaussées de Autun (Saône-et-Loire) y a dos obras de refuerzo de firme con bases de grava-escoria, a los efectos de conocer el gran avance de la técnica francesa en este campo, nos ha movido a preparar el presente trabajo que deseáramos sirviera de origen a un intercambio de información entre los compañeros preocupados por el tema, que tengan alguna experiencia sobre el empleo de este subproducto o conocimiento de volúmenes y calidades del material disponible.

Nuestra producción siderúrgica aumenta a gran ritmo y ya se han presentado los problemas antes citados del aprovechamiento de excedentes de escoria. Creemos, en consecuencia, que ha llegado el momento de iniciar un plan de ordenación con un estudio de volúmenes previsibles de producción, situación de fábricas productoras, rendimientos unitarios de escoria, procesos de obtención, composición química, características granulométricas y demás datos de interés.

(1) Association Internationale Permanente des Congrès de la Route.

Conjuntamente deberán considerarse unas perspectivas de racionalización de la producción, de acuerdo con los modernos sistemas de fabricación y tratamientos especiales que permiten obtener un material adaptado a las exigencias de los firmes de carretera.

Para definir el material de modo concreto será preciso redactar las correspondientes es-

que un 80 por 100 de las escorias producidas en Francia proceden de las siderúrgicas del Este, donde abundan los yacimientos de áridos naturales, lo que ha sido desde luego un freno para el desarrollo de la utilización de las escorias. No obstante, estas dificultades han sido superadas, y el empleo de escorias especial-

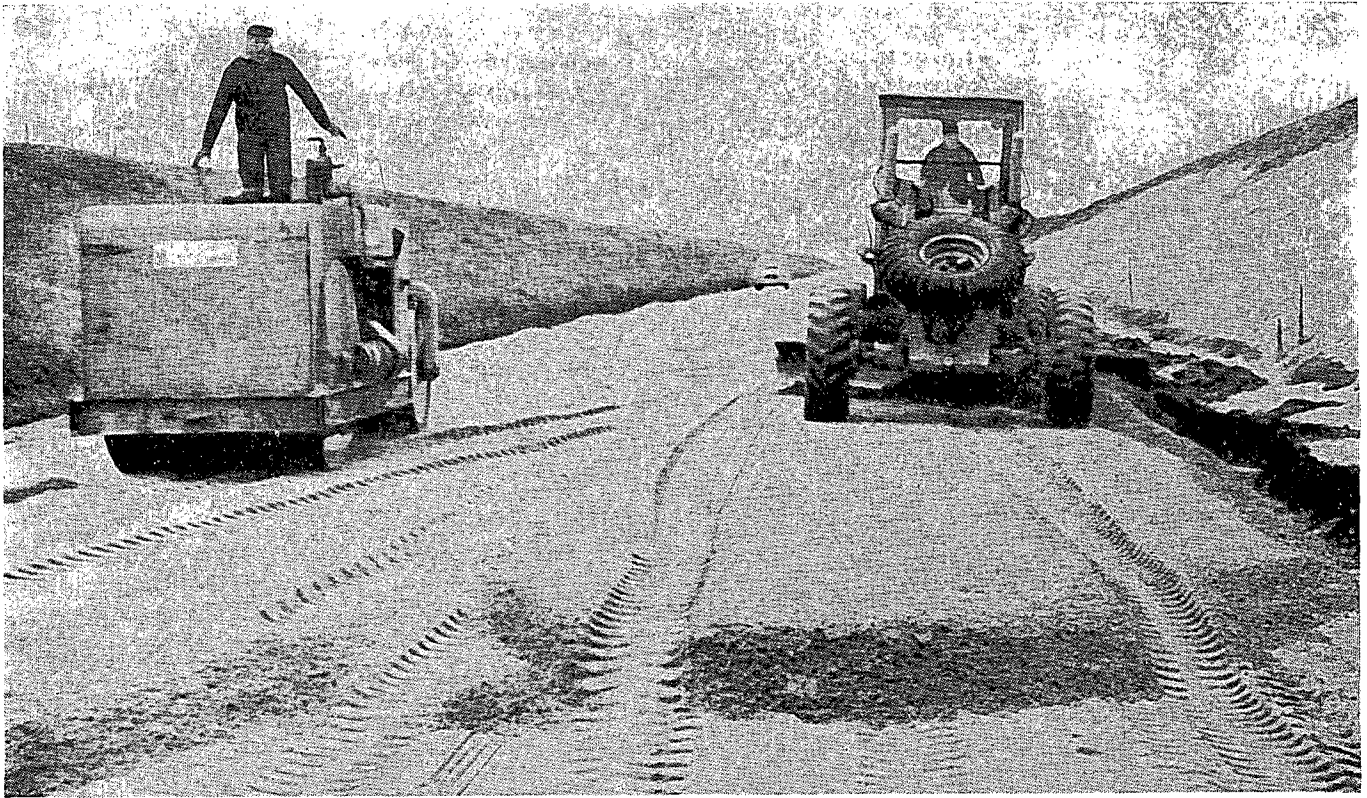


Fig. 1.^a — La estabilidad mecánica de una capa de grava-escoria permite el paso del tráfico, por lo que en muchos casos se ha extendido sobre todo el ancho de la calzada sin interrumpir la circulación. La fotografía muestra el extendido con niveladora y primera fase de compactación con un rodillo vibratorio. Después se emplea un compactador de neumáticos, con el que se consigue una superficie más cerrada.

pecificaciones. En todo caso y para impulsar el aprovechamiento de este subproducto, que ya representa una carga para la economía nacional, será precisa una estrecha coordinación entre fabricantes y utilizadores.

Puede servirnos de ejemplo el caso de Francia por la sistematización del esfuerzo realizado para normalizar la producción, el máximo aprovechamiento en condiciones de garantía y la mejora estructural de las capas del firme, especialmente en lo que se ha llamado "estudio de asociación" de la escoria granulada con zahorras y arenas. Es preciso tener en cuenta

mente para el tratamiento de materiales locales, que constituye una técnica económica y de fácil aplicación, está tomando un gran incremento, que fuerza la demanda de escoria granulada e induce a los productores a aumentar y mejorar la calidad de este subproducto de acuerdo con las prescripciones impuestas por los Servicios de Carreteras.

Nos acompañaron en las visitas mencionadas dos ingenieros franceses que han tenido un destacadísimo papel en la gran labor promocional del empleo de escorias: M. Galibert, Di-

rector de la A.T.U.L. (1) y M. Prandi, actualmente Jefe del Servicio de Aplicaciones del Laboratorio Central de Ponts et Chaussées y antes Director del Laboratorio de Autun. Sus informaciones sobre los aspectos teóricos y prácticos del tema en las que nos mostraron su gran experiencia y pasión sobre la utilización de las escorias, han hecho posible la redacción de este trabajo monográfico, por lo que queremos que conste en él nuestro agradecimiento a tan distinguidos colegas.

2. Características generales de las escorias.

La escoria es un subproducto que se separa por densidad de la fundición. Está constituida fundamentalmente por silicatos cálcicos, conteniendo también otras sustancias, principalmente alúmina y magnesia.

A diferencia de los áridos naturales, el período de formación de la escoria es muy corto. Como se ha dicho, la geología de la escoria comienza en el horno.

La escoria es un material estable, pero no inerte, ya que tiene propiedades hidráulicas y fragua en presencia del agua con potencial que depende de su composición química y de la finura de molido. En la composición química juega un papel importante la temperatura de salida del horno; según que ésta sea más o menos alta, el producto metálico absorbe mayor cantidad de sílice y queda menos en la escoria.

Se han llevado a cabo pacientes investigaciones sobre las características físico-químicas de las escorias y de las propiedades hidráulicas que de ellas se derivan. Este subproducto reúne los elementos residuales del proceso industrial, o sea la ganga del mineral de hierro, cenizas del combustible y aditivos ácidos y básicos. La cantidad de escoria que corresponde a una tonelada de fundición depende principalmente de la riqueza de los minerales tratados, pero salvo casos excepciones (2) varía entre 300 y 700 Kg./Tn.

Es preciso distinguir dos tipos de escoria, la machacada y la granulada. La primera se obtiene por enfriamiento lento al aire, seguido de

(1) Association technique pour le développement des utilisations des laitiers de hauts-fourneaux.

(2) Se citan como casos extremos 1'300 Kg./Tn. para un mineral pobre, empleando coque en EE. UU. y 100 kilogramos/Tn. para un mineral muy rico, con carbón vegetal en el Brasil.

machaqueo y cribado. La escoria granulada resulta del enfriamiento brusco por una potente corriente de agua que divide el chorro líquido de escoria que sale del horno en pequeños granulos que quedan en estado vítreo. El vapor que se produce al contacto del chorro caliente con el agua origina una expansión a la que se debe la estructura alveolar de la escoria beneficiosa para la atrición o desmenuzamiento que aumenta su reactividad o potencial hidráulico, así como también para conservar una superficie rugosa bajo los efectos de desgaste del tráfico, lo que constituye una buena cualidad para su empleo en capas de rodadura.

3. Utilización de las escorias en capas de base y pavimento.

Las escorias reúnen una serie de cualidades muy interesantes para su empleo en firmes de carretera. Las propiedades hidráulicas que dan rigidez a las capas de base, la forma aristada de sus elementos, su limpieza por estar exentas de materia orgánica o terrosa, su buena adhesividad a los ligantes bituminosos y la rugosidad permanente son propiedades de destacado interés en la técnica de los afirmados.

Se pueden emplear en sub-base y de hecho se emplean con profusión en los países productores. Presentan para ello suficiente capacidad portante ($CBR > 20$), constituyen capas drenantes con una proporción de huecos del 70 al 40 por 100, según el grado de compactación; al mismo tiempo que anticontaminantes contra la arcilla de la explanada, evitan la ascensión capilar y son insensibles al efecto-helada.

La mayor parte de estas propiedades — puede hacerse excepción de las filtrantes y anticontaminantes — so muy importantes para las capas de base. A éstas hay que añadir la facilidad de compactación, aun con humedades diferentes de la óptima, que permiten la puesta en obra aun en épocas de grandes lluvias. También el fraguado aumenta la rigidez de las capas, y con ello su resistencia a las cargas del tráfico, lo que se traduce en una mayor vida del firme a igualdad de condiciones en las otras capas de la sección estructural.

Las bases construidas en algunas carreteras francesas con mezcla de escoria machacada de 0/70 mm. y escoria granulada de 0/5 mm. en proporciones aproximadas de 65 y 36 por 100,

se transforman al cabo de algunos meses en auténticas losas con resistencias a la compresión de 100 Kg/cm.² y con un módulo de elasticidad de 40 000 Kg/cm.².

Las propiedades favorables para su empleo en mezclas bituminosas ya se han apuntado; estas hacen a la escoria apta para utilizarla en capas de rodadura o intermedia. Homogeneidad y limpieza, rozamiento interno, rugosidad superficial, facilidad de extensión y cilindrado son ventajas para los aglomerados de escorias, de los que fue un precursor el tarmacadam fabricado con este subproducto.

4. Reactividad de las escorias granuladas.

La reactividad de las escorias granuladas se debe a la presencia de fases cuasi-cristalinas activas, susceptibles de ser excitadas por vía básica. El potencial reactivo depende de la composición de la colada y de la granulometría a que se llegue en el proceso de enfriado, o sea del grado de división del material; éste depende de la temperatura de salida del horno y de la presión del chorro de agua y temperatura de ésta, sobre lo que puede actuarse para conseguir un subproducto de la mejor calidad.

También puede mejorarse la calidad por adición de cal a la escoria fundida o de cenizas volantes en proporciones de hasta un 10 por 100. El aumento de la fracción fina por molido parcial en un molino de bolas es también favorable, pues la reactividad está en razón directa del contenido de finos. Por esto, con respecto al fraguado en capas de base en que se emplee como material activo la escoria granulada, es preferible que ésta no sea dura a efectos de que se produzcan finos, por atricción bajo las cargas de los compactadores y del tráfico, cuyas propiedades hidráulicas son incluso superiores a las de la propia escoria. La estructura alveolar de ésta y la friabilidad que a ella se debe, es favorable por tal circunstancia para la aceleración del fraguado.

La reactividad de las escorias granuladas en el primer período es muy variable. Existen unos caracteres rápidos de identificación en función de propiedades físico-químicas: índice de basicidad $\frac{CaO}{SiO_2}$, fracción que pasa por el tamiz número 200, superficie específica, color, forma de los granos observada al microscopio, etc.

Las investigaciones llevadas a cabo para caracterizar el potencial hidráulico de las escorias granuladas han definido dos índices representativos garantizados por una larga serie de correlaciones (1):

- resistencia a la compresión a los sesenta días en mezclas con árido natural;
- coeficiente definido por el producto de la superficie específica de los finos naturales de la escoria por el tanto por ciento de finos producidos en un ensayo normalizado de molido. Los finos se definen como los elementos que pasan por el tamiz número 200.

Los componentes principales de la escoria granulada representan en este subproducto unas proporciones medias del orden siguiente:

Cal	50 %
Silice	30 %
Alumine	20 %

Para las temperaturas que normalmente salen del alto horno, la escoria que se somete al proceso de granulación — de 1 300 a 1 500° centígrados —, el material obtenido es una arena con granulometría 0/5 mm., adaptada al uso que se acompaña.

5. Bases de grava-escoria.

Las bases de grava-escoria pueden asimilarse en rigidez y capacidad portante a las de grava-cemento; no llegan a igualar a éstas en sus características resistentes, que expresadas comparativamente según los coeficientes de equivalencia del ensayo AASHO, pueden darse en primera aproximación los siguientes valores:

20 cm. de grava-escoria equivalen, desde el punto de vista estructural, a 15 cm. de grava-cemento, lo que considerando el precio inferior de la primera, puede resultar interesante desde el punto de vista económico.

Una diferencia fundamental reside en los períodos de fraguado; de unas horas en las capas de grava-cemento a varios días en las tratadas con escoria granulada.

(1) Véase el trabajo monográfico sobre la medida de reactividad en las escorias: G. Colombier: "Mesure de la réactivité des laitiers granulés pour le choix des différents mélanges grava-laitier". *Bulletin de Liaison de Laboratoires Routiers de Ponts et Chaussées*, núm. 19. Mayo-junio 1966.

Se incorpora esta escoria en proporciones del 20 por 100 del peso total del material, aunque la tendencia es a reducir esta proporción al 10 por 100, con lo que las resistencias serán suficientes y, sin embargo, se evitará o disminuirá mucho la fisuración por retracción, como se ha demostrado en las investigaciones realizadas en el Laboratorio de Autuñ. Además, tal reducción supondrá una gran ventaja económica.

dos con escoria granulada es muy amplia, destacándose principalmente:

- arenas finas silíceas
- gravas silíceas parcialmente machacadas;
- calizas
- granito machacado o de descomposición natural
- escoria machacada.

HUSO GRANULOMETRICO TÍPICO DE UNA ESCORIA GRANULADA

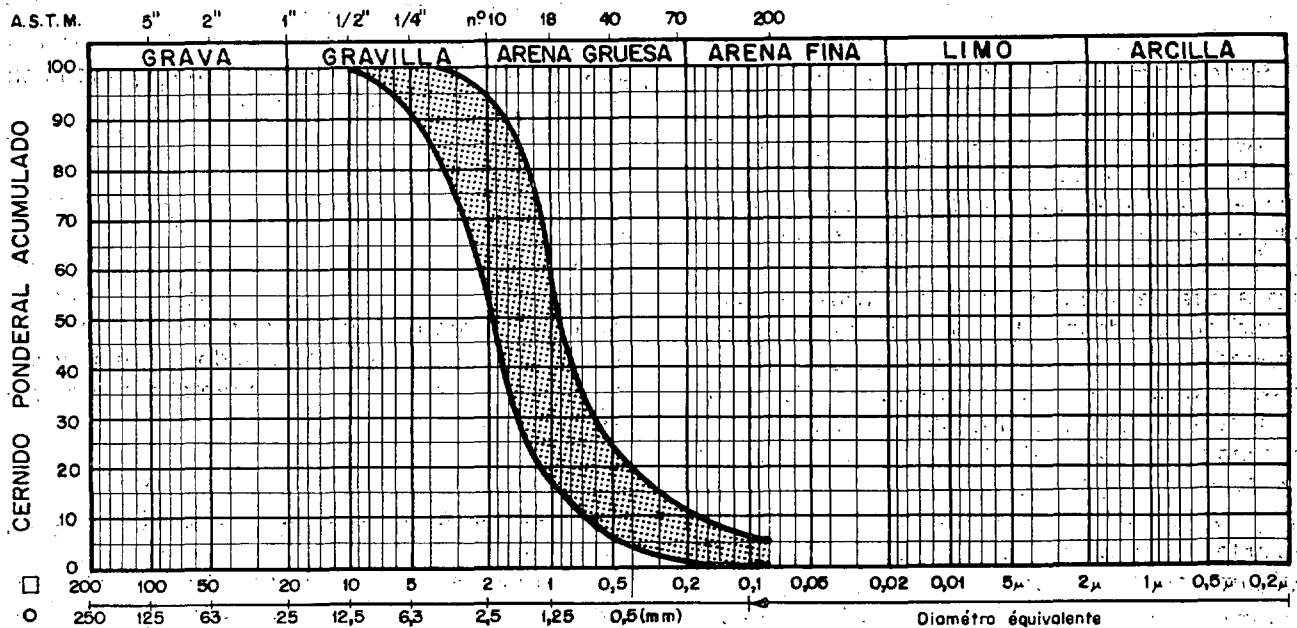


Fig. 2.^a— El enfriamiento brusco, por una potente corriente de agua, de la escoria fundida, da lugar a una división del material en elementos de 0/5 mm., con granulometría adaptada a husos de este tipo.

ca que permitirá aumentar el volumen anual —ya grande en algunas regiones de Francia— de capas de grava-escoria.

Como catalizador básico del fraguado se emplea cal gruesa apagada (1) en proporciones del orden del 1 por 100. Esta cal presenta ventajas de economía, facilidad de empleo e insensibilidad al agua. La sosa es mejor cuando se emplean escorias de menos reactividad y áridos no muy limpios.

La variedad de áridos aptos para ser trata-

Los áridos procedentes de cantera y, por tanto, de machaqueo integral, son deficitarios en la fracción 0/5 mm., y por ello, otra de las ventajas de la incorporación de la escoria granulada es la corrección de la granulometría; (2), lo que mejora la estabilización mecánica, muy importante en el período de prefraguado, en que las capas extendidas soportan el paso del tráfico. También mejoran la estabilidad mecánica, aunque desde luego no en tal proporción en las arenas finas y arenas rodadas de río.

(1) Es una cal aérea apagada, que en la muestra calcinada contiene como máximo el 5 por 100 de óxido de manganeso (MgO), del tipo de la definida por la Norma UNE 41 066.

(2) En el proceso de machaqueo es muy difícil obtener un 40 por 100 de la fracción 0/5 mm., si se incorpora un 20 por 100 de escoria, bastará con que el árido natural contenga el otro 20 por 100.

Por lo que respecta al efecto químico, la escoria granulada al fraguar produce la aglomeración del árido natural y con ello el monolitismo de la capa estructural del firme de que forma parte.

Las resistencias inicial y final no se corresponden como en las bases de grava-cemento, así pues, mezclas que al principio dan resistencias a la compresión que pueden variar de 1 a 10, al cabo de dos meses tienen la misma resistencia. Variando la proporción de escoria granulada y de catalizador, se pueden obtener resistencias diferentes. La resistencia inicial depende del catalizador y la final de la escoria.

Como índice de la variación de la resistencia a la compresión en función de la proporción de escoria incorporada, damos los siguientes valores correspondientes a un árido silíceo de río:

<u>% de escoria granulada</u>	<u>R_c a los 60 días</u>
10 %	19 Kgf/cm. ²
20 %	35 Kgf/cm. ²
30 %	46 Kgf/cm. ²

Las resistencias alcanzadas en períodos más cortos son notablemente inferiores, como puede verse en el diagrama adjunto.

El fenómeno de fraguado es típico en las mezclas de grava-escoria; muy lento hasta los siete días, período en el que se comporta como una capa granular estabilizada mecánicamente. Esto es una gran ventaja para la extensión, compactado y perfilado, ya que hay holgura para las distintas fases de la ejecución y se puede trabajar sin urgencias, con gran flexibilidad. Después de una primera compactación se puede perfilar de nuevo si hace falta y aprovechar el material sobrante para relleno de depresiones. Esto puede hacerse aun después de cuatro días de la extensión de la capa. Si la granulometría es buena y elevada la proporción de árido de machaqueo, la carretera puede seguir abierta al tráfico, trabajando sobre el ancho total.

No hay que olvidar las condiciones climáticas. En los días calurosos la reducción del agua de humectación retrasa el fraguado y es preciso regar durante dos o tres días. La humedad óptima para capas de grava-escoria es del orden del 10 por 100. Los riegos ligeros sucesivos pueden dispensar de un riego de curado, que en todo caso se hará con emulsión aniónica, ya que la catiónica perjudica el fraguado de la par-

te superior, por neutralizar los efectos del agente catalizador. Puede emplearse también una solución de cloruro cálcico al 1 por 100.

El mezclado debe hacerse en planta, ya que en una mezcla *in situ* no se llegaría a las necesarias condiciones de homogeneidad en la distribución y parte del árido natural quedaría sin tratar. Las plantas son las mismas que se emplean para grava-cemento o plantas asfálticas. Entre las primeras se emplean algunas con capacidad de 200 y hasta 300 toneladas/hora. El extendido se hace generalmente con niveladoras y la compactación con dos o tres pasadas de un rodillo vibratorio seguido de otro de neumáticos, que da una superficie más cerrada.

Las bases de grava-escoria se compactan muy bien, y por el efecto conjugado de compactadores y tráfico, se ha llegado a veces a densidades del 110 y hasta del 115 por 100 del Proctor modificado; normalmente, en obra se pide el 100 por 100 de esta densidad patrón.

Considerando que las temperaturas bajas retrasan el fraguado, conviene suspender las obras en noviembre; sin embargo, dada la insensibilidad al agua de las mezclas de grava-escoria, podrá trabajarse sin peligro normalmente a partir de marzo.

6. Refuerzo de firmes en capas de grava-escoria.

Las capas de árido natural tratado con escoria granulada de gran potencial hidráulico constituyen una excelente solución para el refuerzo de firmes flexibles de insuficiente capacidad portante para el tráfico que por ellas circula.

En Francia, en el departamento de Saône et Loire, se han empleado con éxito desde 1961 para el refuerzo de 700 kilómetros de carreteras nacionales y departamentales, lo que supone un volumen de unos 700 000 metros cúbicos de grava-escoria.

La rigidez que confiere a la capa el fraguado de la escoria granulada, cuando ésta es lo suficientemente reactiva y la proporción que se incorpora está bien dosificada, da lugar a que su efecto reductor de las deflexiones del firme reforzado sea superior al de las mezclas asfálticas de alta calidad. Para expresar esto de modo cuantitativo nos referiremos al concepto

de "potencia de refuerzo" (1). Las potencias para aglomerados de capa de rodadura, con árido duro de gran angularidad y betún de baja penetración (40/50) es como máximo 7, mientras que la de una mezcla de grava-escoria puede llegar hasta 10.

El espesor del refuerzo se determina a partir de los valores obtenidos para la deflexión ca-

malmente de 200 a 50 (2) después de un período de endurecimiento suficiente de la capa, que oscila entre seis meses y un año. En el gráfico puede verse la ley de reducción de las deflexiones a lo largo del tiempo para tres tramos reforzados de una misma carretera; en la variación influyen las características estructurales del pavimento antiguo.

VARIACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE UNA MEZCLA DE GRAVA-ESCORIA EN FUNCION DE LA PROPORCION DE ESCORIA GRANULADA

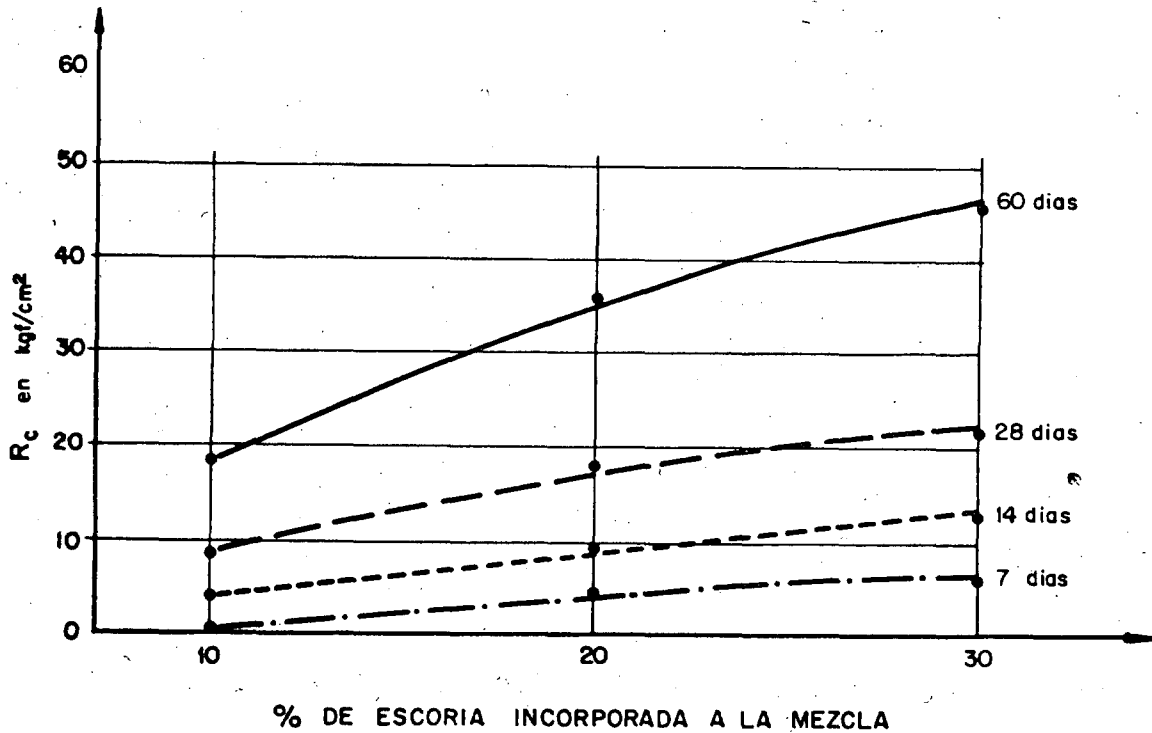


Fig. 3.^a — La resistencia a la compresión simple de una mezcla de grava-escoria depende de la proporción de escoria granulada, que es el agente reactivo. En el gráfico pueden verse los valores de la resistencia para diferentes períodos de fraguado y distintas proporciones de escoria.

racterística en la auscultación del tramo que se lleva a cabo con el deflectógrafo Lacroix. Sobre los tramos reforzados la deflexión se reduce nor-

(1) La "potencia de refuerzo" viene dada por la expresión: $P = \frac{100}{e}$ (cm.), siendo e el espesor de la capa de mezcla asfáltica que hay que aplicar a un pavimento para reducir a la mitad la deflexión producida por paso de un eje-patrón. Este concepto es básico en el método experimental Colas. Véase sobre este tema nuestro artículo: "Refuerzo de firmes flexibles con capas de mezcla asfáltica". *Revista de Obras Públicas*, febrero 1967.

En nuestro viaje hemos tenido ocasión de ver dos obras en marcha de refuerzo de firme, ambas en el Departamento francés antes citado.

Corresponde la primera a la carretera nacional RN-63, de Moulins a Basilea, con una IMD de 2 000 vehículos. El refuerzo, cuyo espesor se calculó en función de las deflexiones registradas, se ha proyectado a base de una capa

(2) Las deflexiones se expresan en centésimas de milímetro.

de grava-escoria protegida con un doble tratamiento superficial — sin imprimación previa — en el que el ligante es una mezcla de alquitrán-betún. Este revestimiento se considera suficiente como capa de rodadura, teniendo en cuenta el tráfico en el tramo y la regularidad, rigidez e insensibilidad al agua de la capa que cubre.

El espesor de esta capa es de 15 centímetros, siendo el tamaño máximo del árido natural de 30 milímetros. Nos informan de que los criterios más recientes han reducido esta dimensión límite a 25 milímetros para evitar la segregación.

Se emplean gravas machacadas a las que se añade arena para aumentar la fracción fina — inferior a 5 milímetros — hasta un 30 por 100; el resto se completa con la escoria incorporada.

La escoria utilizada es de dos tipos, que se distinguen claramente en el acopio por su color y finura de molido. Una es de color claro, de granulometría más fina, es muy reactiva y más cara. La otra es oscura, de molido más grueso, menos reactiva y más barata.

La composición de la mezcla es la siguiente:

70 % de árido silíceo semimachacado.

10 % de arena fina.

7 % de escoria de gran reactividad.

13 % de escoria menos reactiva.

Como catalizador se emplea cal grasa apagada, con gran finura de molido, en proporción del 1 por 100.

La mezcla se extiende con niveladora en todo el ancho de la calzada y se compacta con un rodillo vibratorio de 1,5 toneladas, seguido de uno de neumáticos de 3,5 toneladas. No se escarifica el firme antiguo. El rendimiento medio de puesta en obra es de 1 000 toneladas/día de grava-escoria.

La otra obra de refuerzo que visitamos corresponde a un tramo de la carretera RN-6, de París a Lyon, que está a continuación de la autopista del Sur (A-6) y tiene actualmente una IMD de 6 000 vehículos.

El árido inerte que se emplea en la capa es de machaqueo de pórfido, 0,25 mm. y procede de una cantera situada a 30 kilómetros, al que se añade un 20 por 100 de arena también de pórfido. El espesor de la capa de refuerzo es de 20 centímetros y la escoria incorporada corresponde a los mismos tipos y proporciones antes indicados. Sobre la base de grava-escoria se establece una capa de rodadura de mezcla asfáltica de 5 centímetros de espesor.

7. Aspecto económico.

Como en todo problema de ingeniería, los aspectos técnicos y funcionales quedan incompletos, si no se considera el coste a que resultan las unidades de obra. Sobre este punto, y aunque con todas las salvedades que no hay que olvidar al pasar de un país a otro: niveles de vida, mano de obra, organización de producción, costes del transporte, daremos unas ideas sobre precios que puedan servir de orientación y que referimos a pesetas.

Según nuestra información, el coste de la tonelada de escoria granulada, acopiada en planta en la región que visitamos, es de 35 francos, o sea 430 pesetas. La distancia de transporte desde la factoría siderúrgica es de 400 kilómetros.

El transporte se hace por ferrocarril en trenes completos de 900 toneladas, o por río, en barcas de 250 toneladas. Hay tarifas especiales con descuentos del 20 a 25 por 100 por expediciones completas, y mayores aún si se aseguran ciertos volúmenes anuales.

El precio de una tonelada de mezcla de grava-escoria está integrado por las siguientes partidas:

0,800 Tn. de árido a 75 ptas.	60,00 ptas.
0,200 Tn de escoria granulada a 430 pesetas	86,00 ptas.
0,010 Tn. de cal a 1 500 ptas.	15,00 ptas.
Fabricación y puesta en obra	64,00 ptas.
Transporte al lugar de empleo ($d_t = 20$ Km.)	50,00 ptas.
Varios y resto de obra	10,00 ptas.
TOTAL	285,00 ptas.

Para una densidad de 2,2 Tn./m.³, el coste del metro cúbico de mezcla resulta a 627,00 pesetas.

8. Consideración final.

En lo que antecede hemos informado sobre los múltiples usos de las escorias en los firmes, de lo que se desprende la necesidad y conveniencia de ordenar la producción de modo que este material se aproveche al máximo y en condiciones que garanticen su buen comportamiento en las capas resistentes de la infraestructura de carreteras y autopistas.

Reviste el mayor interés el empleo de la es-

coria granulada, que por su potencial hidráulico actúa como aglomerante del árido inerte, dando origen a capas de gran rigidez, apropiadas para bases en vías de tráfico pesado o como refuerzo de carreteras de insuficiente capacidad portante.

En Francia el volumen de escoria granulada supone ya el 30 por 100 del total empleado en carreteras, y la proporción tiende a aumentar, principalmente por la intensa campaña de re-

escorias de horno alto, en una labor coordinada de investigación y creación: los Servicios de Carreteras, estudiando unas especificaciones concretas de recepción y empleo en obra, y las empresas siderúrgicas planeando las instalaciones de tratamiento correspondientes que permitan una producción rentable.

Hacemos votos porque se llegue pronto a un esfuerzo conjunto que dé sus frutos. En otros países ya lo han conseguido y no hay razón para

EVOLUCIÓN DE LA DEFLEXION EN FUNCION DEL TIEMPO PARA TRES TRAMOS DE UNA CARRETERA REFORZADA CON UNA CAPA DE GRAVA-ESCORIA

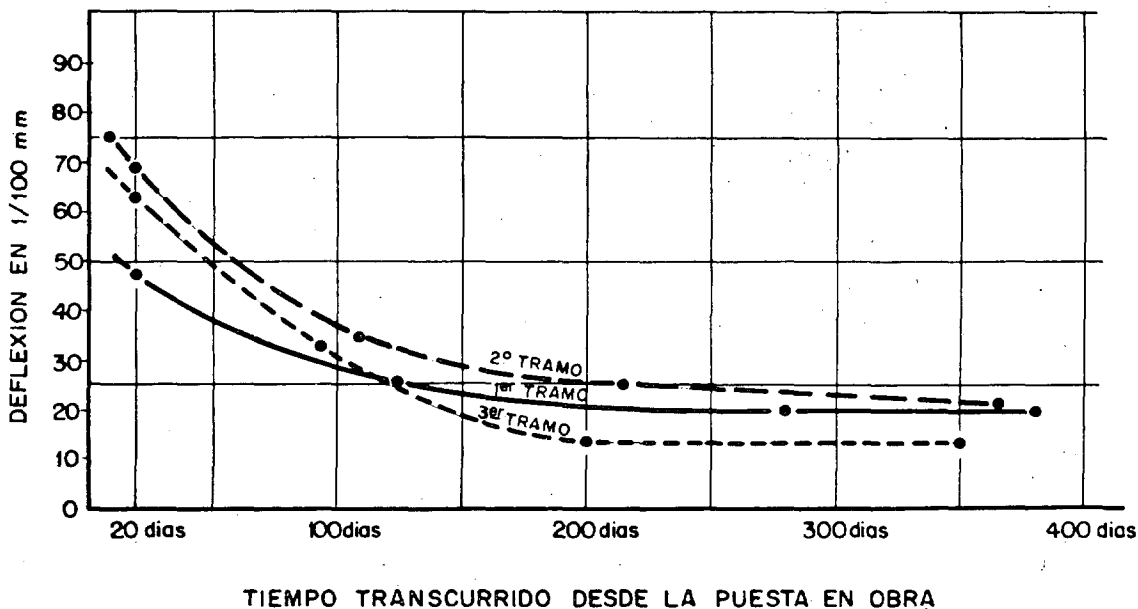


Fig. 4.^a— A medida que por el fraguado de la capa de grava-escoria con que se ha reforzado un firme, aumenta ésta de rigidez, disminuyen las deflexiones que se producen al paso de un eje-patrón, como puede verse en el gráfico. La reducción de las deflexiones dependen también de las condiciones estructurales del firme que se refuerza, como se acusa para los tres tramos auscultados a los que corresponden las curvas dibujadas.

fuerzos, para los que, en una buena parte, se adopta la solución de áridos tratados con este tipo de escoria.

Adquieren con ello preponderancia los sistemas de enfriado por agua adaptados a condiciones que permitan obtener un material que satisfaga las normas cada vez más exigentes de los Servicios de Carreteras.

Entrevemos un esquema de planteamiento para la ordenación del aprovechamiento de las

que seamos menos que ellos. Tenemos la ventaja de que podemos aprovechar su valiosa experiencia, aunque eso sí, adaptándola a nuestras peculiares condiciones. El trabajo continuo de un equipo de técnicos movido por la confianza en el éxito de este nuevo material, puede llevarnos al aprovechamiento racional y normalizado de las escorias, que ofreciendo todas las posibilidades indicadas, hoy son, en su mayor parte, una pérdida y un obstáculo.