

ARTÍCULOS EN DIVERSAS PUBLICACIONES SOBRE TIERRAS POR MANUEL MATEOS DE VICENTE

1. Las cenizas volantes con propiedades cementicias, otra alternativa de ahorro energético – “Química Hoy”- Sep, 1991.
2. Control de Calidad. La ASTM – “Induequipo” – Jul-Agosto 1990.
3. Utilización de las cenizas volantes en la construcción “Editeco”- Junio 1989.
4. El problema de las cenizas volantes como parte de un problema nacional – “DYNA” - Nov, 1987.
5. Normas ASTM para análisis y evaluación de las cenizas volantes “Arte y Cemento” - Sep, 1987.
6. Colocación de tubos sin abrir zanjas - “Potencia” – Noviembre, 1972.
7. LOAM - “Granja” – enero, 1967.
8. Los revestimientos con lechado bituminoso - “Ingeniería Internacional Construcción” - Mayo, 1966.
9. Puente-túnel para el San Lorenzo – “Ingeniería Internacional Construcción” – Mayo, 1966.
10. Cal y cenizas volantes como medio estabilizador. “Ingeniería Internacional Construcción” – Octubre, 1965.
11. Características Físicas de los Caminos Vecinales. “Caminos y Construcción Pesada”- Junio, 1963.
12. Las Lejías Negras en la Estabilización de Pavimentos de Suelo-Agregados, “Caminos y Construcción Pesada”- Agosto, 1963.

COMO DESCUBRI EL CEMENTO MAS BARATO DEL MUNDO

LAS CENIZAS VOLANTES CON PROPIEDADES CEMENTICIAS OTRA ALTERNATIVA DE AHORRO ENERGETICO

Manuel MATEOS DE VICENTE

Doctor Ingeniero de Caminos, C. y P. Doctor of Philosophy (Iowa State University)

Para la tesis de Master of Science, tuve que elegir un tema de investigación original. Entre los muchos que se me ofrecían, teniendo en cuenta que habría de ser una aportación a los conocimientos en las técnicas de carreteras, elegí uno que combinaba tres aficiones mías:

- Firmes para carreteras.
- Mejora del medio ambiente.
- Geotecnia.

El tema elegido fue la utilización de las cenizas volantes en la construcción de carreteras enfocado hacia la mejora de la resistencia de los suelos existentes en la traza de las carreteras o caminos.

Las cenizas volantes se producen en las centrales térmicas que queman carbón pulverizado. La sociedad exige que no se expulsen a la atmósfera, sino que se recojan antes que salgan por las chimeneas. En aquella época, 1956, se recogían en Estados Unidos unos 10 millones de toneladas de dichas cenizas al año. (Actualmente se recogen unos 70 millones y en España unos 10 millones)

Las cenizas son una puzolana artificial, de propiedades parecidas a las puzolanas naturales procedentes de zonas volcánicas o de ladrillos machacados. Las puzolanas son un material bien conocido pues su uso data de épocas prerromanas. Se vienen usando desde hace miles de años para hacer hormigón, mezcladas con cal, nunca solas. Nos interesaba saber el comportamiento de las cenizas para tratar de cementar suelos, mezcladas con cal como se venía siempre haciendo con las puzolanas naturales.

Hasta entonces nadie había investigado si las cenizas volantes pudieran ser

un auténtico cemento por sí solas, sin ir acompañadas de cal. Una vez terminada la tesis para el Master (citada en la referencia 1, al final), seguí ampliando estudios superiores con vistas a obtener un doctorado. En la tesis doctoral pretendía analizar la utilización de una amplia gama de cenizas para tratar de estabilizar unos suelos variados (Ref. 2).

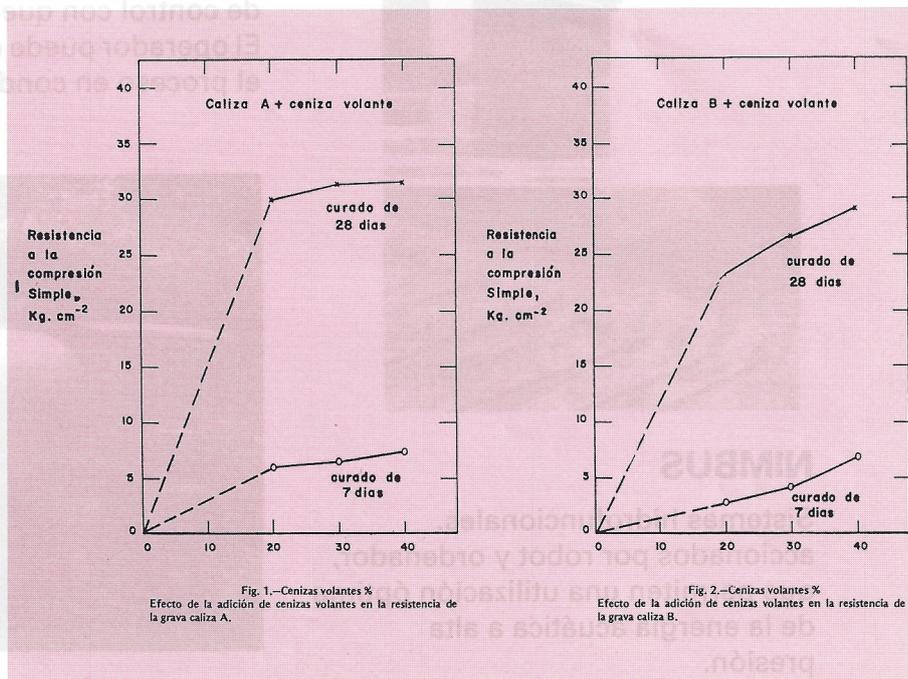
Reuní 22 barriles con cenizas procedentes de lugares dispersos de Estados Unidos, para su análisis.

En el trabajo para la tesis doctoral utilicé las cenizas con cales, como era

natural. Para hallar los efectos relativos comparé los resultados con los obtenidos por otros métodos de estabilización de suelos conocidos, para tener una mejor visión comparativa de la posible aplicación de las cenizas volantes.

Empecé a investigar varios aspectos de las 22 cenizas volantes que tenía disponibles:

- Composición por difracción de rayos X.
- Análisis con microscopio electrónico.





- Expansividad.
- Influencia del azufre.
- Tratamiento a diversas temperaturas.
- Fabricación de ladrillos, etc.

En los análisis por difracción de rayos X fue fácil de ver la composición mineralógica de las cenizas. Descubrí que algunas mostraban amplios picos característicos de la existencia de cal activa, y en alguna de ellas la cal aparecía en cantidades importantes (Ref. 13). Por ello se me ocurrió analizar la posible resistencia inherente en algunas cenizas. Los resultados obtenidos se pueden ver en los gráficos adjuntos. Fueron muy positivos.

Hay que tener en cuenta que entonces (1961) estas cenizas con características cementicias se tiraban al vertedero. Por ello he titulado esta comunicación como el cemento más barato del mundo, pues su coste era nulo. Después en la práctica profesional me he enfrentado con otros problemas difíciles de estabilidad geotécnica y descubrí otros dos cementos, pero estos ya no son baratos (Ref. 12).

Los resultados obtenidos en 1961 los presenté primero en Iowa Academy of Sciences (Ref. 3 y 4) y después otros más amplios en la National Academy of Sciences (Ref. 5), ambas en Estados Unidos. Posteriormente apliqué el descubrimiento a la fabricación de ladrillos y lo presenté en la ASTM-American Society for Testing and Materials (Ref. 6). Uno de los trabajos sobre el tema se publicó posteriormente en español (Ref. 7).

No tengo noticias de que se utilice este cemento barato en España, donde se producen cantidades inmensas de estas cenizas-cemento; tal vez dos millones de toneladas al año en la actualidad. Estas cenizas tienen varias aplicaciones en la construcción como fabricación de ladrillos y bloques, tapiales, paredes maestras y particiones.

Las cenizas con cal o como aditivo al hormigón tardaron en usarse en España, tema que he tratado en numerosas comunicaciones (Ref. 8 a 11 y 14 a 17). Afortunadamente ya se están usando.

Espero que las cenizas con propiedades cementicias inherentes se usen en España, pues ello puede suponer un ahorro de energía disminuyendo el consumo de otros cementos que necesitan para su fabricación gran cantidad de energía. En la mencionada Universidad del Estado de Iowa, donde estudié, están actualmente investigando sobre la posible fabricación de grava artificial con las cenizas-cemento que descubrí.

BIBLIOGRAFIA

Efecto de la incorporación de oligoelementos en las resistencias de mezclas de arena de Ottawa, cal y cenizas volantes (en inglés). Tesis para el Master of Science, por Manuel Mateos, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, 1958.

Estabilización de suelos del Estado de Iowa con cal y cenizas volantes (en inglés). Tesis para el Doctor of Philosophy, por Manuel Mateos, Iowa

State University of Science and Technology, Ames, Iowa, 1961.

Cementitious properties of some Iowa fly ashes without lime additives, por M. Mateos y D. T. Davidson, PROCEEDINGS, Iowa Academy of Sciences, Vol. 69, 1962.

Stabilization of two Iowa soils with fly ash alone, por M. Mateos, PROCEEDINGS, Iowa Academy of Sciences, Vol. 70, 1963.

Stabilization of soils with fly ash alone, por M. Mateos, HIGHWAY RESEARCH RECORD, National Academy of Sciences - National Research Council, Nº 92, 1964.

Sand-fly ash bricks, por M. Mateos, MATERIALS RESEARCH AND STANDARDS, ASTM, Vol. 4, Nº 8, Agosto 1964.

Estabilización de dos tipos de caliza con cenizas volantes solamente, por M. Mateos, CIMBRA, Diciembre 1977.

Los conocimientos de las cenizas volantes hace 30 años, por M. Mateos, CIMBRA, Octubre 1986.

Hormigón con adición de cenizas volantes en cuantía elevada, e influencia de los aditivos en el mismo, por M. Mateos, CIMBRA, Diciembre 1978.

Contribución a la utilización de las cenizas volantes, por M. Mateos, CIMBRA, Junio 1987.

La utilización de las cenizas volantes en la estabilización de suelos, por M. Mateos, CIMBRA, Junio 1988.

Efecto de la difusión de sales potásicas en la resistencia de una arcilla marina de Noruega, por M. Mateos, REVISTA DE OBRAS PUBLICAS, Septiembre 1982.

Steam curing and X-ray studies of fly ashes, por M. Mateos y D.T. Davidson, PROCEEDINGS, ASTM, Vol. 62, 1962.

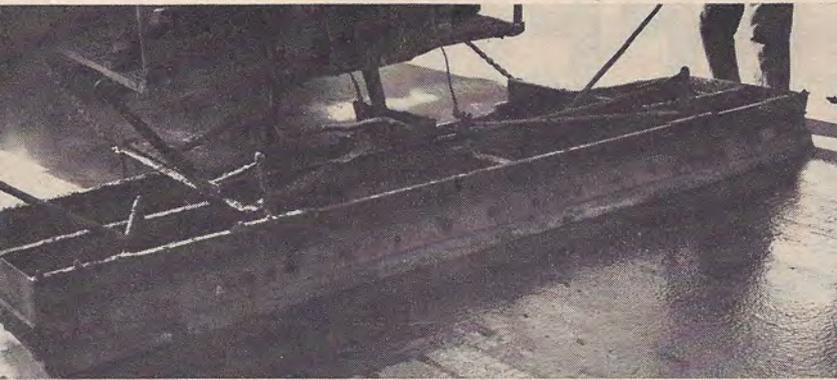
Sobre El empleo de las cenizas volantes en capas de bases de firmes de carreteras, por M. Mateos, REVISTA DE OBRAS PUBLICAS, Marzo 1989, Pág. 211 a 213.

Sobre El empleo de las cenizas volantes en la fabricación de hormigones, por M. Mateos, REVISTA DE OBRAS PUBLICAS, Enero 1989, Pág. 49 a 51.

Sobre Hormigón con adición de cenizas volantes en cuantía elevada e influencia de los aditivos sobre el mismo, por M. Mateos, REVISTA DE OBRAS PUBLICAS, Febrero 1987, Pág. 111 a 113.

Estabilización de suelos de Alaska con aditivos inorgánicos, por M. Mateos y D.T. Davidson, REVISTA DE OBRAS PUBLICAS, Agosto 1963.

NOTA: Una selección de las publicaciones del autor, en español, sobre las cenizas volantes, incluyendo algunas de las referencias citadas aquí, la distribuye Editorial Bellisco, Apartado 156.133, 28020 Madrid.



ARRIBA, un distribuidor-alisador mecánico acoplado a la mezcladora de flujo continuo, brinda un acabado perfecto evitando pérdidas de material. **ABAJO**, la mitad de un pavimento tratado contrasta con la calzada aún sin regenerar.



LA CARRETERA Toledo-Madrid en sus tramos adoquinados será tratada con el "slurry". La emulsión asfáltica ofrece una solución económica.

Los revestimientos con lechado bituminoso

Por Manuel Mateos, Ing.

UN NUEVO tipo de aglomerado muy fluido, con emulsión asfáltica, conocido en los países de habla inglesa con el nombre de *slurry*, se está empleando cada vez más en revestimientos de carreteras. Este aglomerado es un lechado que se emplea en capas muy finas sobre pavimentos. Sus aplicaciones más corrientes son:

- Para sellar, por lo general en frío, aglomerados ya curados que se han abierto.
- Para sellar, en caliente, aglomerados abiertos o semicerrados.
- Para sellar aglomerados cerrados de calles o carreteras. Esta operación protege y da al pavimento una terminación más fina y agradable.
- Protección y regeneración de pavimentos envejecidos.
- Sellado sobre riegos superficiales.
- Relleno de juntas entre adoquines

y tratamiento general de adoquines.

—En general, para rellenar cualquier tipo de pavimento asfáltico no citado anteriormente, que tenga huecos o fisuras en la superficie.

Las aplicaciones del lechado asfáltico son específicas. En los tratamientos enumerados arriba este tipo de emulsión puede ser el único procedimiento de reparación realizable de una manera económica. Debido a los variados y útiles usos del "slurry" y a que cada vez es empleado con más profusión, presentamos aquí algunas características técnicas de su preparación y la enumeración de los materiales componentes.

Materiales del aglomerado

La emulsión asfáltica incorpora principalmente arena y otros agregados minerales.

• *Aridos*—Los áridos que se emplean son arenas naturales o de machaqueo, escorias, o una combinación de ambas. Los áridos han de estar limpios y exentos de materia vegetal y de otras sustancias perjudiciales. El contenido de arcilla debe ser mínimo, recomendándose que el equivalente de arena sea superior a 45. Las granulometrías empleadas más comúnmente son las detalladas en el Cuadro 1.

• *Emulsión*—Se empleará una emulsión aniónica o catiónica, recomendándose que cumpla los requisitos indicados en el Cuadro 2.

• *Agua y material de relleno*—El agua debe ser potable y estar exenta de sales solubles nocivas. Se puede emplear material de relleno mineral corriente o cemento Portland.

Diseño de la mezcla

La proporción más adecuada de los materiales es la siguiente:

(*Sigue en la página 56*)

Los revestimientos . . .

(Viene de la página 52)

75 partes de arena, entre tamices #20 y #200
75 partes de material de relleno, que pasa el tamiz #200
15 a 20 partes de emulsión

Agua en cantidad necesaria para obtener la fluidez adecuada en la mezcla; generalmente de 15 a 20 por ciento del peso del árido.

Ejecución de la mezcla

El agua tiene la misión de facilitar el manejo del producto. En verano, cuando la superficie del pavimento—sobre todo si es oscuro—alcanza altas temperaturas, se empleará una mayor proporción que en invierno, pues durante el extendido se evapora el agua con bastante intensidad.

A mayor proporción de agua corresponde una mayor fluidez, lo que se refleja en el espesor de la capa, es decir, con mayor cantidad de agua en la mezcla se podrá colocar una capa más delgada de lechado.

El manejo de la pasta y su mezcla con el agua es sencillo; puede hacerse con las herramientas corrientes para el manejo del mortero de cemento; artesas de madera, batidoras, palas, cubos, etc. Igualmente se puede mecanizar la operación por medio de amasadoras de aspas e incluso con hormigoneras, que se debe remover cada vez que se saque material del recipiente de amasado.

El producto, tal como se fabrica en pasta, puede almacenarse por tiempo prácticamente indefinido si los envases están bien tapados. Cuando se añade el agua para preparar la lechada, debe ser gastada en seguida, pues aunque no sufre alteración en sus componentes, puede sedimentarse la arena en el fondo y resultar trabajoso agitar la mezcla para volverla homogénea de nuevo.

Aplicación del lechado

Desde el recipiente donde se ha mezclado la pasta con el agua se llevará el material a las zonas de empleo por medio de cubos o carretillas. Desde estos recipientes se verterá sobre la zona que se desea revestir, procurando dejar hecha una primera distribución.

El extendido o acabado final se ejecuta por medio de cepillos con mango. Si son largos los cepillos, el rendimiento del trabajo será mayor. Suelen resultar prácticos los de 50 cm de ancho.

La mejor manera de realizar la obra es vertiendo el material delante del operario, que lo extiende hacia sí con

el cepillo. Los operarios de cada equipo habrán de colocarse en línea, abarcando cada uno una anchura de uno y medio a dos metros.

Al terminar el avance del cepillo, debe removerse el material adherido sacudiéndolo contra el suelo en la parte aún no tratada. Al avanzar el cepillo y dejarlo caer, procurar que la caída no sea vertical sino más bien que tome contacto con el piso cuando esté en el avance, de modo suave. De lo contrario, la huella del cepillo quedará demasiado marcada.

En general, la técnica es sencilla y cualquier brigada de trabajadores puede alcanzar la destreza necesaria en unas horas de trabajo.

Para grandes obras, la operación de extendido se puede mecanizar también por medio de una rastra de cepillos de brezo y goma y por medio de canaleta para verter el lechado delante de la rastra.

Dosis y capas

Generalmente se aplica el lechado en dos capas. Con la primera se colman los huecos y con la segunda se logra una terminación más fina al corregir con ésta los defectos de la primera. Antes de aplicar el segundo revestimiento se esperará a que seque bien la primera capa. Si se desea conseguir más espesor en el tratamiento, se darán varias capas sucesivas, pero siempre esperando que seque bien la

precedente.

El consumo por metro cuadrado es variable, dependiendo de los huecos que haya que rellenar. Como orientación pueden darse los siguientes consumos aproximados:

—Sobre aglomerados densos, envejecidos y agrietados se consume para la primera capa 1,5 kg/m² y para la segunda 1 kg/m².

—Sobre aglomerados abiertos el consumo para la primera capa es de 2,5 kg/m² y 1 kg/m² para la segunda.

—Sobre riegos se aplican unos 3 kg/m² para el primer revestimiento y la mitad de esta cantidad para el segundo.

Secado y tráfico

El secado depende de las condiciones atmosféricas. En buen tiempo es cuestión de horas. Si hay demasiada humedad en la atmósfera puede tardar incluso más de un día.

La lluvia es catastrófica si se produce durante los primeros minutos después de aplicado el producto. Los efectos dañosos de la misma disminuyen a medida que pasa el tiempo y resultan despreciables cuando el lechado seca por completo.

El tráfico puede ser autorizado tan pronto como el material haya secado superficialmente, pero cuando concorra tráfico con lluvia, aquél será demorado hasta que el producto seque por completo. □

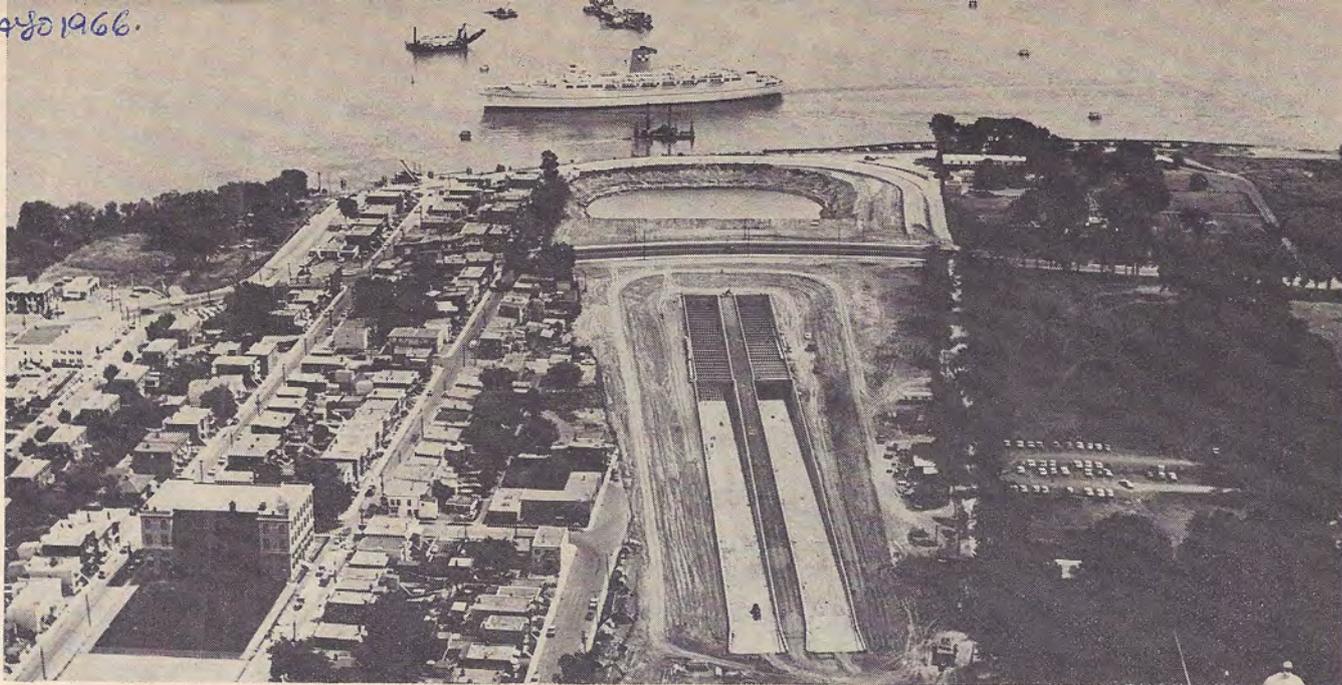
CUADRO NO. 1.—GRANULOMETRIA RECOMENDADA PARA LA ARENA

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	A	B	C
1/4"	—	100	100
No. 4	—	85-100	70-95
No. 8	100	65-90	45-70
No. 16	65-90	45-70	28-50
No. 30	40-60	30-50	19-34
No. 50	25-42	18-30	12-25
No. 100	15-30	10-21	7-18
No. 200	10-20	5-15	5-15

CUADRO NO. 2.—CARACTERISTICAS DE LAS EMULSIONES RECOMENDADAS

Ensayo	Aniónica	Catiónica
Viscosidad, S.-Furol, 250°C	20-100	20-100
Contenido en asfalto, %	57-62	57-62
Retenido tamiz #20, % máx.	0, 1	0, 1
Sedimentación 5 días, % máx.	3	—
Carga de las partículas	Negativa	Positiva
pH	—	—
Ensayos con el residuo:		
Penetración, 100 g, 5 s, 25°C	40-90	60-120
Soluble in CS', % min.	98	97,5
Ductilidad, 25°C cm/min	60	60

MAYO 1966.



ESTADO de las obras después de terminado el extremo sur. Las pendientes de entrada y salida del túnel se han establecido en 4,5%, quizás un poco pronunciadas.

Para enlazar Montreal y la isla de Boucherville se determinó que es más económico un

Puente-túnel para el San Lorenzo

Por Manuel Mateos, Ing.

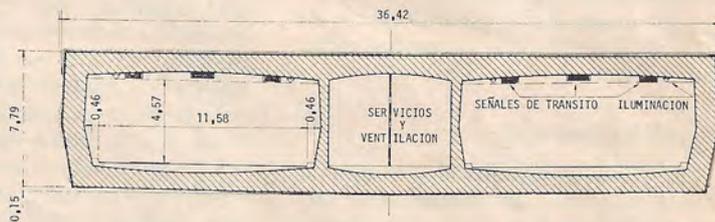
MONTREAL espera terminar antes de la apertura de la Exposición Internacional de 1967 la construcción del puente-túnel Louis-Hipolyte Lafontaine. La obra conmemora a Lafontaine, que fuera Primer Ministro del Canadá durante 1848-51; nacido en el pueblo de Boucherville.

El puente-túnel se construirá por un método análogo al empleado en la obra sobre la bahía de Chesapeake. Forma parte de la carretera transcanadiense.

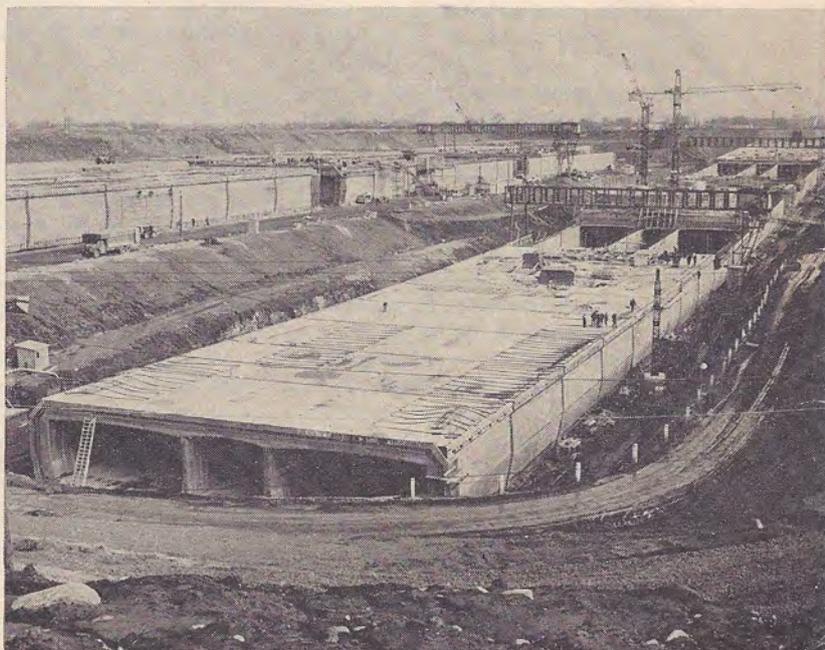
El perfil

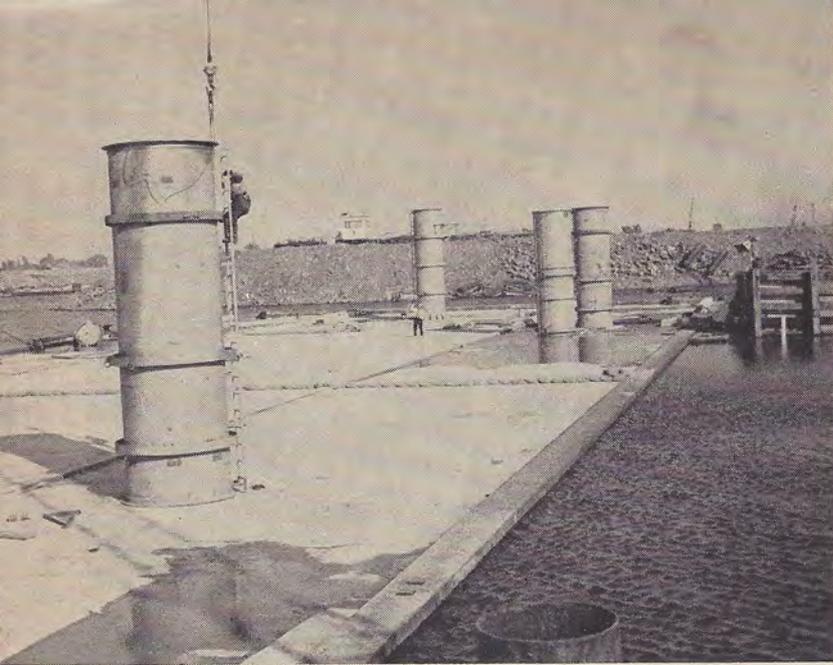
La profundidad a que el túnel está situado viene determinada por el calado de los barcos, habiéndose establecido éste en 12,20 metros. Las pendientes de entrada y salida se han establecido en 4,5%, que resulta en declives bastante pronunciados. Sin embargo, dada la reducida longitud de estas pendientes—unos 300 m cada una—se cree que las mismas serán fácilmente negociadas por el tránsito. La longitud total del túnel y rampas de acceso es de 1.966 metros.

El punto más bajo de la calzada estará a 22,24 m de la superficie del



LAS SECCIONES de hormigón prevaciadas que integran el túnel de dos carrileras son de diseño rectangular al estilo europeo. Abajo se aprecia la obra del lado norte.





LA PARTE del túnel en medio del río ha sido construida por medio de secciones estancas que fueron hundidas llenándose con grava. El control del hundimiento se logró por medio de cuatro barcazas y cables a las cuatro esquinas de cada sección. Las "chimeneas" son tubos de inspección que se extienden a medida que la sección es hundida.

agua. Después de detallados estudios económicos la construcción del túnel fue proyectada con un tramo de 458 m, en el extremo sur, que empleará secciones de hormigón vaciado *in situ*; un tramo de 668 m a construirse por medio de siete elementos prefabricados y otro tramo en el extremo norte, de 164 m, montado con elementos vaciados en la obra.

Sección transversal

En Estados Unidos los túneles se construyen, por lo común, con secciones circulares u octogonales, mientras que en Europa—y ahora también en Canadá—se hacen con secciones rectangulares.

Los túneles de corte circular acomodan sólo hasta 2 carriles de tránsito, debido naturalmente a sus limitaciones dimensionales. Se acostumbra a construir otros tubos paralelos cuando el volumen de tránsito es superior a la capacidad de dos carriles de circulación.

Los túneles rectangulares son más adecuados cuando se necesitan más de dos carriles de tránsito. La sección rectangular, de cota menor al diámetro de un túnel circular, puede construirse o colocarse más cerca de la superficie de una corriente que admite un calado de navegación cualquiera. Las paredes laterales de las galerías rectangulares de circulación se recubren con baldosas cerámicas, dispuestas de modo que reflejen los sonidos a un techo que los absorbe.

El dique seco

El dique seco habilitado para construir la sección sur fue proyectado de dimensiones suficientemente amplias como para construir también en él las 7 secciones que incorporan elementos prefabricados. Se excavaron 11,2 hectáreas de terreno hasta una profundidad de 27,5 m. En total se trajeron 1,5 millones m³ de material.

A lo largo de todo el perímetro del dique y a la altura del lecho original del río se colocó un sistema de puntas coladoras para controlar el nivel de la napa freática dentro del dique. Aparte de este sistema se instaló otro de tubos perforados para el avenamiento, además de un sistema de zanjas cuya función también se reduce a recoger agua infiltrada. Los taludes del dique seco han sido protegidos contra la erosión con roca partida.

El túnel

Cada sección prefabricada tiene que ser más ligera que el agua, antes de ser colocada sobre su lecho, de manera que pueda ser transportada hasta el sitio de emplazamiento final. Para propiciar la flotabilidad, parte del hormigón se cuele una vez que las secciones han sido hundidas.

Para que las secciones hundidas individualmente no floten antes de que se hayan emplazado todas las demás—que oficiarán, en flotación, de puente invertido—se llenan las galerías de servicios con masivas cantidades de

grava. Se usa grava porque de emplear agua habría peligro de que las secciones se hundieran de punta.

Cada sección prefabricada pesa 32.000 toneladas y sus dimensiones son de 110 m de largo por 36,5 m de ancho y 6,8 m de alto. Para transportarlas desde el dique seco hasta su emplazamiento definitivo, las secciones se construyeron estancas. La base lleva al exterior una plancha de acero que queda incorporada a la estructura. Las paredes y el techo se impermeabilizan con una membrana bituminosa que se aplica poco antes de inundar el dique seco. (Las secciones construidas con hormigón vaciado *in situ* incorporan la membrana bituminosa antes de comenzar el relleno). En los extremos se colocan compuertas y así cada sección queda cerrada como un submarino.

Para evitar en lo posible el agrietamiento del túnel, la totalidad de la estructura se dividió en 92 secciones longitudinales, de aproximadamente 15 m de longitud cada una. Estos elementos estructurales se construyen dejando una junta de 60 cm entre ellos, que son hormigonadas una vez que la retracción inicial ha tenido lugar y cuando la temperatura del hormigón ha bajado hasta estar entre 7° y 13°C.

Hundimiento de las secciones

Esta es la parte más difícil de la fase de emplazamiento de las secciones, debido a que los elementos tienen que colocarse con una tolerancia de medio centímetro. Para excavar la zanja que ha de servir de lecho a las secciones, se necesita una draga con capacidad y alcance para excavar hasta 28 m de profundidad.

Una vez que se ha terminado la excavación del lecho, se inicia el hundimiento de los elementos. Para esto, se amarran los elementos según la posición que adoptarán al final y se cargan los mismos con piedra partida como balasto o lastre, mientras que el control del hundimiento se logra mediante cables que enlazan las cuatro esquinas de la estructura a un mismo número de barcazas.

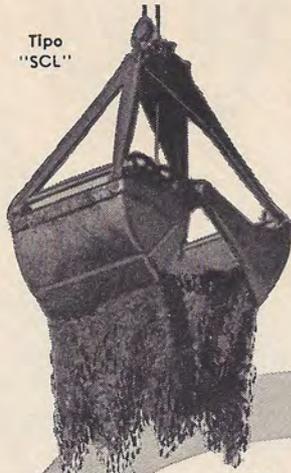
Al llegar la sección a la zanja, queda autosoportada por 4 columnas de acero activadas mediante gatos hidráulicos desde el interior de la estructura. El espacio, la luz entre la base de cada elemento y el lecho se rellena con arena inyectada a presión, hasta formar un cimientado de arena compacta. Las columnas de acero son entonces retiradas y queda así cada elemento de la estructura soportado uniformemente por el lecho de arena.

Para la unión de los elementos los trabajadores se valen de un arco que

(*Sigue en la página 78*)

Suave Manipuleo . . . con ¡Garras de Acero!

Tipo
"SCL"



Es así como expresamos que el control del operador y la poderosa dentellada es FORMIDABLE en este cucharón de nuevo diseño.

La LINEA DE GUARNICION CENTRADA hace que el cucharón permanezca a plomo durante la operación entera del ciclo; al eliminar doblar y torcer los cables se prolonga la vida de éstos del 75 al 100%.

Por su eficiencia funcional plena y la velocidad en el manipuleo de materiales, usted también exclamará ¡FORMIDABLE!

Solicite información completa

OWEN

BUCKET COMPANY

BREAKWATER AVENUE • CLEVELAND 2, OHIO

BRANCH OFFICES: New York • Philadelphia • Chicago • Berkeley, California • Fort Lauderdale, Florida

Marque el 18 en el cupón anexo

POSEMOS LOS EQUIPOS QUE ANUNCIAMOS

Volquetes de Descarga Trasera Euclid de 15-22-27 Tons.

Equipo para Canteras—Trituradoras—Cribadoras—etc.

Aplanadoras—de cilindros de acero y a neumáticos de 10 a 35 toneladas

Pavimentadoras Barber-Greene y Cedarapids, a carriles

Compresores de 365-600-900 pcm, con Air Tract

Tractores Cat & Euclid D9-D8-C6-TC12 Grúas-Palas—hasta 2¼ m³

Escriba en solicitud de información detallada en inglés o español

L. B. SMITH, Inc.

Camp Hill (Harrisburg), Pa., E.U.A.

ANUNCIOS CLASIFICADOS

OPORTUNIDADES DE EMPLEO
Y NEGOCIOS, OFERTA DE
EQUIPOS USADOS O
RECONSTRUIDOS, DE PIEZAS
DE RECAMBIO O REPUESTOS
NUEVOS Y SERVICIOS
TECNICOS DE CONSULTA

FREDERICK SNARE CORPORATION

Ingenieros y Contratistas

Obras portuarias, instalaciones, para el manejo de carga y materiales a granel, cimentaciones, instalaciones, industriales, obras hidráulicas y sanitarias, edificios, y puentes. Investigaciones, estudios, informes, proyectos, y construcción.

233 Broadway, New York, N.Y. 10007 • San Juan, Puerto Rico • Santiago, Chile • Bogotá, Colombia • Caracas, Venezuela

Puente-túnel . . .

(Viene de la página 36)

lleva un cordón de goma y sirve para sellar el espacio entre los elementos, es decir, entre las compuertas de las secciones. Luego se bombea el agua contenida en este espacio de modo que la fuerza hidrostática ayude a empujar la nueva sección contra la anterior. Esta fuerza desarrollada es de 9.000 toneladas, que ayuda al empalme de las secciones. Después se hormigonan desde el interior las juntas entre elementos. Previamente se retiran las compuertas.

Ventilación y luces

La renovación de aire se efectuará por ventiladores—instalados en vistas torres de ventilación—que aspirarán aire fresco del exterior y lo introducirán en el compartimiento central del túnel. Desde esta galería el aire se distribuye a los compartimientos de tránsito. El aire viciado escapa al exterior por las extremidades del túnel.

En cada una de las entradas se instalarán pantallas parasoles para atenuar progresivamente la intensidad de la luz diurna. En el interior del túnel la intensidad luminosa será máxima a la entrada: 1060 lúmenes, intensidad que descenderá progresivamente hasta alcanzar un valor uniforme de 127 lúmenes al interior.

Durante la noche la intensidad luminosa será de 42 lúmenes como mínimo. La pequeña pendiente de las paredes ayudará a obtener una menor iluminación en la parte baja del túnel.

Programa de trabajo

El presupuesto del puente-túnel es de 42 millones de dólares canadienses. Las obras han empezado en octubre de 1962 y se espera terminarlas en octubre de este año. El tiempo implicado para el desarrollo de cada fase es el siguiente: topografía, anteproyecto y primer concurso—8 meses; construcción del acceso a la isla Boucherville y del dique seco—8 meses; construcción de las estructuras, de los elementos vaciados *in situ* y entrega de los prefabricados—8 meses; colocación de las secciones prefabricadas—8 meses; instalación de los servicios eléctricos y mecánicos; ventiladores, torres de ventilación y acabado interior—9 meses.

En esta obra han actuado tres grupos consultores: Brett y Ouellette; Lalonde y Valois; Per Hall et Associés. Los contratistas son Atlas-Winston; Janin; Simand et Frères. □

Cal y cenizas volantes como medio estabilizador

Aquí se presentan los resultados de estudios llevados a cabo por el autor durante más de 8 años de extensas investigaciones

Por Manuel Mateos

VARIOS PRODUCTOS se emplean hoy día con los suelos para obtener un material de construcción de mejores propiedades que las del suelo original. Los estabilizadores de suelos más empleados corrientemente son el cemento y la cal. Otros, tales como la cal mezclada con cenizas volantes, parecen ser estabilizadores satisfactorios, pero no han sido muy utilizados porque sus características y reacciones, cuando se añaden a los suelos, no son bien conocidas.

Durante los últimos ocho años, el autor ha trabajado con diversos productos para estabilizar los suelos, prestando atención especial al empleo de cenizas volantes. Las cenizas volantes son un subproducto de las centrales térmicas que consumen carbón en polvo. Se consideran y se emplean como puzolana artificial conjuntamente con cemento para hacer hormigón, o en el suelo-cemento. Las cenizas volantes han sido usadas también con la cal, en la estabilización de suelos.

Los trabajos hechos con anterioridad para evaluar el empleo de la cal y de las cenizas volantes como aditivos de los suelos eran bastante limitados. Las conclusiones generales habían sido deducidas de los resultados obtenidos con una variedad muy limitada de materiales: suelo, cal, y cenizas volantes. Los factores que afectan la estabilización de suelos con cal y cenizas volantes son los siguientes:

- Tipos de cal;
- Tipos de cenizas volantes;
- Tipos de suelos;
- Proporción y cantidad de cal y cenizas volantes;
- Relación humedad-densidad-resistencia;

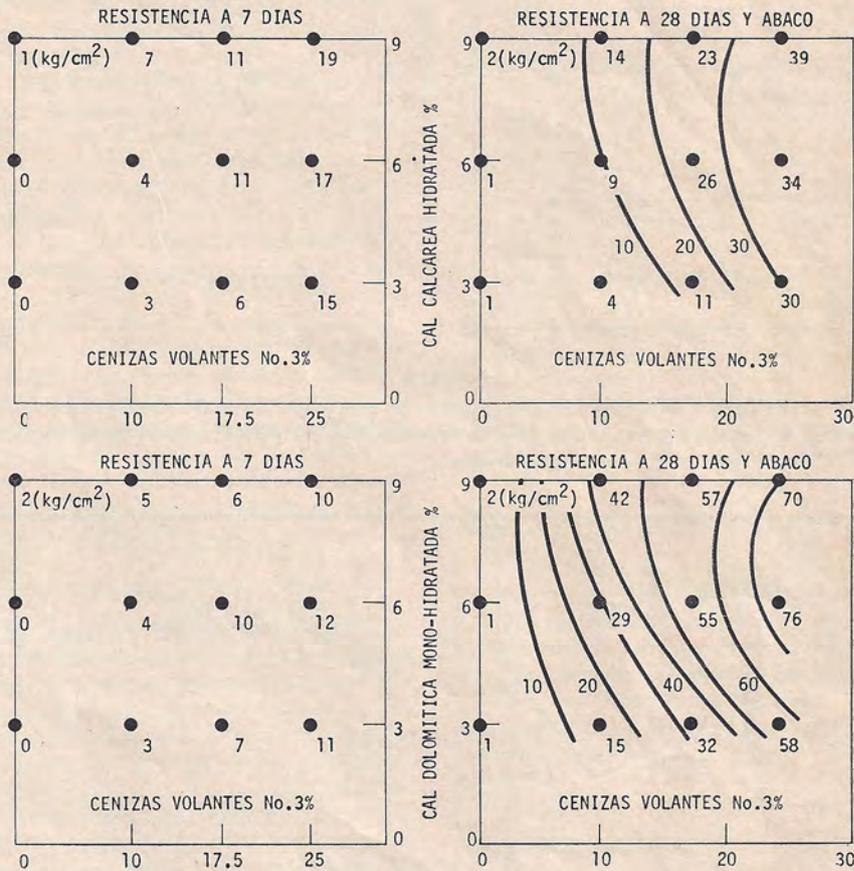


FIGURA 1
RESISTENCIA A LA COMPRESION después de inmersión de varias combinaciones de arena de duna, cal y una ceniza volante (no. 3), para periodos de tratamiento de 7 y 28 días y ábacos de resistencia a 28 días.

- Efecto de la energía de compactación;
- Efecto de la temperatura de tratamiento;
- Efecto del tiempo transcurrido después de añadir agua a la mezcla hasta la compactación;
- Efecto de la adición de productos químicos;
- Efecto de la modificación de cenizas volantes;
- Evaluación comparativa.

Se sabe que cuando se mezclan cal y cenizas volantes con el suelo, una parte de la cal se combina con las partículas del suelo, otra con el óxido de carbono presente en el suelo-aire y el suelo-agua, y otra con las cenizas volantes por medio de reacción puzolánica.

La cal reacciona con los minerales de la arcilla en el suelo de dos maneras: una, iónica por naturaleza, es reacción compleja en la cual el exceso de ca-

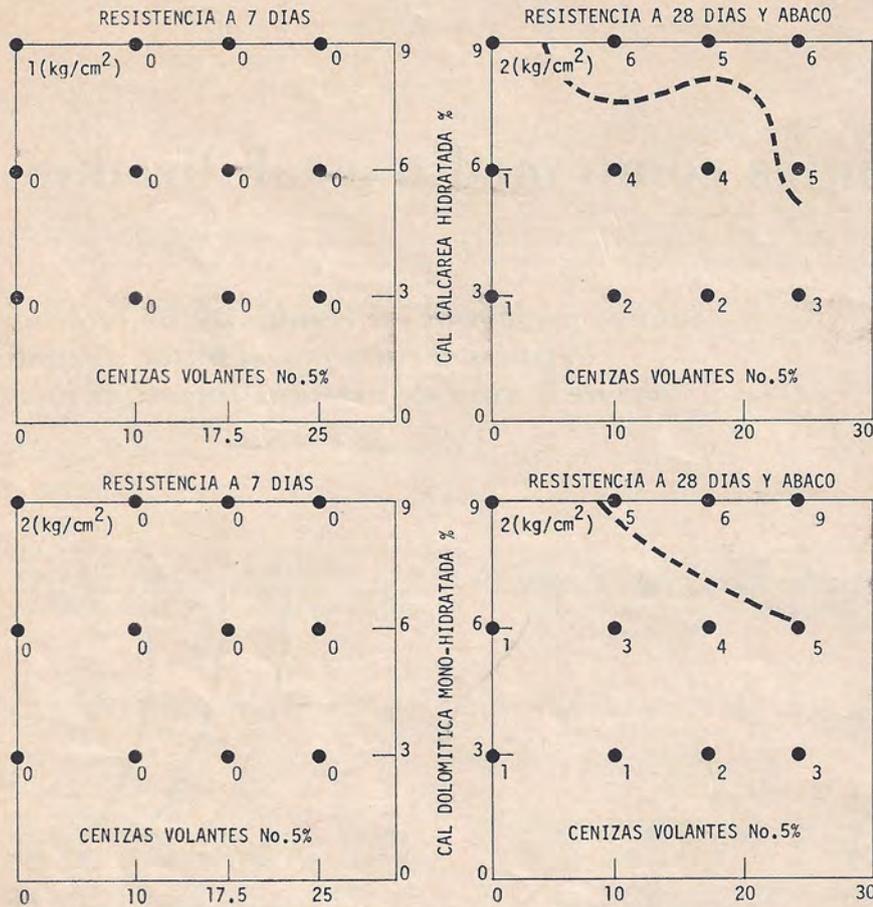


FIGURA 2
RESISTENCIA A LA COMPRESION después de inmersión de varias combinaciones de arena de duna, cal y una ceniza volante (número 5), para periodos de tratamiento de 7 y 28 días y ábacos de resistencia a 28 días.

tiones del calcio, suministrado por la cal, causa, por su acción de saturación sobre las partículas de la arcilla, la floculación del suelo y, también, por la sustitución del calcio por otros cationes en la estructura de la arcilla. Por esta reacción, la plasticidad del suelo disminuye, aumenta mucho la facilidad para manipularlo, y los cambios de volumen debidos a la humedad son menos importantes.

La otra reacción, que tiene lugar cuando el suelo está compactado, es puzolánica por naturaleza. Minerales de cuarzo y limo fino, además de los minerales de la arcilla, toman parte probablemente en esta reacción. Se forman productos en la reacción de naturaleza aglutinante, que aumentan la resistencia del suelo. Los productos aglutinantes principales son los silicatos y los aluminatos de calcio.

El óxido de carbono se combina con la cal para formar carbonato de calcio o carbonato de calcio-magnesio, según la cal empleada. Esta combinación se produce a ritmo muy lento en las mezclas suelo-cal-cenizas volantes. Se ha encontrado que la presencia del óxido de carbono en el aire no afecta la resistencia a la compresión de los suelos limo-arcillosos estabilizados con cal y cenizas volantes.

Tipos de cal

En los estudios hechos para determinar cuál es la cal más adecuada para

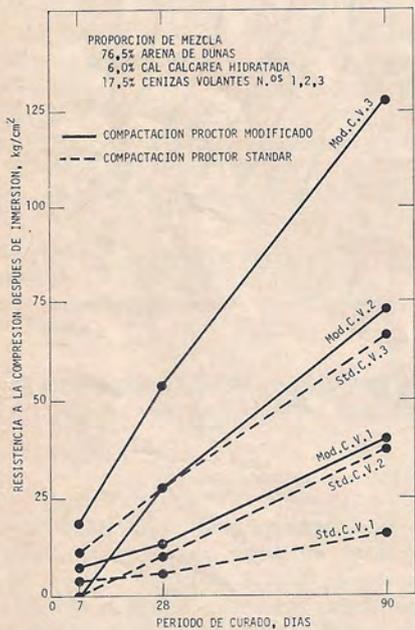


FIGURA 3—Efecto del esfuerzo de compactación en la resistencia de una mezcla de 76,5% de arena de duna, 6% de cal calcárea hidratada y 17,5% de cenizas volantes.

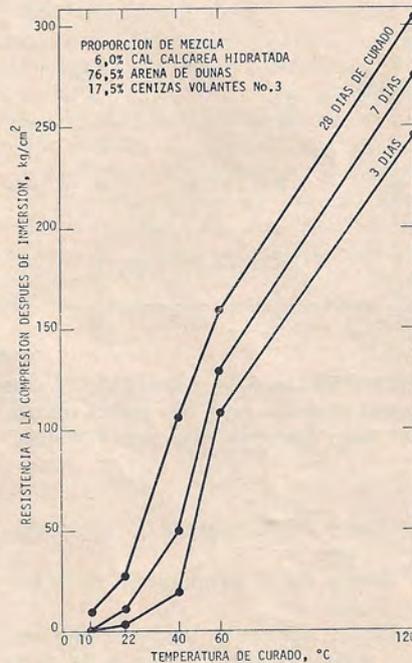


FIGURA 4—Efecto de la temperatura de tratamiento para una mezcla de 76,5% de arena de duna, 6% de cal calcárea hidratada y 3% de cenizas volantes.

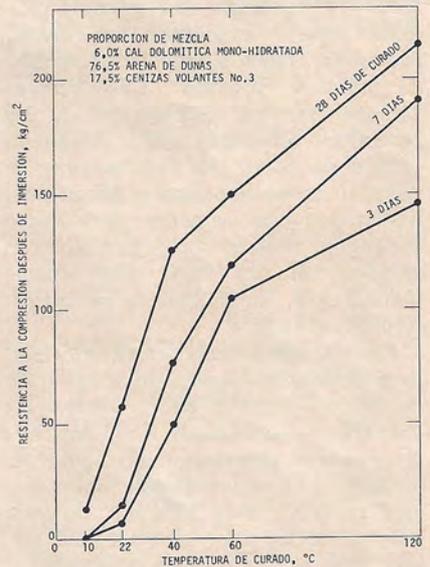


FIGURA 5—Efecto de la temperatura de tratamiento para una mezcla de 76,5% arena de dura, 6% de cal dolomítica mono-hidratada y 17,5% de cenizas volantes.

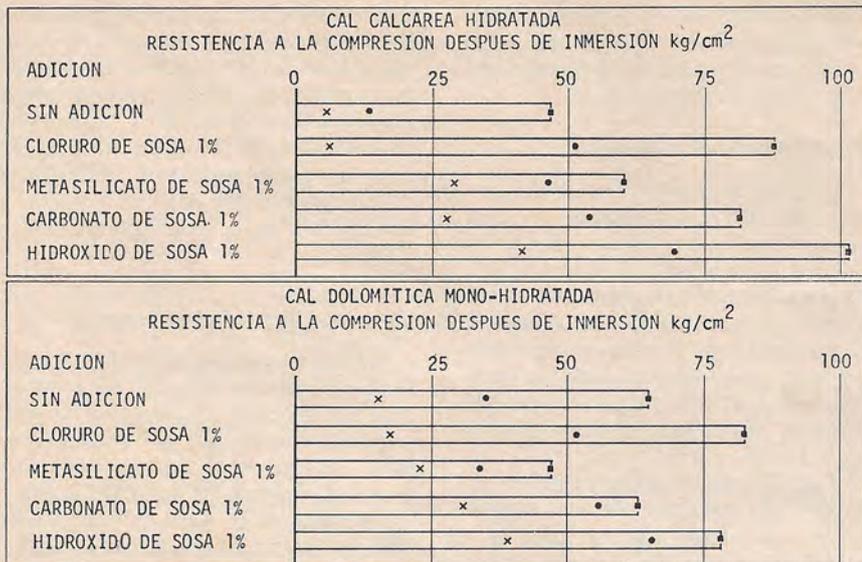


FIGURA 7—Efecto de la adición de productos químicos en la resistencia de una mezcla de 76,5% de loes friable, 6% de cal y 17,5% de cenizas volantes.

la cal dolomítica monohidratada en mezclas de arena-cal-cenizas volantes para temperaturas de curado entre 60°C y 120°C.

La estabilización de suelos con cal y cenizas volantes se debería hacer al comienzo del verano para aprovechar temperaturas elevadas durante el curado.

El alto contenido de materia combustible parece ser retardante de la reacción cal-cenizas volantes para temperaturas de curado mayores de 60°C.

Adición de agua

La compactación debería hacerse tan pronto como fuera posible después de haber mezclado y humedecido las mezclas de suelo-cal-cenizas volantes; si no la densidad y la resistencia pueden ser disminuídas. Con suelos arcillosos (Fig. 6) la compactación debería terminarse lo más tarde cuatro horas después de haber humedecido la mezcla, mientras que con suelos arenosos la compactación se puede realizar

hasta el día siguiente después de haber humedecido la mezcla, sin pérdida apreciable de resistencia.

Adición de productos químicos

Se estudiaron en primer lugar cuarenta y siete productos químicos como aditivos en las mezclas de arena-cal-cenizas volantes, y posteriormente se han estudiado otros doce productos químicos. En este último trabajo están comprendidos algunos de los productos que resultaron prometedores en el primer estudio.

Se ha encontrado que la "resistencia sumergida" de las mezclas se puede aumentar varias veces por medio de la adición de pequeñas cantidades de algunos productos químicos. El carbonato sódico, el metasilicato sódico y el hidróxido de sodio parecen ser los más adecuados entre los que han sido estudiados (Fig. 7). La "resistencia sumergida" de suelos friables estabilizados con cal y cenizas volantes puede ser también aumentada mediante la

adición de pequeñas cantidades de carbonato de sodio, de sosa y, en algunos casos, de cloruro sódico. El aumento de resistencia tiene lugar a temperaturas ordinarias. El aumento de resistencia aportado por la adición de productos químicos es muy crítico a temperaturas cercanas a 0°C, porque puede permitir la estabilización de suelo-cal-cenizas volantes en condiciones climáticas frías, lo que también permite trabajar más tarde en la temporada de construcción en países fríos.

El yeso puede, con ciertas mezclas, ser un aditivo beneficioso.

Empleando composiciones de cal y cenizas volantes, o de cal-cenizas volantes y productos químicos para estabilizar arena de duna, se ha descubierto que pueden rivalizar en resistencia al hielo-deshielo y precio, con las mezclas del mismo suelo estabilizado con cemento portland.

El carbonato de sodio es el producto químico recomendado para emplear en los suelos arenosos, e incluso limosos, estabilizados con cal y cenizas volantes. La adición de 0,5% de carbonato sódico permite una reducción en las cantidades de cal y cenizas volantes, para obtener la misma resistencia.

Es preciso usar con prudencia estos productos químicos, pues sus efectos cambian según los tipos de suelos, cal y cenizas volantes. Antes de utilizarlos se recomienda que se estudien en laboratorio con los suelos, cal y cenizas volantes que se vayan a emplear.

Modificación de cenizas volantes

Las cualidades puzolánicas de las cenizas volantes pueden mejorarse eliminando la parte compuesta de materia combustible, ya que ésta no reacciona. Las cenizas volantes pueden también ser mejoradas moliéndolas.

Evaluación comparativa

Como estudio final, se tomaron algunas mezclas seleccionadas de suelo, cal y cenizas volantes, y se comparó su resistencia con la de los mismos suelos estabilizados con cemento. En este estudio, están comprendidos ensayos de durabilidad al hielo-deshielo. En la Tabla 1 se presentan algunos de los resultados.

Como conclusión se puede indicar que los suelos pueden ser estabilizados con cenizas de buena calidad y cal. El empleo de este método de estabilización se recomienda cuando el precio de la cal más las cenizas volantes es inferior al precio del cemento para resistencias aproximadamente iguales después de 28 días de tratamiento. Se considera 28 días como período de tratamiento porque para períodos más cortos la cal más cenizas volantes dan resistencias muy débiles. □

TABLA 1—Evaluación comparativa de la durabilidad de mezclas seleccionadas

Mezcla no	Proporciones de la mezcla	Densidad Proctor seca g/cm ²	Resistencia a la compresión kg/cm ²			
			28 días ⁽¹⁾	P _f ⁽²⁾	P _c ⁽³⁾	R _f ⁽⁴⁾
1-A	92% arena, 8% cemento	1,81	34	36	37	98%
1-B	73% arena, 3% cal dol. 24% c.v. no 3	1,99	57	59	69	85%
2-A	88% arcilla, 4% cal, 8% cemento	1,52	50	45	39	87%
2-B	69% arcilla, 6% cal dol. 25% c.v. no 2	1,44	43	46	38	83%
3-A	88% suelo aluvial arcilloso 3% cal, 9% cemento	1,52	41	36	38	94%
3-B	69% suelo aluvial arcilloso 6% cal, 25% c.v. no 3	1,50	37	34	40	84%

1) Después de 28 días de curado y 24 horas de inmersión en agua destilada

2) Después de 28 días de curado y 24 horas de inmersión en agua destilada, y 10 ciclos de hielo-deshielo

3) Después de 28 días de curado y 11 días de inmersión en agua destilada

4) $R_f = \frac{P_f 100}{P_c}$

Características Físicas de los Caminos Vecinales



Tercer Artículo de una Serie

Este polvoriento camino vecinal necesita que se mejoren sus características físicas.

LA mayoría de los países de la América Latina se enfrenta con el problema de tener que crear un sistema de caminos de penetración para fomentar el desarrollo económico de distintas regiones. Los gobiernos de algunos de esos países ya han tomado medidas para establecer el sistema mencionado (Ref. 1 y 2); pero esos caminos deben ser construidos de la manera más económica que sea posible y esperar a que el uso futuro de esas vías indiquen las que se deban mejorar por conducir mayores volúmenes de tránsito vehicular. Es interesante hacer notar que el problema de la construcción de caminos de penetración, así como el de caminos vecinales, ha formado parte del programa de estudios de ingenieros de la América Latina que han realizado parte de su formación profesional en la Universidad de Iowa. (Ref. 3.)

Cuando se trate de construir caminos vecinales, por los que circulan generalmente menos de 100 vehículos diarios, es preciso utilizar materiales locales en el mayor grado que sea posible. Esos materiales son, naturalmente, los suelos del lugar; y además, residuos industriales que se han empleado o que pudieran emplearse en la construcción vial. Los procedimientos de proyecto y construcción aplicables a esos casos ya se encuentran bien establecidos, sin embargo, el ingeniero debe tener bastante flexibilidad como para ensayar la aplicación de nuevos conceptos y experimentar nuevas ideas que permitan utilizar mejor los materiales que se encuentran a lo largo del camino o los que se puedan obtener económicamente en sus cercanías.

Estudios de Suelos

La construcción de un camino vecinal, no justifica casi nunca que se efectúe una costosa investigación de los suelos de la zona que atravesará la vía. No obstante, un experto en suelos puede realizar muy económicamente una investigación y clasificación de los mismos sirviéndose de mapas edafológicos o geológicos existentes. Del mismo modo, si se disponen fotografías aéreas de la región por donde pasará el camino que se va a construir, es posible identificar suelos y formaciones de roca. De este modo se facilita la localización de agregados y la identificación de terrenos de estabilidad deficiente.

El experto en suelo puede también proporcionar información muy valiosa, haciendo observaciones en el terreno por donde va el trazado. Estas observaciones pueden consistir en un examen visual y en inspecciones táctiles de muestras de suelos tomadas con una barrena de mano. Para ello es necesario anotar los siguientes datos:

- 1) Lugar donde se tomó la muestra.
- 2) Horizontales de suelos, así como el espesor de cada uno, la materia orgánica que contienen, estructura, oxidación y otras características.
- 3) Contenido natural de humedad.

4) Color.

- 5) Textura aparente
arenosa
limosa
arcillosa
o combinada.

6) Plasticidad.

Deben tomarse muestras de suelos cada vez que cambien marcadamente las características de los mismos o cuando el personal de campo estime necesario complementar las observaciones. Los ensayos de laboratorio que se necesitan para esas muestras pueden tener por objeto tan sólo la granulometría de los materiales y los límites de Alterberg, para clasificar a los suelos.

Estudio sobre Residuos Industriales

Algunos productos secundarios y residuos industriales tales como escorias, cenizas volantes, melazas, etc. pueden emplearse en la construcción de caminos. Hay que tener en cuenta si es posible disponer de esos productos y lo que costaría su aplicación.

Desagüe

Nunca se exagerará la importancia que tiene el desagüe en un camino. En los caminos de tierra o grava, la calzada debe construirse con un bombeo que proporcione una pendiente transversal de 3,5 al 4,0 por ciento. Conviene aumentar esta pendiente transversal cuando el camino está en declive, a fin de acelerar el desagüe.

Por MANUEL MATEOS

Doctor en Ingeniería Civil

Consultor en Carreteras y Suelos

Ingeniero de Investigaciones de la "Iowa State University"

Ames, Iowa, E.U.A.



(Izquierda) Talud seriamente dañado por la erosión. (Derecha) Estabilización de un talud por siembra para prevenir la erosión. La paja protege hasta que crezca la hierba. (Fotos cortesía de la Iowa Highway Commission).

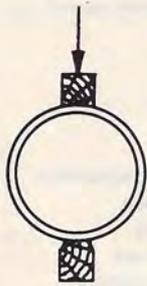


Fig. 1—Ensayo de tres artistas.

También es importante proteger los taludes contra la erosión, lo que puede lograrse plantándoles hierba oportunamente.

Deben instalarse alcantarillas en todos los puntos bajos del trazado con aberturas calculadas de acuerdo con las máximas avenidas que puedan ocurrir en 15 años. Los terraplenes altos se pueden considerar que actúan como presas y a ese efecto calcular la alcantarilla para que trabaje a presión, lo que requerirá aberturas menores.

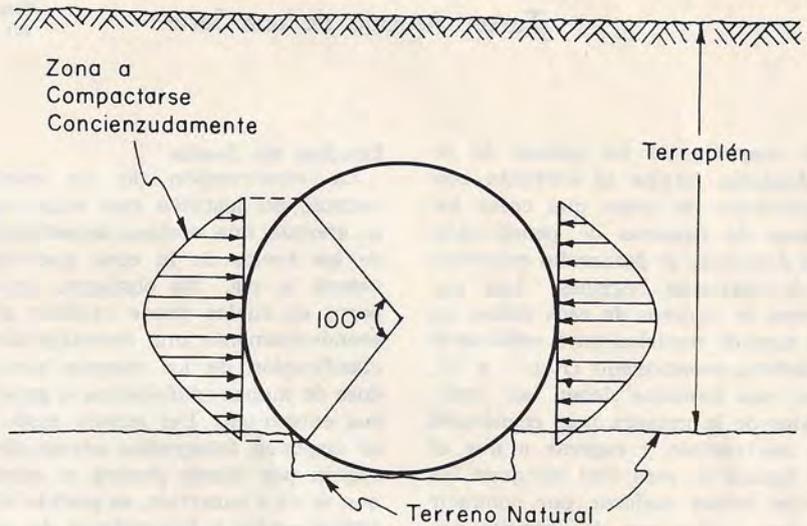


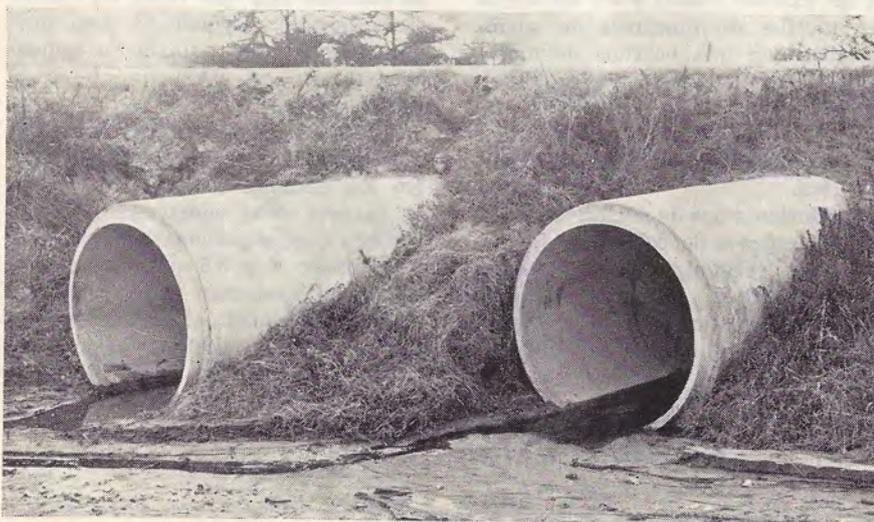
Fig. 2—Distribución de las presiones laterales en un tubo de metal bajo un terraplén, según Spangler.

Las alcantarillas pueden construirse en forma muy económica empleando tubos prefabricados. Para ello pueden usarse tubos rígidos de hormigón

u otros materiales y tubos corrugados flexibles de acero o aluminio. Esos tubos deben instalarse cuidadosamente y en forma de que se aproveche plenamente la resistencia que puede proporcionar el asiento y el material circundante.

Distintos factores de carga para un tubo rígido pueden obtenerse aproximadamente de la Tabla I. Estos datos indican que un tubo embebido en un soporte de hormigón puede resistir una carga tres veces mayor que la que resiste un tubo colocado simplemente sobre el terreno.

Los tubos flexibles, que son generalmente de metal corrugado, no tienen resistencia propia para soportar cargas. Por lo tanto es importante que se compacte concienzudamente el material alrededor del tubo (Fig. 2). Aprovechando la resistencia del material que rodea al tubo, este último puede tener paredes muy delgadas lo que se traduce en substanciales economías.



Tubos prefabricados de hormigón usados como alcantarilla rígida. (Foto cortesía de la Zeidler Concrete Products).

TABLA I—VALORES DE LOS FACTORES DE CARGA EN TUBOS RIGIDOS CON DISTINTOS TIPOS DE ASIENTO (SEGUN SPANGLER).

Véase la Fig. 3 para identificar los asientos

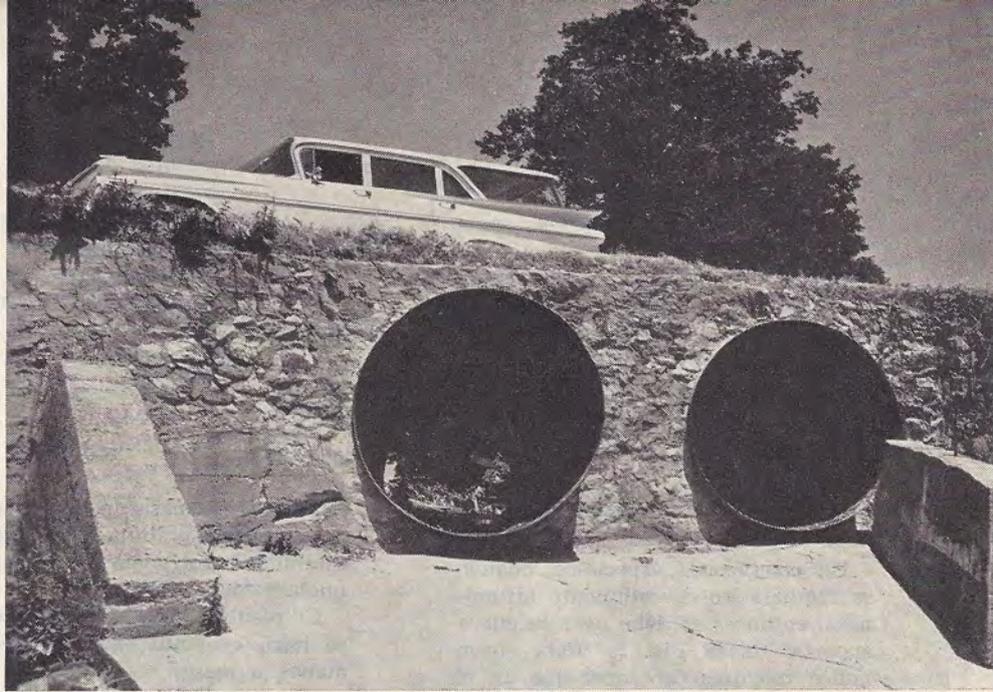
Asiento	Factor de Carga*
Improprio	1,09 a 1,29
Habitual	1,70 a 2,22
Primera Clase	2,02 a 2,79
Soporte de Hormigón	2,63 a 5,55

*Factor de carga del ensayo de tres aristas = 1,00.

La napa freática nunca debe estar a menos de un metro de la rasante del camino. En lugares donde no se cumpla esa condición es necesario construir un terraplén que levante la rasante; o bien, combinarlo con una cuneta, de manera que el fondo de la cuneta esté a un metro de la rasante. Sin embargo, la profundidad de la cuneta con respecto a la rasante no debe pasar de 0,60 m normalmente.

Pavimento

Los caminos vecinales se pueden dividir en dos categorías, de acuerdo



Alcantarilla flexible formada por tubos corrugados de acero. Esta alcantarilla ha estado en servicio durante muchos años. (Foto cortesía de la Armco Steel Corporation).

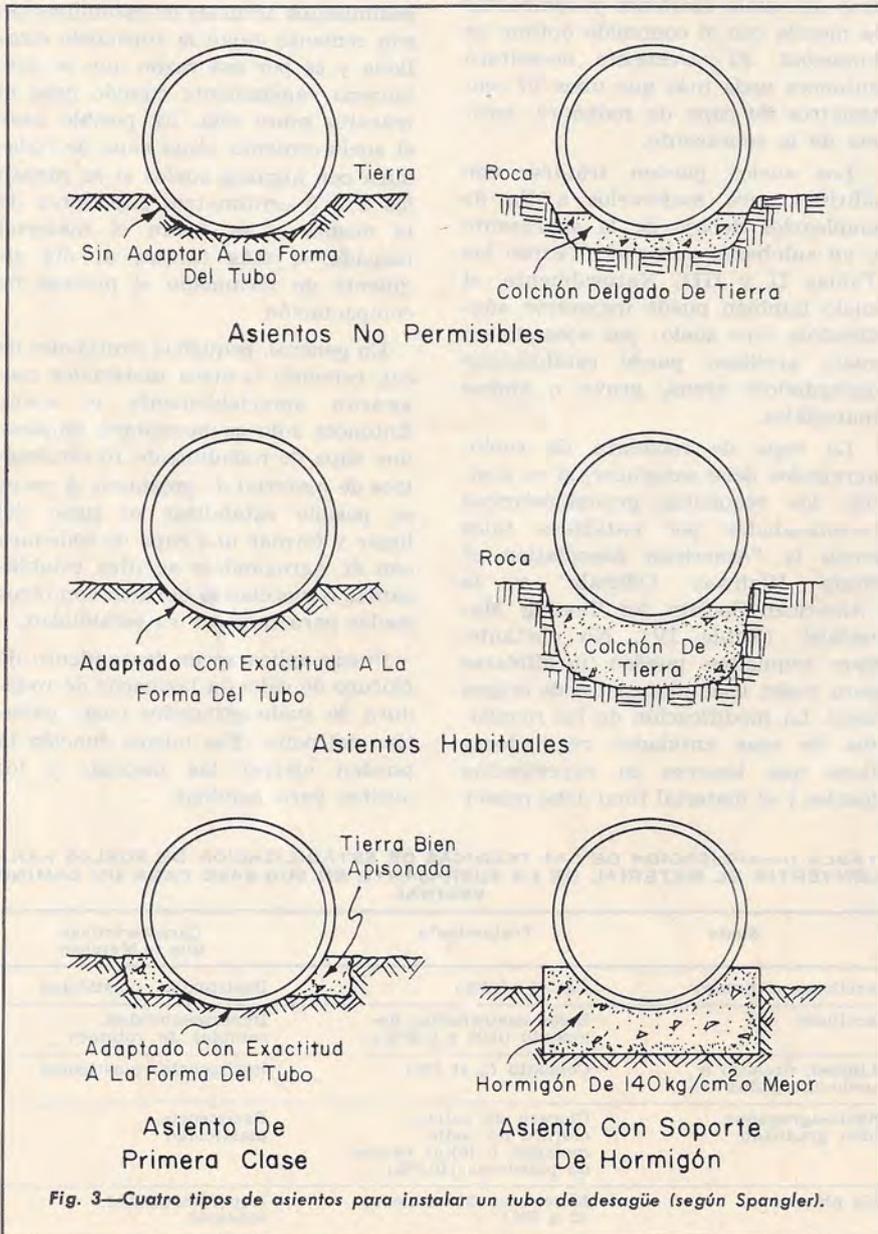


Fig. 3—Cuatro tipos de asientos para instalar un tubo de desagüe (según Spangler).

con el volumen de tránsito que circule diariamente por ellos:

De primera categoría:

De 10 a 100 vehículos diarios

De segunda categoría:

De menos de 10 vehículos diarios

Los caminos de segunda categoría no justifican en general que se realicen grandes inversiones en materiales y no suelen pavimentarse. El material que se encuentra en su trazado se perfila y se le da bombeo para el desagüe superficial. No obstante, su calzada puede mejorarse notablemente aplicando técnicas económicas de estabilización. Por ejemplo, un camino construido con suelo arcilloso puede convertirse en un lodazal después de una lluvia; sin embargo, la adición de 5 a 8 kg de cal por metro cuadrado, y la mezcla de la cal con el suelo conservará el camino en buenas condiciones aún después de fuertes lluvias. Otros métodos económicos de estabilización pueden subsanar otras deficiencias.

Cuando se trate de caminos vecinales de primera categoría; o sea, con volúmenes de tránsito diario de 10 a 100 vehículos, puede usarse el gráfico de la Fig. 5. En esa figura se presentan dos clases de curvas. Una de ellas se aplica a pavimentos con un revestimiento bituminoso impermeable y la otra a pavimentos con capa superficial de suelo-agregados.

La elección del revestimiento depende mucho de los materiales locales o fondos con que se cuente, del volumen de tránsito presente y futuro, del porcentaje de camiones, etc. Los caminos por donde circulen menos de 100 vehículos diarios (como es el caso de la casi totalidad de los caminos vecinales) no suelen justifi-

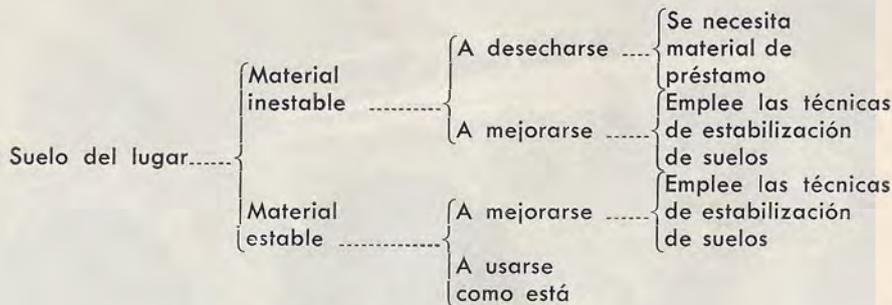


Fig. 4—Evaluación del suelo existente.

ficar el empleo de capas de rodadura bituminosas.

En condiciones especiales, cuando se requiera un revestimiento bituminoso, entonces se debe usar la curva superior de la Fig. 5. Esta curva indica mayores espesores que en el caso de la superficie permeable, para conseguir un pavimento estable, duradero y que necesite servicios mínimos de conservación. El espesor mínimo que debe darse a una capa de rodadura bituminosa es de 4 cm, mientras que si es de suelo-agregados ese mínimo se eleva a 10 cm.

Materiales para el Pavimento

Deben aprovecharse en todo lo que sea posible los materiales del lugar del camino. En la Fig. 4 se indican los pasos que se deben seguir para efectuar esa evaluación. El terraplén debe construirse con el mejor suelo disponible. En general, se recomienda desechar los suelos orgánicos del horizonte A*, así como los del horizonte B, porque suelen contener un alto porcentaje de arcilla. En tramos en excavación, los horizontes A y B deben retirarse hasta la subrasante. Afortunadamente, el espesor de los horizontes A+B es casi siempre de 30 a 60 centímetros.

Los suelos pueden mejorarse, si es necesario, empleando técnicas de estabilización. Esas técnicas se basan en un conocimiento profundo de la mecánica del suelo y de los distintos métodos de estabilización.

Cuando el suelo debajo de la subrasante tiene una relación de estabilidad (California Bearing Ratio) no mayor de 3, se extraen 15 a 25 cm y se sustituyen por un material de mejor calidad. Sin embargo, este suelo puede usarse estabilizándolo en la forma siguiente:

- 1) Esparza cal encima de la subrasante a razón de 3 a 4 kilogramos por metro cuadrado.
- 2) Coloque las otras capas de pavimento encima de la cal. Los

*A—Horizonte orgánico

B—Horizonte de deposición de arcilla

C—Suelo original no afectado

iones de cal pasarán al suelo por difusión y aumentarán la estabilidad del suelo en varias unidades de C.B.R.

El resultado de este proceso se hará evidente en pocas semanas o meses.

Otra alternativa es esparcir de 8 a 16 kilogramos de cal por metro cuadrado, mezclarlo con 20 centímetros del suelo existente y compactar la mezcla con el contenido óptimo de humedad. El pavimento necesitará entonces nada más que unos 10 centímetros de capa de rodadura, encima de la subrasante.

Los suelos pueden tratarse con aditivos para mejorarlos a fin de emplearlos debajo de la subrasante o en sub-bases y bases. (Véanse las Tablas II y III). Naturalmente, el suelo también puede mejorarse añadiéndole otro suelo; por ejemplo un suelo arcilloso puede estabilizarse agregándole arena, grava o ambos materiales.

La capa de rodadura de suelo-agregados debe satisfacer, si es posible, los requisitos granulométricos recomendados por entidades tales como la "American Association of State Highway Officials" y la "American Society for Testing Materials" (Tabla IV). No obstante, esos requisitos pueden modificarse para poder usar materiales de origen local. La modificación de los requisitos de esas entidades reguladoras tiene que basarse en experiencias locales y el material final debe poseer

una granulometría bastante buena para que dé los mejores resultados. Muy rara vez se encuentran suelos que satisfagan los requisitos granulométricos "oficiales" y en la mayoría de los casos esas granulometrías se logran mezclando dos o más suelos distintos o agregados. La piedra triturada o machacada es preferible a la grava y una capa de rodadura compuesta por piedra caliza tiene mejores propiedades ligantes que la formada por rocas silíceas. El material de la capa de rodadura no debe tener fragmentos mayores de unos 2 centímetros. Las propiedades ligantes generales de una mezcla suelo-agregados se pueden mejorar en algunos casos añadiéndole un 1% de cal.

El suelo-cemento no se suele recomendar para capas de rodadura, pero cuando está bien construido puede servir como pavimento barato para caminos provisionales. Los procedimientos actuales de estabilización con cemento dejan la superficie cizallada y es por esa razón que se desmorona rápidamente cuando pasa el tránsito sobre ella. Es posible usar el suelo-cemento como capa de rodadura con algunos suelos si se raspan los 2 ó 3 centímetros superiores de la misma y se retira el material raspado, a más tardar, al día siguiente de terminado el proceso de compactación.

En general, pequeñas cantidades de cal, cemento u otros materiales mejorarán apreciablemente el suelo. Entonces sólo se necesitará emplear una capa de rodadura de 10 centímetros de material de préstamo. A veces es posible estabilizar el suelo del lugar y formar una capa de rodadura con él, agregándole agentes estabilizantes o mezclando el suelo con otros suelos para mejorar su estabilidad.

Puede aplicarse un tratamiento de cloruro de calcio a las capas de rodadura de suelo-agregados como paliativo del polvo. Esa misma función la pueden ejercer las melazas y los aceites para caminos.

TABLA II—APLICACION DE LAS TECNICAS DE ESTABILIZACION DE SUELOS PARA CONVERTIR EL MATERIAL DE LA SUBRASANTE EN SUB-BASE PARA UN CAMINO VECINAL

Suelo	Tratamiento	Características que se Mejoran
Arcilloso o limoso	Cal (1 al 4%)	Resistencia, plasticidad
Arcilloso	Sales cuaternarias de amonio (0,05 a 0,25%)	Impermeabilidad, cambios de volumen
Limoso, arenoso o suelo-agregados	Cemento (2 al 5%)	Resistencia, plasticidad
Suelo-agregados bien graduado	Cloruro de calcio, cloruro de sodio, melazas, o leñas negras de papeleras (10,5%)	Resistencia, plasticidad
No plástico	Materiales bituminosos (2 a 6%)	Impermeabilidad, cohesión

Debe hacerse un análisis económico completo de las distintas alternativas posibles en el uso de los materiales para caminos. Esos estudios indicarán la mejor solución para las condiciones particulares que existan en el proyecto que se considere.

La construcción no debe regularse aplicando estrictamente las técnicas de ensayo. Es mejor que los trabajos de laboratorio se realicen solamente en los casos indispensables para que el contratista cumpla con los pliegos de condiciones. El contenido óptimo de humedad para la compactación puede estimarlo fácilmente una persona experimentada, con suficiente aproximación, apretando un poco de suelo con la mano y observando la forma en que se desmorona al soltarse.

Modificación de los Tramos Sometidos a Esfuerzos Intensos

Cuando haya porciones de pavimento que estén sometidas a esfuerzos superiores a los ordinarios, esas áreas deben estar provistas de pavimentos mejores que el del resto del camino. Por ejemplo la intersección de dos caminos, que es un sitio por donde pasa un volumen de tránsito igual al de la suma del que circula por cada uno de los caminos. En los lugares donde tengan que parar los vehículos, acelerar o decelerar se ejercen esfuerzos unas cuatro veces mayores que en los tramos ordinarios de camino. El pavimento para esos lugares pudiera consistir en una capa

TABLA III—APLICACION DE LAS TECNICAS DE ESTABILIZACION DE SUELO PARA CONVERTIR EL MATERIAL DE LA SUBRASANTE EN BASE PARA UN CAMINO VECINAL

Suelo	Aditivos	Porcentaje de Aditivos Basado en el Peso Seco del Suelo
Arcilloso, fino	Cal + cemento	2% cal + 2 al 6% cemento
Arcilloso, grueso	Cal	2 al 6%
Limoso, arenosos o suelo-agregado	Cemento	3 al 10%
Cualquiera	Cal+ cenizas volantes*	3 al 5% cal + 10 al 20% cen. vol.
No plástico	Materiales Bituminosos	2 al 8%
Suelo-agregado bien graduado	Cloruro de calcio, cloruro de sodio, melazas, o lejías negras de papeleras	0,5%

* La cal más las cenizas volantes forman un cemento puzolánico que mejora la resistencia del suelo. Véanse en la Tabla II las características del suelo que se mejoran con los otros agentes.

TABLA IV—REQUISITOS GRANULOMETRICOS Y PLASTICOS PARA CAPAS DE RODADURA DE SUELO-AGREGADOS (Especificación D1241-55T de la "American Society for Testing Materials; Especificación M-147-57 de la "American Association of State Highway Officials")

GRANULOMETRIA:				
Tamiz	Porcentaje en peso que pasa			
	Granulometría C	Granulometría D	Granulometría E	Granulometría F
1 pulg. (25 mm)	100	100	100	100
3/8 pulg. 9 mm)	50 a 85	60 a 100	55 a 100	70 a 100
No. 4	35 a 65	50 a 85	40 a 100	30 a 100
No. 10	25 a 50	40 a 70	25 a 50	15 a 70
No. 40	15 a 30	25 a 45	10 a 25	8 a 25
No. 200	5 a 15	10 a 25	6 a 25	8 a 25

PLATICIDAD:				
Propiedades	Granulometría C	Granulometría D	Granulometría E	Granulometría F
Límite líquido, %	35	35	35	25
Índice de Plasticidad	4 a 9	4 a 9	4 a 9	6

de suelo-cemento, que se cubriría con una capa asfáltica de color rojo a los cuatro años de servicio.

Cuando el camino vecinal interseca

a una carretera de tránsito intenso, debe proveerse de un pavimento de mejor calidad como desde 30 metros antes de la intersección. Ese tramo mejorado (que estaría sometido a tratamiento asfáltico) realiza las siguientes funciones: 1) absorbe mejor los esfuerzos causados por las aceleraciones y deceleraciones de los vehículos; 2) proporciona una superficie con mayor coeficiente de rozamiento para que los vehículos puedan detenerse mejor antes de entrar en la carretera; 3) evita que se arrastre grava y tierra al pavimento de la carretera, lo que puede ser peligroso.

Referencias

1. Bravo, J. M., "Estudio Sobre Caminos Vecinales en Colombia"; presentado a la IV Reunión Mundial de la "International Road Federation"; Madrid, España; 1962.
2. Etcharren, R., "Manual de Caminos Vecinales"; Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, México; 1952.
3. Stein, R., "Proyecto de Secciones Transversales para Carreteras en Guatemala" (en inglés), Tesis para la Licenciatura, Iowa State University, Ames, Iowa, E.U.A.; 1949.
4. Spangler, M. G., "La Resistencia de Tuberías Rígidas" (en inglés), Boletín 112, Iowa Engineering Experimental Station, Ames, Iowa, E.U.A.; 1933.
5. Spangler, M. G., "El Proyecto Estructural de Tuberías Flexibles" (en inglés) Boletín 153, Iowa Engineering Experimental Station, Ames, Iowa, E.U.A.; 1941.
6. "El Ensayo de Carreteras de la A.A.S.H.O.", (en inglés) Special Report 61-E, Highway Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., E.U.A.; 1962.

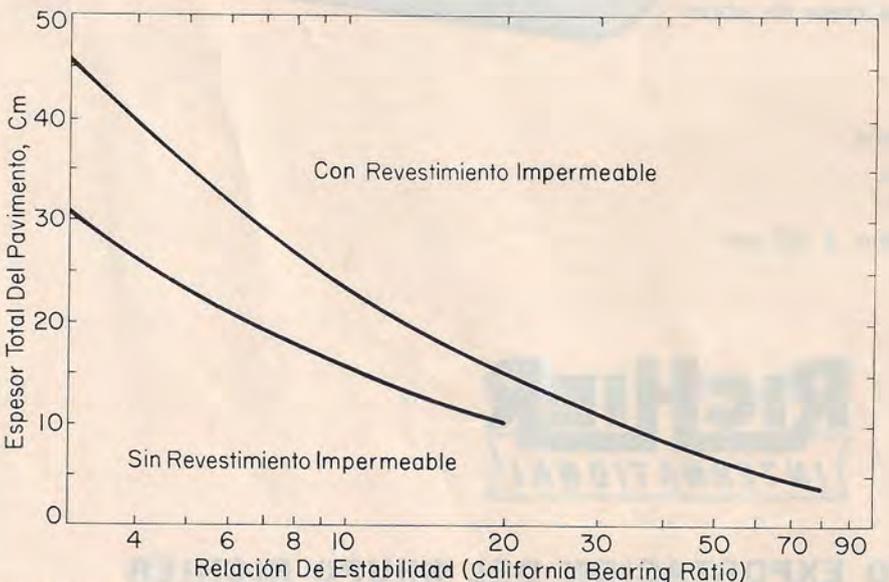


Fig. 5—Espesor del pavimento para caminos con menos de 100 vehiculos diarios.

[Las curvas indican el espesor total que debe tener una capa de pavimento de acuerdo con el C.B.R. del material sobre el que descansa, y considerando que la capa de rodadura debe estar constituida por mezcla de suelo-agregados o un revestimiento impermeable. Por ejemplo, si el CBR del suelo debajo de la subrasante es 4, de acuerdo con la curva inferior, se necesitará un pavimento de un espesor total de 25 cm. Si se construye una base con un material con C.B.R. de 14 encima de la subrasante, ésta necesitará, 12,00 cm sobre ella de capa de rodadura permeable. Entonces el pavimento pudiera estar formado por c. de r. de 12,5 cm y base de 12,5 cm. Si el material de la base tuviera CBR de 25 entonces sería posible reducir la capa de rodadura a 10 cm y aumentar la base a 15 cm; siempre conservando los 25 cm de espesor total que requiere el suelo bajo la subrasante.]

Las Lejías Negras

en la Estabilización de Pavimentos de Suelo-Agregados

Por el Dr. Ing. MANUEL MATEOS

Ingeniero de Investigaciones
"Engineering Experiment Station"
"Iowa State University"
Ames, Iowa, E.U.A.

Introducción

Algunos productos industriales de desecho que presentan un problema grave para eliminarlos, pueden ser utilizados como materiales de construcción de carreteras. En el número de noviembre de 1962 de CAMINOS Y CONSTRUCCION PESADA se presentaron los efectos en los suelos de uno de estos productos: las melazas. Otro de los productos que también se está utilizando para tratar pavimentos de suelo-agregados son las lejías negras producidas en las fábricas de pulpa para papel.

La pulpa para fabricar papel de calidad está constituida por celulosa. Cuando la celulosa se beneficia a partir de la madera, es necesario separarla de otras sustancias extrañas que existen también en la madera. En la Tabla I se presenta una composición típica de los sólidos presentes en la madera. Las proporciones varían con las distintas especies de árboles. En esa tabla se ve que solamente un 50 por ciento de la materia sólida es aprovechable como pulpa de calidad. El resto está formado por productos de poca aplicación y que en países en que la industria del papel es influyente son vertidos inconscientemente en los ríos.

Procesos para Producir Pulpa

Existen 5 procesos básicos para producir pulpa. Uno de ellos emplea trapos y produce una celulosa pura sin existir materiales de desecho del tipo de las lejías negras. Los otros procesos, que usan madera como materia prima, son:

1. Mecánico
2. Kraft o del sulfato
3. De la sosa
4. Del sulfito, o bisulfito

El proceso mecánico utiliza toda la madera, exceptuando la corteza, y el papel que se obtiene con la pulpa es de baja calidad. En este proceso no hay sólidos de desecho; más bien, no se producen lejías negras. Es interesante indicar que parte de los materiales de esta pulpa sufren consecuentemente procesos químicos de descomposición, por lo que el papel fabricado con ella no es muy estable.

El proceso Kraft es el más usado. Se puede utilizar cualquier clase de madera, aunque está especialmente indicado en las de coníferas. El papel que se obtiene con la pulpa de Kraft es de color oscuro y de fibras largas; sin embargo, se le puede mejorar aclarando la pulpa con hipoclorito y mezclándola con fibras cortas obtenidas con otros procesos y tener así un papel de calidad mediana. Las lejías negras del proceso Kraft se pueden aprovechar y utilizar económicamente como combustible.

El proceso de la sosa es en parte similar al Kraft. Las maderas usadas son aquellas procedentes de árboles de hoja caediza, produciendo fibras cortas.

Las lejías negras de este proceso se pueden también aprovechar en las mismas fábricas de pulpa.

El proceso del sulfito sigue en importancia al Kraft. Se usan maderas de abeto, bálsamo y otros árboles y el papel que se produce por este procedimiento es de calidad superior, pero deshacerse de las lejías negras de bisulfito es un problema serio. Las lejías negras, ligeramente deshidratadas, de los procesos Kraft y de la sosa se pueden usar en la misma fábrica de pulpa, pero no las del proceso del sulfito. La combustión de las lejías negras de sulfito deja libres vapores de dióxido de azufre, que son muy tóxicos.

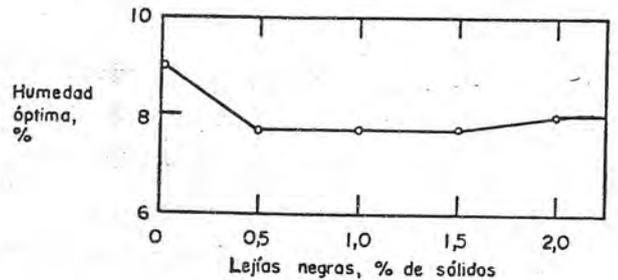
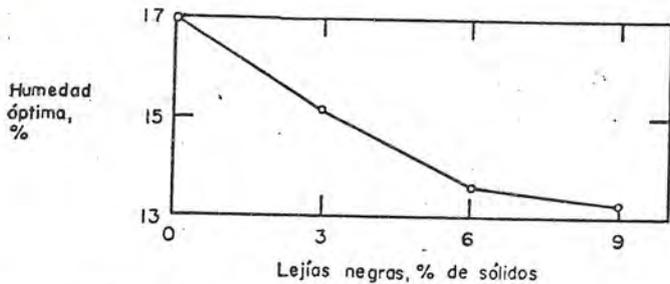
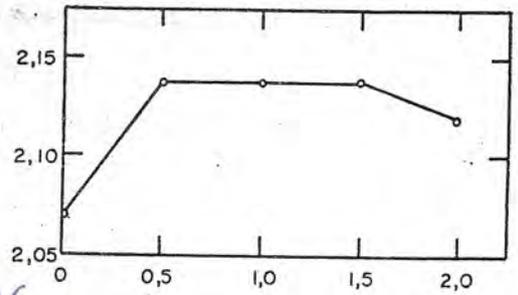
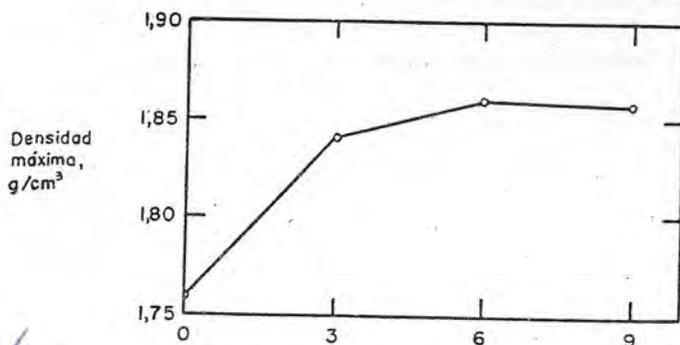
Las Lejías Negras

Las lejías negras son pues subproductos de los tres procesos químicos usados en la producción de pulpa. Aunque las lejías de los procesos Kraft y de la sosa se pueden aprovechar, son todavía muchas las fábricas de pulpa que no lo hacen y las descargan en los ríos. Las lejías de sulfito son, en nuestros países arrojadas casi sin excepción en la corriente de agua más cercana.

El vertido de las lejías en los ríos causa estragos en la población piscícola, malos olores debido a la putrefacción de parte de los residuos, produce espuma en los ríos, ensucia el agua, inutiliza el agua para abregar el ganado e impide actividades de recreo como natación, etc. A pesar de todos los males que las lejías negras producen cuando son vertidas en los ríos, existen algunos países en que pueden ser vertidas directamente sin responsabilidades legales para la industria del papel, que en muchas naciones goza de protección gubernamental.

En Canadá, los Estados Unidos, Suecia y muchos otros países está legalmente prohibido el vertido de las lejías negras en corrientes naturales de agua, o se autoriza verter una cantidad que mantenga la demanda bioquímica de oxígeno en el río por debajo de límites establecidos. Las fábricas de pulpa recurren a varias soluciones para evitar el vertido en los ríos, bien aprovechando algunos de sus subproductos o deshidratándolas y llevándolas a vertederos.

Entre los productos que se pueden obtener de las lejías negras de bisulfito están la vanilina, etanol, levadura, dispersantes y agentes adhesivos. La industria de la construcción las utiliza como aditivo en el hormigón para aumentar su trabajabilidad y para reducir la relación agua/cemento. También, se usan en la construcción de pavimentos de suelo-



(Izquierda) Fig. 1—Variaciones en la densidad máxima Proctor y humedad óptima de un suelo arcillo-limoso (Tabla I) tratado con distintas cantidades de lejías negras. (Derecha) Fig. 2—Variaciones en la densidad máxima Proctor y humedad óptima de una mezcla de suelo-agregados (Tabla I) tratada con distintas cantidades de lejías negras.

agregados y como aplicación superficial en carreteras y calles.

Historia de su Uso en Carreteras

El empleo de lejías negras en carreteras data en Suecia, tal vez el primer país que las usó, de hace 60 años. Se empezaron a usar para comprobar si podían remplazar a los aceites de caminos, que tenían que ser importados. La cantidad de lejías usadas en las carreteras suecas es considerable; por ejemplo en el año de 1939 se trataron con ellas 53.000 kilómetros de caminos vecinales. Aunque se emplearon al principio como paliativo del polvo, se observó que las partículas de arcilla de algunos caminos quedaban aglutinadas por las lejías.

En los Estados Unidos y Canadá se hace también un uso muy intenso de las lejías desde hace más de 30 años. Miles de kilómetros de carreteras y calles, en las regiones donde se fabrica la pulpa, son tratados anualmente con lejías.

Alemania, Francia, Checoslovaquia y otros países usan también las lejías en los caminos.

Composición de las Lejías

Según se indica en la Tabla I los productos residuales de las lejías negras de bisulfito están constituidos por lignosulfonatos, azúcares de madera, cenizas, resinas, etc. Todos estos productos diluidos en agua son los que forman las lejías negras. De los varios productos orgánicos de que están compuestas el más importante es el grupo de los lignosulfonatos. La

OK TABLA I—COMPUESTOS ORGANICOS DE LA MADERA Y DE LAS LEJÍAS NEGRAS

MADERA:	
Celulosa, %	50
Sólidos arrastrados en las lejías negras, %	50
LEJÍAS NEGRAS DE BISULFITO:	
Lignosulfonatos, %	65
Azúcares de madera, %	22
Ceniza, %	8
Resinas, tarpenes, etc., %	5

OK TABLA II—ANÁLISIS DE LOS SUELOS

Suelo	Arcillo-limoso	Suelo-agregados
COMPOSICION:		
Grava, %	0	37
Arena, %	5	40
Limo, %	71	..
Arcilla, %	24	..
Limo más arcilla, %	95	23
PLASTICIDAD		
Límite Líquido, %	34	26
Límite plástico, %	22	17
Índice de plasticidad	12	9
CLASIFICACION, A.A.S.H.O.	A-6(9)	A-2-4

OK

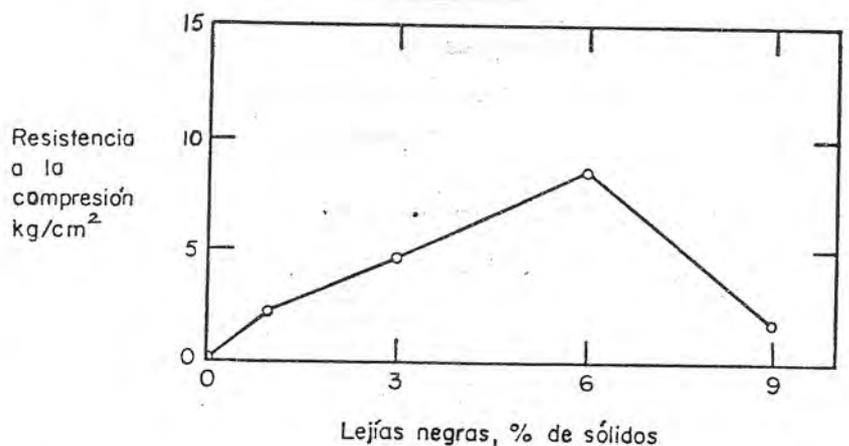
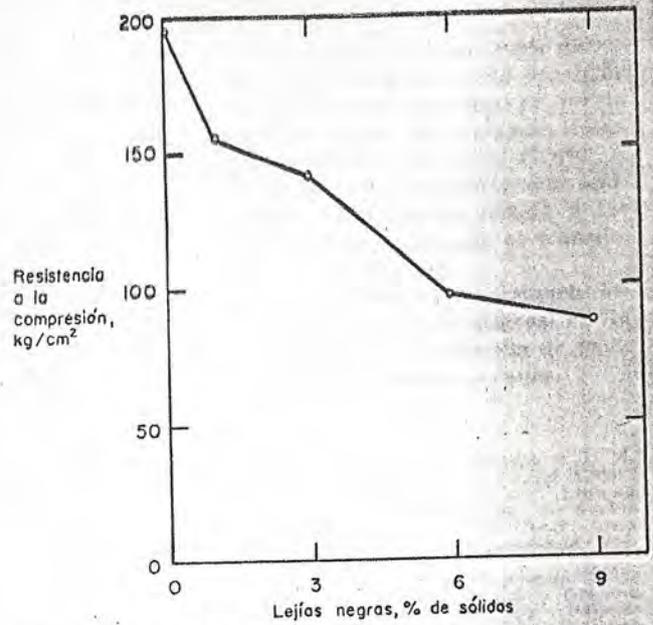
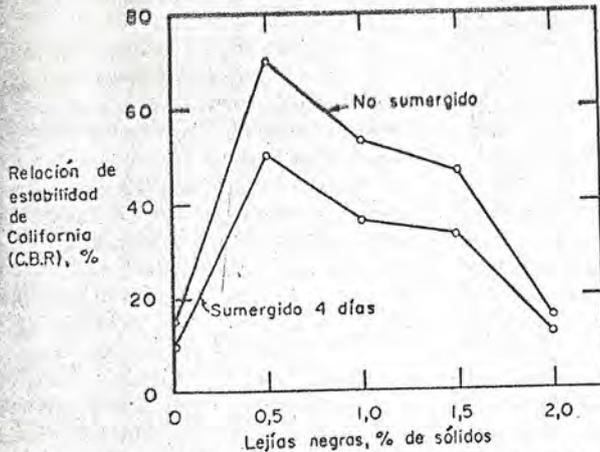


Fig. 3—Variaciones en la resistencia del suelo arcillo-limoso tratado con distintas cantidades de lejías negras, después de 7 días de curado al aire más 3 días de absorción de humedad por capilaridad.



(Izquierda) Fig. 4—Valores del C.B.R. obtenidos con la mezcla de suelo-agregados tratada con distintas cantidades de lejías negras. (Derecha) Fig. 5—Variaciones en la resistencia del suelo arcillo-limoso tratado con varias cantidades de lejías negras, después de 7 días al aire.

lignina es el cemento natural que aglutina las fibras de la madera; en el proceso de sulfonatación para extraer la celulosa, la lignina se combina con otros compuestos para formar lignosulfonatos. A veces se usan las palabras lignosulfonato o lignina para designar las lejías negras en general o la parte de lejías negras que queda después de extraer los azúcares.

Se han llevado a cabo investigaciones científicas para tratar de polimerizar la lignina y poder utilizar sus cualidades cementicias, pero estos esfuerzos han fallado hasta ahora. Los lignosulfonatos están generalmente asociados con el catión de calcio, aunque también lo pueden estar con amonio u otros dependiendo del tratamiento químico de la pulpa y de las lejías.

Las lejías tienen normalmente una concentración de sólidos del 10 por

ciento, aunque es corriente deshidratarlas hasta en un 50 por ciento y aun secarlas completamente.

Investigaciones en la "Iowa State University"

La gran cantidad de lejías negras de bisulfito disponibles en los Estados Unidos y el Canadá, cuya producción combinada alcanza los 100 millones de litros diarios, y su bajo precio de coste en fábrica fue una de las razones para emprender un programa de investigación sobre sus efectos en los suelos. Se llevó a cabo este programa usando varios tipos de suelos tratados con lejías negras solamente o con lejías negras más otros aditivos (Ref. 1, 2, 3, 4, 5). Se presenta a continuación un resumen de estos trabajos, tomando ejemplos típicos entre los distintos tipos de suelo usados y las varias clases de lejías negras ensayadas.

La adición de lejías negras a los suelos da lugar a un aumento en la densidad máxima para un mismo esfuerzo de compactación. Esto se verifica tanto en los suelos finos como en los suelos con partículas gruesas (Figuras 1 y 2). El aumento en la densidad está acompañado por una disminución en la humedad óptima. La causa del aumento en la densidad puede ser debida a la dispersión de las partículas de arcilla al añadir lejías negras a los suelos.

El aumento en la densidad observado se puede reflejar en un incremento en la resistencia bajo ciertas condiciones de curado, combinado con los efectos aglutinantes que puedan impartir las lejías. Por ejemplo, en la Figura 3 el suelo arcillo-limoso presenta un aumento en la resistencia mediante la adición de lejías cuando las probetas son sometidas a absorción capilar. El mismo suelo sufre una disminución en la resistencia seca si las probetas no se someten a ninguna prueba severa como la de absorción de agua mencionada (Figura 5). Es necesario mencionar que las condiciones de los ensayos de la Figura 3 son más representativas de lo que puede ocurrir en el campo que las condiciones de la Fig. 5.

La relación de estabilidad de California (CBR) de algunos suelos se mejora mediante la adición de lejías negras. Esta mejora se observa casi exclusivamente en mezclas de suelo-agregados (Figura 4). En pruebas realizadas con el suelo arcillo-limoso (Tabla II) y otros suelos finos, la relación de estabilidad o

(Sigue en la página 53)

TABLA III—EFECTO DE LA ADICIÓN DE LEJÍAS NEGRAS EN LA PLASTICIDAD DE LOS SUELOS

Propiedad	Límite líquido	Límite plástico	Índice de Plasticidad
Suelo arcillo-limoso	35	20	15
Suelo arcillo-limoso 3% sólidos de lejías	33	14	19
Suelo-agregados	26	17	9
Suelo-agregados 1% sólidos de lejías	29	16	13

TABLA IV—EFECTOS DE LAS LEJÍAS NEGRAS EN LOS SUELOS

Efectos beneficiosos:

- Aumentan la densidad máxima y reducen la humedad óptima para un mismo esfuerzo de compactación
- Aumentan la resistencia en mezclas de suelo-agregados
- Reducen la formación de polvo en caminos de tierra y aglutinan temporalmente las partículas del suelo

Limitaciones:

- Se recomienda emplearlas con suelos bien graduados
- Son arrastradas por la lluvia
- Son atacadas y reducidas por bacterias
- Aumentan la plasticidad del suelo, lo que puede ser beneficioso en aplicaciones superficiales si el recebo es poco plástico; sin embargo, si el recebo es plástico pueden hacer el pavimento más resbaladizo durante las lluvias.

Las Lejías Negras . . .

(Viene de la página 26)

"California Bearing Ratio" observada en las mezclas de suelo-agregados parece ser una consecuencia del aumento en la densidad obtenido con el tratamiento con lejías.

Probetas de C.B.R. sumergidas experimentaron un mayor hinchamiento cuando el suelo fue tratado con lejías. Esto se observó tanto en los suelos finos como en los gruesos. Este aumento en el hinchamiento puede ser debido a la presencia de azúcares en las lejías, los que son higroscópicos.

La plasticidad de los suelos aumenta con la adición de lejías. Un ejemplo típico está dado en la Tabla III. Este aumento en la plasticidad se puede atribuir al cambio en la dispersión de las partículas de arcilla.

La adición de lejías negras causa un aumento en la resistencia del suelo a la helada. Esto es debido a una depresión en el punto de congelación del agua causado por algunos de los compuestos químicos presentes en las lejías; probablemente los azúcares de madera.

En los experimentos llevados a cabo hay evidencia de que las lejías negras son atacadas y reducidas por bacterias (Ref. 5). Esto significa que algunos de sus efectos pueden desaparecer con el tiempo; por ejemplo cuando son usadas como paliativo del polvo o para contrarrestar los efectos de las heladas.

Se ha intentado la polimerización de algunos de los compuestos de las lejías mediante el uso de otros productos adicionales (Ref. 2, 3, 4). La

lignina combinada con cationes orgánicos de gran tamaño o con proteínas y sales de cromo y mercurio, parece formar un compuesto polimerizado que aglutina los suelos (Ref. 2, 3). El sulfato de aluminio reacciona con la lignina mejorando la resistencia de los suelos tratados con estos productos cuando se realiza el curado en un ambiente seco (Ref. 4). Parece que estas combinaciones, sin embargo, no son económicas cuando se comparan con otros métodos de estabilización de suelos.

Recomendaciones para su Uso

Las lejías negras se pueden utilizar en la compactación de suelos naturales, sub-bases y bases de pavimentos. Con el empleo de las lejías es posible obtener la misma densidad máxima con un número menor de pasadas con el equipo de compactación. Se recomienda su uso especialmente con mezclas de suelo-agregados de granulometría análoga a las dadas en la Tabla IV.

Las lejías se pueden emplear en aplicaciones superficiales como paliativo del polvo debido a la higroscopicidad de los azúcares u otros compuestos presentes. En algunas de estas aplicaciones superficiales se forma a veces una pasta que aglutina las partículas del suelo.

La cantidad a aplicar es aproximadamente del 0,5 al 1,0 por ciento de sólidos, basándose en el peso del suelo seco. En aplicaciones superficiales se puede regar a razón de medio kilogramo de sólidos por metro cuadrado de calzada, repitiendo la operación cuando sea necesaria.

Las lejías pueden ser arrastradas

fácilmente por la lluvia. Para disminuir esta pérdida se suele construir la calzada con un bombeo en forma de "A" y con una pendiente transversal del 3,5 al 4,0 por ciento. A pesar de todo se necesita dar aplicaciones intermitentes debido a las pérdidas ocasionadas por el tránsito, bacterias, lluvias, etc.

En la Tabla IV se resumen los efectos de las lejías negras en la construcción y conservación de pavimentos para caminos y calles.

Referencias

1. S. P. Sinha, D. T. Davidson y J. M. Hoover: "Lignins as Stabilizing Agents for Northeastern Iowa Loess" (Lignina Como Agente Estabilizador de Suelos Loesiales del Noreste de Iowa); Iowa Academy of Science Proceedings, Vol. 64, pp. 314-347; 1957.
2. R. L. Nicholls y D. T. Davidson: "Polycations and Lignin with Large Organic Cations for Soil Stabilization" (Polícatos y Lignina Usados con Cationes Orgánicos Grandes para Estabilizar Suelos); Highway Research Board Proceedings, Vol. 37, pp. 517-537; 1958.
3. J. M. Hoover, D. T. Davidson, J. J. Plunkett y E. J. Monoriti: "Soil-Organic Cation Chemical-Lignin Stabilization" (Estabilización de Suelos con Cationes Orgánicos y Lignina); Highway Research Board Bulletin No. 241, pp. 1-13; 1959.
4. T. Demirel y D. T. Davidson: "Stabilization of a Calcareous Loess with Calcium Lignosulfonate and Aluminum Sulfate" (Estabilización de un Suelo Lesial Calcáreo con Calcilignosulfonato y Sulfato de Aluminio); Iowa Academy of Science Proceedings, Vol. 67, pp. 290-313; 1960.
5. A. J. Gow, D. T. Davidson y J. B. Sheeler: "Relative Effects of Chlorides, Lignosulfonates and Molasses on Properties of a Soil Aggregate Mix" (Efectos Relativos de Cloruros, Lignosulfonatos y Melazas en las Propiedades de una Mezcla de Suelo-Agregados); Highway Research Board Bulletin, No. 282, pp. 66-83; 1960.

+ + +

WORLD CONSTRUCTION

"LA REVISTA INTERNACIONAL DEDICADA AL INTERCAMBIO DE METODOS DE INGENIERIA CIVIL Y TECNICAS DE CONSTRUCCION"

ARTICULOS ESCOGIDOS EN
INGENIERIA • DISEÑO
CONSTRUCCION • MANTENIMIENTO
DE
CARRETERAS—AEROPUERTOS—PUENTES—
PLANTAS HIDROELECTRICAS—TODO TIPO
DE CONSTRUCCION PESADA

Publicada Mensualmente por
Gillette Group
The Reuben H. Donnelley Corporation

WORLD CONSTRUCTION

466 Lexington Ave., New York 17, N. Y., U.S.A.

ENTRE MI SUBSCRIPCION POR UN AÑO (12 NUMEROS),
INCLUYO MI CHEQUE POR 8,50 DLS.

Nombre _____

Dirección _____

Ciudad _____ País _____

Ocupación _____

Su Título/o Cargo _____

Nombre de la Empresa _____

Si está Relacionado con el Gobierno, Indique Relación _____

Gobierno Federal _____ Gobierno Estatal _____

Gobierno de la Ciudad _____ Indique Cualquier Otra Relación _____