



ARTÍCULOS PUBLICADOS EN LA REVISTA CIMBRA SOBRE TIERRAS Y RESIDUOS

14. Efectos del cloruro cálcico en la estabilidad de las tierras. Enero-Febrero, 2007.
13. Procedimiento español para estabilizar la Torre de Pisa. Octubre 1999.
12. La utilización de las cenizas volantes con cal en la estabilización de suelos. Junio 1988
11. Contribución a la utilización de las cenizas volantes. Junio 1987.
10. Comentarios a la monografía "Hormigón con adición de cenizas volantes en cuantía elevada, e influencia de los aditivos sobre el mismo". Diciembre 1987.
9. Los conocimientos sobre las cenizas volantes hace 30 años. Octubre 1986.
8. Identificación de suelos para la construcción de carreteras. Septiembre 1981.
7. Estabilización de dos tipos de caliza con cenizas volantes solamente. Diciembre 1977.
6. Clasificación de suelos. Junio 1970.
5. Efecto de aditivos químicos en la resistencia de mezclas de arena, cal y cenizas volantes curadas a baja temperatura. Noviembre 1969.
4. Características mineralógicas de una arcilla de bujeo . Enero 1969.
3. Efectos de la adición de arcilla montmorillonítica o caolinítica en la resistencia de mezclas de arena normalizada de Ottawa, cal y cenizas volantes. Septiembre 1968.
2. El triángulo de texturas de suelos. Febrero 1967.
1. La construcción en Montreal: El Metro. Febrero 1966.

Efectos del cloruro cálcico en la estabilidad de las tierras



El cloruro cálcico es uno de los agentes estabilizadores de suelos más económicos, siendo usado, por los beneficios que reporta, tanto en la construcción de capas de sub-base y base para autopistas y carreteras, como en capas de rodadura de caminos ordinarios de tierra. El cloruro, debe advertirse, no convierte un suelo en un material con las características del suelo-cemento, por ejemplo, sino que origina cambios en el suelo que son a veces intangibles, pero que mejoran la estabilidad de los pavimentos y reducen el coste de la conservación. En este capítulo se presentan datos sobre la estabilización de suelos con cloruro cálcico y se exponen los fundamentos de su uso

Por Manuel Mateos de Vicente
Ingeniero Técnico de Obras Públicas

Antecedentes de su empleo

El cloruro de calcio se ha venido usando como paliativo del polvo desde principios del siglo actual. Hubbard dedicó en su libro, publicado en 1910, varias páginas a informar sobre los beneficios del cloruro cálcico cuando se emplea para eliminar el polvo en carreteras y calles (Ref. 1). En la década de 1930, cuando se empezó a dar importancia a la ingeniería del suelo, se realizaron investigaciones y experimentos sobre sus efectos en los suelos; los que se resumieron en la referencia (2). Se observó que la adición de cloruro podía beneficiar los suelos no solamente como paliativo del polvo, sino aumentando la densidad al compactar y también posteriormente, con lo que se mejoraba la estabilidad de la carretera en general.

El empleo del cloruro cálcico en la estabilización de suelos se ha hecho extensivo a la mayor parte de los Estados Unidos existiendo un número incalculable de kilómetros de carreteras y calles en donde se ha usado este producto (3, 4, 5, 6). La investigación estaba

dirigida por un comité del "Transportation Research Board" que ha publicado una bibliografía muy completa de las publicaciones que tratan sobre el uso y efectos del cloruro cálcico en los suelos (4). El Instituto del Cloruro Cálcico (Calcium Chloride Institute, 909 Ring Building, 18th and M. Streets N.W., Washington D.C. EE.UU.) realiza investigación y distribuye información relativa al uso del cloruro de calcio (6). Su uso en la estabilización de suelos se puede encontrar expuesto de una forma general en las referencias (6, 7).

El laboratorio de suelos del Departamento de Ingeniería Experimental de la Universidad Estatal de Iowa realizó también investigaciones sobre el uso del cloruro cálcico en los suelos. Parte del trabajo de laboratorio y de campo ha sido publicado en las referencias (8, 9, 10, 11, 12):

El Cloruro Cálcico

La mayor parte del cloruro de calcio, Cl_2Ca , procede de canteras o minas y es obtenido como subproducto del método Solvay en la producción de carbonato sódico.

Puede existir anhidro o en varios grados de hidratación; puro o en combinación con otras sales.

El empleo de cloruro cálcico más o menos hidratado depende de los precios en origen, más gastos de transporte. Cuando el transporte es costoso se debe analizar económicamente el empleo de cloruro sin hidratar comparándolo con los cloruros hidratados.

El grado de pureza no es importante, principalmente porque las impurezas más comunes son cloruro sódico, ClNa , y cloruro magnésico, Cl_2Mg ; y estas dos sales producen en los suelos efectos similares al cloruro cálcico. Sin embargo, debido a que el cloruro de magnesio es muy corrosivo su contenido debe ser el menor posible cuando el cloruro cálcico se emplea en tratamientos superficiales.

Efectos en los Suelos

El cloruro cálcico es una sal deliquescente. Puede disolverse completamente absorbiendo humedad de la atmósfera cuando la humedad relativa del aire está por encima de ciertos valores. (Figura 1).

Efectos del cloruro cálcico como agente estabilizador de suelos

Efectos beneficiosos:

- Mantiene estable la humedad durante el proceso de compactación.
- Aumenta la densidad máxima para un mismo esfuerzo de compactación.
- Mantiene la superficie del pavimento húmeda, reduciendo la formación de polvo con el tránsito y reteniendo los agregados en la carretera.
- Rebaja la temperatura de congelación del agua, por lo que los suelos sufren menos los efectos de la helada.
- Aumenta la densidad durante el "curado".
- Suministra cationes de calcio, que pueden mejorar las características de las arcillas del grupo montmorillonítico.

Limitaciones:

- Se recomienda emplear con suelos bien graduados.
- Se disuelve y es arrastrado por las aguas de lluvia.
- Para usarse como paliativo del polvo la humedad relativa debe de ser mayor que la crítica durante parte del día.
- Cuando se usa en tratamientos superficiales, partículas de cloruro se pueden depositar en los vehículos acentuando la corrosión de las partes metálicas.

Una solución de cloruro tiene una presión de vapor más baja que el agua pura, por lo que las moléculas de agua en la solución se evaporan más lentamente que las moléculas del agua pura. Debido a estas propiedades es por lo que se usa el cloruro como paliativo del polvo. La humedad que imparte la adición de cloruro a la superficie de un camino de tierra mantiene los áridos más estables que en uno sin tratar. Al perderse menos áridos se realiza una economía importante en la conservación de los caminos.

La propiedad del cloruro cálcico de retener el agua de la solución es beneficiosa durante el proceso de compactación. Al evaporarse el agua con más dificultad, se requieren menos pasadas con el tanque regador para mantener la humedad cercana a la óptima para el esfuerzo de compactación usado. Esto es beneficioso en regiones áridas, donde escasea el agua.

Para un mismo esfuerzo de compactación los suelos tratados con cloruro suelen producir una densidad seca mayor. (Figura 2). Como la resistencia es función de la densidad, los beneficios de obtener una mayor densidad son obvios (Figura 3). Con la adición de cloruro cálcico se puede obtener una

densidad determinada con un número menor de pases con el equipo compactador. El aumento en densidad parece estar originado por una modificación en el estado de floculación de las partículas arcillosas del suelo, unido a una mayor facilidad para que las partículas gruesas cambien de

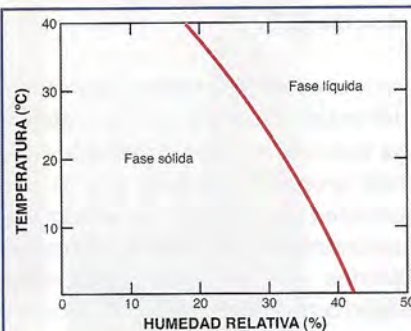


Figura 1. (Arriba) Humedad relativa mínima para una temperatura determinada crítica, a la cual se disuelve el cloruro cálcico.

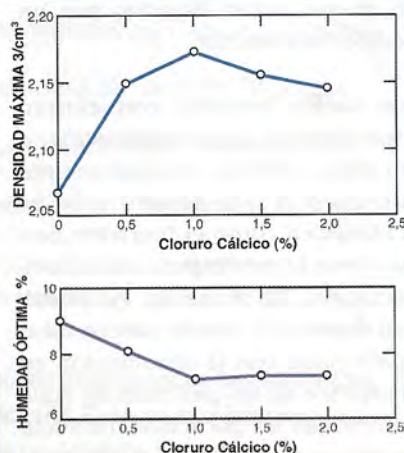


Figura 2. (Derecha) Variaciones en la densidad máxima Proctor y humedad óptima de un suelo bien graduado (A-2-4 de la clasificación A.A.S.H.O.) tratado con cloruro cálcico.

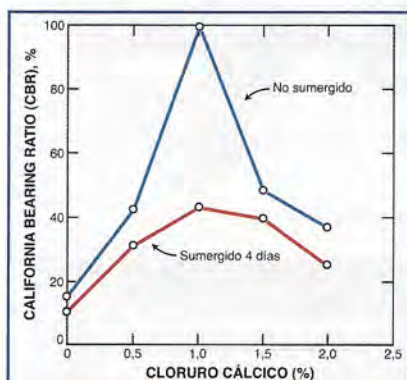


Figura 3. Valores de CBR obtenidos con el mismo suelo de la fig. 2 tratado con cloruro cálcico

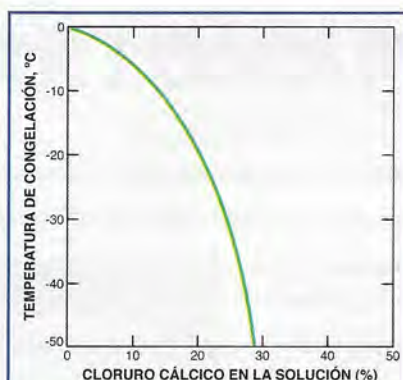


Figura 4. Temperatura de congelación de una solución de cloruro cálcico

posición durante el proceso de compactación. El estado de floculación o dispersión de las partículas de arcilla depende de la concentración de la sal. En el suelo de la Figura 2 cantidades de cloruro mayores que un 1 % cambian el estado de floculación, disminuyendo la densidad máxima para el mismo esfuerzo de compactación.

Una solución de la sal cloruro cálcico se congela a una temperatura menor que el agua pura. La temperatura de congelación de la solución depende de la concentración de la sal (Figura 4). Por consiguiente los suelos tratados con cloruro cálcico sufren menos los efectos del hielo y deshielo, debido a que están helados por un tiempo total menor.

Los suelos tratados con cloruro experimentan una densificación, o encalque, debido exclusivamente al cloruro. A esta densificación se la identifica como el "curado", porque tiene lugar después de la compactación. El aumento en densidad durante el curado parece estar relacionado con la disminución en el espesor de las películas de agua que rodean las partículas del suelo debida a la pérdida de parte de la humedad de la capa estabilizada. La pérdida de humedad durante el curado favorece también la con-

centración de la solución de cloruro, aumentando la tensión superficial de la concentración, lo que también puede contribuir al incremento en la densidad observado. Este aumento en la densidad durante el periodo de curado contribuye según Burggraf (2) con un 90 % en la estabilidad de los suelos tratados con cloruro.

Otras de las propiedades del cloruro es que suministra iones de calcio que pueden ser intercambiados por otros iones en la superficie de las partículas de arcilla, mejorando sensiblemente la plasticidad de las arcillas montmorilloníticas y reduciendo el hinchamiento de las mismas cuando absorben agua.

Para obtener el máximo beneficio del tratamiento con cloruro cálcico se requieren pocas cantidades de este producto (Figuras 2 y 3). La cantidad de cloruro a añadir es generalmente entre 3 y 10 kilogramos por tonelada métrica de suelo a tratar para la construcción de cimientos (bases y sub-bases) de pavimentos. En aplicaciones superficiales se puede emplear medio quilo por metro cuadrado, repitiendo la aplicación cada vez que se observe excesiva sequedad en la superficie de la carretera, y siempre que la humedad relativa

sea mayor que la crítica para la temperatura del pavimento durante parte del día.

Limitaciones de su Empleo

Se recomienda el uso de cloruro en suelos bien graduados y que cumplan, si es posible, con las recomendaciones dadas en la Norma D 1242 de la ASTM o la M 147 de la AASHTO. Con suelos diferentes de los anteriores se deben efectuar ensayos previos de laboratorio para determinar si el cloruro aumenta la densidad del suelo, si es éste el fin que se persigue.

Uno de los inconvenientes de su empleo es que al disolverse fácilmente en agua puede ser arrastrado por las aguas de lluvia; de aquí que sea necesario repetir el tratamiento periódicamente cuando se emplea como paliativo del polvo.

Cuando se usa en tratamientos superficiales, parte del cloruro se puede acumular debajo de las aletas, o en otras parte, de los vehículos. Como el cloruro es bastante higroscópico, mantiene la humedad allí donde se acumula. Esto puede acentuar la corrosión de las partes metálicas de los vehículos. Afortunadamente los constructores de automóviles están modificándolos para disminuir la posible acumulación de las sales presentes en la superficie de los caminos estabilizados y sobre todo, de las sales usadas para acelerar el deshielo en épocas de nevadas. Últimamente se ha generalizado el cubrir las partes descubiertas debajo de los vehículos con una película de caucho. En fin otro método de luchar contra la acumulación de sales debajo de los vehículos es lavarlos de vez en cuando.

Construcción

En los trabajos de estabilización de suelos es necesario utilizar maquinaria de distintos tipos. Sin embar-



go, en esta necesidad radica la economía de los métodos de estabilización de suelos, pues el realizar las dosificaciones, mezclado, distribución, compactación, etc. a mano, sin maquinaria, sería una tarea muy costosa aun en los países en los que la mano de obra es barata. Además, el producto final trabajado a mano sería de una calidad tan inferior que no se podrían construir pavimentos duraderos con él. Afortunadamente se pueden usar varios tipos de maquinaria en cada una de las fases de la estabilización de suelos, aunque se ha de reconocer que unos tipos producen mejor material, más uniforme, o son más económicos de manejar que otros.

La dosificación y mezcla de los materiales es más perfecta cuando se usan plantas estacionarias; sin embargo, estas plantas sólo

pueden utilizarse en canteras que producen áridos con la granulometría deseada mezclando otros áridos de tamaños diferentes. La incorporación del cloruro en plantas estacionarias se puede realizar de un modo automático utilizando dosificadores y cintas transportadoras existentes en la planta o adaptando dosificadores especiales para aditivos. Las plantas que producen suelo tratado con productos estabilizadores deben estar dotadas de un mezclador de paletas para producir una mezcla uniforme.

La distribución del cloruro en el campo, para mezclas "in-situ" o para tratamientos superficiales, varía según se emplee el cloruro en estado sólido o en solución acuosa. Existen aparatos especiales para la distribución en estado sólido que se montan en la parte

posterior de camiones con caja volquete. Se puede también distribuir a pala desde un camión marchando a poca velocidad. La distribución del cloruro en solución puede hacerse utilizando los camiones-cisterna regadores.

El mezclado del cloruro con los agregados se puede efectuar "in-situ" con rotomezcladores de varias pasadas, tipo "pulvimixer", o con los que requieren solamente una pasada. Estos rotomezcladores producen una mezcla muy uniforme y son los que se aconseja usar. Si no se dispone de rotomezcladores, se puede efectuar un mezclado bastante adecuado sirviéndose de motoniveladoras o, en última instancia, de los arados de discos. En ocasiones será necesario escarificar previamente el material existente para poder realizar el proceso del mezclado.

La compactación no presenta generalmente muchas dificultades pues todo contratista suele disponer de un surtido de máquinas compactadoras. Si el cloruro se utiliza para estabilizar un suelo friable, suelto, los rodillos de pata de cabra no podrán compactar este material. La combinación de compactadores de neumáticos, de ruedas planas de acero, vibradores, etc, y el número de pases con cada compactador depende de las condiciones de trabajo, tipo de suelo y compactadores disponibles. La experiencia del ingeniero encargado es la que debe dictar el orden de empleo de cada compactador y número de pases necesarios para obtener la densidad deseada de la manera más económica posible.

Después de terminada la compactación se aconseja dejar el pavimento estabilizado que se cure por un periodo de dos a siete días, según las condiciones atmosféricas locales.

El extendido y nivelación, en los caminos en los que se emplee el cloruro como tratamiento superficial, deben hacerse de tal manera que el perfil transversal del pavimento quede terminado en forma de A, y no en forma parabólica o circular. La pendiente transversal debe ser del 3,5 al 4%, para que las aguas de lluvia escurran con facilidad y el cloruro que arrastren sea mínimo.

Conservación

La conservación de capas de base o sub-base tratadas con cloruro cubiertas con capas de rodadura es prácticamente nula, como se puede comprender, en lo que se refiere al suelo estabilizado con cloruro. En este caso la conservación se reduce a mantener la capa de rodadura en buen estado.

En tratamientos superficiales es muy necesaria la conservación si se desea prolongar la vida del pavimento. Se debe aplicar cloruro cada

vez que se note una excesiva sequedad en la superficie. El número de pasadas con motoniveladora en carreteras tratadas con cloruro es menor que en carreteras sin tratar, pero no debe descuidarse el dar una pasada con la motoniveladora cuando la carretera lo necesite, y a ser posible después de una lluvia.

Referencias

- 1) P. Hubbard; "Dust preventives and road binders"; John Wiley and Sons, New York, 1910
- 2) H. D. Wilford, B. R. Downey, G. F. Briggs, C. A. Hogentogler Jr., J. A. Knight, J. Elleman y F. Burggraf, "Use of calcium chloride in road stabilization", Highway Research Board Proceedings 18-II, 1938.
- 3) E. M. Baylard, "Performance study of calcium chloride treated roads", Highway Research Board Proceedings 31, 1952.
- 4) Highway Research Board; "Stabilization of soil with calcium chloride", Bibliografía anotada, Highway Research Board Bibliography 24, 1958.
- 5) J. R. Dougherty; "Low cost dustless surfacing for secondary roads", Highway Research Abstracts 24, No. 3, Marzo de 1954.
- 6) Calcium Chloride Institute; "Calcium chloride for stabilization of bases and wearing courses", Calcium Chloride Institute Manual SM-1, 1959.
- 7) D. T. Davidson y R. L. Handy; "Soil stabilization with chlorides", publicado en el libro "Highway Engineering Handbook" editado por K.B.Woods, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1960.
- 8) R. L. Handy; "Chloride roads", Engineering Experiment Station, Iowa State University of Science and Technology, Screenings 2 No. 6, Noviembre-Diciembre de 1958
- 9) A. J. Gow, D. T. Davidson y J. B. Sheeler; "Relative effects of chlorides, lignosulfonates and molasses on properties of a soil-aggregate mix", Highway Research Board Bulletin 282, 1960.
- 10) K. M. Saville, "Story County, Iowa- Base Project", Calcium Chloride Institute, Washington, D.C. 1960
- 11) J. B. Sheeler y D. W. Hofer, "Density-compactive energy-calcium chloride content relationships for an Iowa dolomite", Highway Research Board Bulletin 309, 1961.
- 12) M. Mateos; "Estabilización de suelos con cloruro cálcico"; Revista de Obras Públicas, España; Marzo de 1961.
- 13) M. Mateos, "El cloruro cálcico como agente estabilizador de suelos", Caminos y Construcción Pesada, Chicago, Septiembre de 1962, Páginas 11 a 15. ■

Procedimiento español para estabilizar la Torre de Pisa

Después de varios tratamientos, incluida una pesada carga de plomo en el lado que no se hunde, la Torre de Pisa sigue inclinándose. Están empezando otro tratamiento que esperemos sea más eficaz que los que se han realizado hasta ahora.



Nuestro compañero y colaborador de CIMBRA, **Manuel Mateos de Vicente**, ha propuesto uno sencillo, basado en su investigación doctoral y

en ensayos posteriores que ha hecho en el campo para consolidar corrimientos de tierra. Algunos de estos trabajos se los hizo al compañero José Torija, del Canal de Isabel II, para consolidar varios terraplenes. También trató otros terraplenes para el compañero Estanislao Chaves, aparte de otros en varias partes de España, hasta llegar a perfeccionar el procedimiento. Mención a este procedimiento lo hizo el ingeniero de Caminos, Emilio López de Berges y de los Santos en la Revista de Obras Públicas en abril de 1975 (*Las Grandes Conducciones del Canal de Isabel II - Su Conservación y Explotación*). Una vez desarrollado el método, Mateos se dedicó a investigar en otros campos o sobre problemas más importantes. Uno de ellos aparece en Internet, donde se exponen con comentario sus 200 artículos publicados, con centenares de sugerencias para reducir los accidentes de la circulación (<http://www.citop.es> y después pulsar **Publicaciones** seguido por pulsar en **cimbra, colaboraciones**).

El método de Mateos es fácil y barato. Consiste, según nos ha explicado, en hacer sondeos de poco diámetro en la parte don-

de se hunde la Torre e inyectar en ellos cal viva, CaO. Dice que ha comprobado que la cal aumenta de volumen al convertirse en hidratada con lo cual compacta el terreno. El agua para la hidratación la ha echado algunas veces al mismo tiempo que la cal viva y en otras la ha tomado la misma cal de la humedad existente en las tierras. En la parte opuesta a la parte hundida de la Torre, recomienda, también, hacer sondeos de poco diámetro e inyectar en este caso cal hidratada, Ca (OH)₂.

En ambos casos, la cal se expande por afinidad eléctrica con el envoltorio cargado negativamente de las partículas de arcilla. Esta penetración o migración de la cal, nos explica Mateos, se ha comprobado fácilmente en probetas donde la tie-

rra está en contacto con la cal. Está favorecida por el muy pequeño tamaño de la molécula de cal y porque se disocia en calcio «Ca» y oxígeno «O». Esta difusión de la cal en la tierra cambia la estructura de las partículas de arcilla haciéndolas más estables, más resistentes, debido a que el catión calcio desplaza a otros iones y se adhiere fuertemente a la corteza negativa de las partículas de arcilla. Desde luego conviene previamente hacer unos sencillos análisis para asegurarse que las arcillas, o limos bajo la Torre de Pisa son susceptibles de estabilizarse, pues por el término de arcilla se agrupa una gran variedad de partículas existentes en la tierra, de formas diversas y de comportamiento reológico distinto. ◀

La Foto

UN TRABAJO PRIMOROSO

En la foto vemos un trabajo verdaderamente primoroso de crear un alcorque respetando un aprendiz de árbol, que ha supuesto un esmerado recorte de la loseta a cargo, sin duda, de un operario muy respetuoso con la ecología pero con nulo sentido común.

Esta foto nos la ha facilitado el colegiado Luis Miguel Ruiz Villoria, secretario-general del CITOP.



La utilización de las cenizas volantes con cal en la estabilización de suelos.

Por: Manuel MATEOS.
I.C.C.P.
A.O.P.
Ph.D.

INTRODUCCION.

En España se están produciendo anualmente unos **diez millones de toneladas** de cenizas. Suponiendo un coste de 100 pts/Tm por retirarlas y transportarlas a vertedero ello supondría un gasto inútil de MIL MILLONES DE PESETAS AL AÑO.

Hasta hace unos tres años prácticamente se tiraban todas a vertedero. Actualmente se está usando parte de la producción para mezclarlas con cemento, siendo compradas por fabricantes de cemento o de hormigón. En algunas ocasiones se usaron en muy poca cantidad en trasdosados de muros. Sin embargo se podrían utilizar mucho en la construcción de firmes si en las Jefaturas Provinciales de Carreteras del MOPU o de las Autonomías de las 50 provincias se supiera más sobre este uso de las cenizas. Para contribuir a ello transcribimos las conclusiones de nuestra tesis doctoral, que versó sobre la estabilización de suelos con cal y cenizas volantes y su comparación con otros métodos. Creemos que ello puede ser de utilidad, pues por fin se está pensando seriamente en España en la construcción de bases y subbases para firmes. Conviene aclarar que hace 30 años ya habíamos empleado tales materiales con suelos de la traza de muchas carreteras para darles resistencia y usarlos como base. La técnica era muy conocida con zahorras, pero no así con suelos. En España tenemos noticia que se han hecho algunas carreteras experimentales con zahorras, pero no con suelos limosos o arcillosos. Llevo realizando en España una campaña para el uso de las cenizas volantes (aunque no me dedico a su comercialización), y algo hemos conseguido pues ya se usan con cemento. Esperemos se empiecen a usar en otras fases de la construcción.

CONCLUSIONES DE LA TESIS DOCTORAL DEL AUTOR.

1.— La máxima resistencia de las mezclas del suelo, cal y cenizas volantes se encuentra en un contenido de humedad que no es necesariamente el óptimo para una máxima densidad. Con suelos arenosos, la humedad de

compactación para una máxima resistencia está en el lado seco de la humedad óptima para la máxima densidad. En suelos con alto contenido de arcilla, por lo menos las del tipo montmorilloníco, está en el lado húmedo. Con otros suelos, como loes friable, la máxima resistencia y la máxima densidad pueden coincidir en la misma humedad de compactación.

2.— La máxima resistencia de mezclas de suelo y cal pueden también ocurrir a humedades distintas de la óptima para una máxima densidad.

3.— El contenido de humedad requerido para tener una resistencia máxima cambia con el período de curado de las mezclas de suelo, cal y cenizas. Cuanto mayor sea el período de curado, mayor es la humedad óptima de compactación necesaria para una máxima resistencia.

4.— Aumentando el esfuerzo de compactación de próctor normal a modificado hace que aumente la resistencia de las mezclas de suelo, cal y cenizas. El aumento es variable, pero generalmente oscila entre el 50 y el 160 por 100.

5.— No hay una cantidad o relación óptima de cal y cenizas para estabilizar todos los suelos. Las cantidades y proporciones dependen en gran medida de la clase de suelo y de cenizas y en parte del tipo de cal. Para suelos granulares la cantidad de cal debe estar comprendida entre el 3 y 6 por 100, y la cantidad de cenizas entre el 10 y 25 por 100. Para suelos arcillosos la cantidad de cal debe estar entre 5 y 9 por 100, y de cenizas entre el 10 y 25 por 100.

6.— La cal dolomítica monohidratada produce, en general, mayores resistencia en mezclas de suelo, cal y cenizas, que la cal calcítica hidratada, para cantidades normales de cal y cuando las mezclas compactadas están curadas a temperaturas ambientales.

7.— Para contenidos bajos de cal, del orden del 3 por 100, la cal calcítica hidratada es más eficaz que la dolomítica monohidratada en la estabilización de suelos arcillosos sin edición de cenizas. Para contenido mayor de cal, la dolomítica monohidratada produce mayores resistencias que la calcítica hidratada.

8.— Las cenizas empleadas en el trabajo de la tesis eran beneficiosas con todos los suelos, excepto con el loes fria-



ble, con este suelo solamente las cenizas de alta calidad resultaban aceptables.

9.— Calentando los materiales (suelo, cal y cenizas) a alta temperatura al momento de ser mezclados, hace bajar tanto la máxima densidad como la máxima resistencia.

10.— La compactación debe llevarse a cabo tan pronto como sea posible, después del mezclado con agua del suelo, cal y cenizas. De no hacerlo así la densidad y la resistencia pueden bajar mucho. Como extremos, con suelos arcillosos, la mezcla con el agua requerida y la compactación deben hacerse el mismo día. Con suelos arenosos la compactación se puede diferir hasta el día siguiente de mezclar los materiales con el agua, sin que ello comporte una pérdida de resistencia apreciable.

11.— La reacción puzolánica entre el suelo, cal y cenizas, se acelera al aumentar la temperatura de curado de las mezclas compactadas, y por tanto la resistencia puede aumentar considerablemente curando en cámara de humedad a altas temperaturas.

12.— Probetas curadas al vapor de mezclas compactadas de suelo, cal y cenizas, o cemento, alcanzan a las pocas horas resistencias comparables a las del hormigón de cemento.

13.— A temperaturas ambientales, arenas estabilizadas con cenizas y cal dolomítica monohidratada alcanzan generalmente mayores resistencias que con cal calcítica hidratada, pero a mayor temperatura de curado (por encima de 60°C) la calcítica es mejor que la dolomítica.

14.— La calidad de una ceniza para estabilizar suelos se refleja en la resistencia a la compresión de las mezclas compactadas. Una mezcla hecha con una ceniza de buena calidad dará siempre mayores resistencias que las de una ceniza de calidad inferior, independientemente de la temperatura de curado a la que, paralelamente, se la someta.

15.— No hay correlación entre la resistencia para largos períodos de curado a temperatura ambiental y la obtenida a temperaturas elevadas.

16.— La calidad de la ceniza se puede mejorar retirando la parte más gruesa y/o por molienda.

17.— La resistencia alcanzada en mezclas compactadas de suelo, cal y cenizas, puede ser aumentada por la adición de pequeñas cantidades de algunos productos químicos simples, carbonato sódico, metasilicato sódico e hidróxido sódico parecen ser los más prometedores, según se ha observado por los aumentos en resistencia y por consideraciones económicas. Este beneficio es mayor en mezclas con suelos arenosos, seguido por suelos con baja plasticidad. Los suelos arcillosos estabilizados con cal y cenizas no se benefician al añadirles hidróxido sódico, carbonato sódico o metasilicato sódico.

18.— Aunque el aumento en resistencia ganado al añadir los productos ocurre a temperaturas ambientales normales, estos aditivos son especialmente útiles a temperaturas cercanas a 0°C, lo que puede permitir la ampliación de la temporada de trabajo usando la estabilización de suelos con cal y cenizas.

19.— El Carbonato sódico es el producto más recomendado con suelos arenosos o limosos. La adición de 0,5 por

100 de carbonato sódico permite una reducción en la cantidad de cal y cenizas para alcanzar la misma resistencia que usando cantidades mayores de cal y cenizas.

20.— La cantidad de cal necesaria para estabilizar un suelo se debe determinar basándose en períodos tanto cortos como largos de curado. Pequeñas cantidades de cal producen resistencias a corto plazo de largos períodos de curado las mayores cantidades de cal producen mayores resistencias.

21.— Las curvas humedad—densidad (ensayo próctor) de suelos arcillosos montmorilloníticos estabilizados con cal, están afectadas por los efectos floclantes de la cal. En algunos casos estas curvas (con cal) no llegan a mostrar una densidad máxima, por tener una curva proctor más bien plana.

22.— El cemento es un estabilizante muy efectivo para casi todos los suelos. La ganancia en resistencia de las mezclas compactadas de suelo y cemento es rápida y una gran parte de esa resistencia se desarrolla en un tiempo relativamente corto. Por el contrario, mezclas compactadas de suelo, cal y cenizas, ganan resistencia paulatinamente y la resistencia total puede necesitar varios años para desarrollarse. La comparación de los efectos del cemento o de la cal—cenizas en la estabilización de suelos debe por tanto hacerse sobre la base de 28 días de curado. Después de este período el suelo—cemento debe haber alcanzado el 90 por 100 de su resistencia total posible, pero el suelo—cal—cenizas debe haber alcanzado solamente el 50 por 100 del total, restándole por lo tanto un gran aumento de resistencia por desarrollar.

23.— Composiciones seleccionadas de arena, cal y cenizas, solas o con aditivos, pueden competir en resistencia a la compresión al helado—deshelado, y económicamente con mezclas de mismo suelo estabilizado con cemento.

24.— Loes es el suelo que respondió mejor a ser estabilizado con cemento. Sin embargo si la cal es barata y existe una ceniza de alta calidad cercana, cal y cenizas pueden competir económicamente con el cemento en la estabilización de loes.

25.— La adición de cenizas es beneficiosa con el suelo gumbotil (arcilla muy plástica de origen glacial). Mezclas seleccionadas de gumbotil, cal y cenizas muestran buena resistencia a los hielos y pueden competir con gumbotil estabilizado con cemento.

26.— La adición de cenizas es beneficiosa con arcilla aluvial. Mezclas de este suelo con cal y cenizas pueden competir económicamente, en resistencia, con las mismas mezclas estabilizadas con cemento.

INVESTIGACION POSTDOCTORAL.

En trabajos posteriores estuve trabajando con otras fases; por ejemplo haciendo crecer cristales, en cámara húmeda a temperatura ambiental, para hallar los compuestos que se forman en la reacción cal—cenizas. El hallazgo más importante fue descubrir que algunas cenizas eran hidráulicas, es decir que no necesitan cal ni cemento para ser un material aglutinante; entonces (1961) esto no se sospecha-

ba. Este hallazgo (de lo que podíamos llamar cemento—Mateos) lo comuniqué a través de la Iowa Academy of Sciences ("Cementitious properties of some Iowa fly ashes without lime additives", por M. Mateos y D.T. Davidson, PROCEEDING, Iowa Academy of Sciences, Vol. 7, 1963) y de la National Academy of Sciences—National Research Council de USA ("Stabilization of soils with fly ash alone" por M. Mateos, HIGHWAY RESEARCH RECORD, N° 92, 1964). Tales cenizas hidráulicas se pueden beneficiar para hacer ladrillos baratos y otros productos para la construcción, lo que presenté en un Congreso de la American Society for Testing and Materials ("Stand fly ash brick s", por M. Mateos, MATERIALS RESEARCH AND STANDARDS, A.S.T.M., Vol. 4, N° 8, Agosto 1964). Algunas de estas publicaciones están recogidas en "A selection of publications on soil mechanics by Manuel Mateos", Editorial Técnica Bellisco, Apartado 156.133, 28080 Madrid.

Hicimos análisis por rayos X, térmico diferencial, y microscopio electrónico para hallar la composición de las cenizas ("Variation in prozzolanic bahviour of fly asher" por D. Vicent, M. Mateos y D.T. Davidson, PROCEEDINGS, A.S.T.M. Vol. 61, 1961 "Steam curing and x-ray studies of fly ashes", por M. Mateos y D.T. Davidson, PROCEEDINGS, A.S.T.M., Vol. 62, 1962). Trabajamos con suelos de un amplio espectro geográfico ("Estabilización de suelos de Alaska con aditivos inorgánicos", por M. Mateos y D.T. Davidson, REVISTA DE OBRAS PUBLICAS, Agosto 1963), o seguimos analizando el efecto de aditivos bajo condiciones extremas ("Efectos de la adición de arcilla montmorilínica o caolinítica en las resistencias de mezclas de arena normalizada de Otta wa, cal y cenizas volantes curadas a baja temperatura", por M. Mateos, CIMBRA, Noviembre 1969).

Nuestra preocupación por el derroche nacional de tantos millones de toneladas de cenizas sigue en pie ("Los conocimientos sobre las cenizas volantes hace 30 años", por M. Mateos, CIMBRA, Octubre 1986. —"Contribución a la utilización de las cenizas volantes", por M. Mateos, CIMBRA, Junio 1987).

OBSERVACIONES FINALES.

Se ha llegado en España a producir actualmente del

orden de 10 millones de toneladas de cenizas al año. La misma cantidad que se producía en Estados Unidos cuando trabajaba para la tesis doctoral. Estamos observando en España las mismas preocupaciones que hace 27 años en aquel otro país. Nos da la impresión que no se aprovechan en España los conocimientos ya adquiridos en otros países hace ya muchos años. Por ejemplo hacia 1960 ya se habían hecho carreteras experimentales en Estados Unidos, se usaban cenizas en gran cantidad en las presas de hormigón y en rellenos o trasdosados de muros. Se usaba hormigón de cenizas volantes con cal en la construcción de calles por la Compañía Chicago fly Ash. Se mandaban barcos llenos con cenizas a los países árabes para ser usadas en la construcción de presas de hormigón. Estábamos tratando de saber su comportamiento en la estabilización de suelos de todo tipo. Nos da la impresión que se está haciendo en España ahora algo muy positivo pues se va tomando conciencia del grave problema que significa el llevar a vertedero tantos millones de toneladas de cenizas al año, lo que en transporte como desecho puede suponer un desembolso inútil, según hemos indicado, del orden de los 1000 millones de pesetas/año.

Personalmente he tratado de dar a conocer este material de acuerdo con mis escasos medios, estando parte de ello reflejado en muchos artículos o comunicaciones en español. (Ver "Recopilación de publicaciones en español de Manuel Mateos sobre la utilización de las cenizas volantes en la construcción", Editorial Técnica Bellisco, Apartado 156.133, 28080 Madrid). Nos cabe la satisfacción el saber que ya se están usando grandes cantidades mezcladas con cemento.

AGRADECIMIENTO.

El trabajo de tesis doctoral aquí resumido fue financiado por la Dirección General de Carreteras del Estado de Iowa y por el U.S. Bureau of Public Roads, a través de acuerdos con la Iowa State University of Science and Technology.

M.M.



Contribución a la utilización de las cenizas volantes

Por: Manuel Mateos de Vicente
Dr. Ingeniero de Caminos, C. y P.
Ayudante de Obras Públicas
Master of Science
Profesor Titular de la Cátedra de
Obras Hidráulicas en la Escuela
Univ. de Ing. T. de Obras Públicas
de la Universidad Politécnica de Madrid.

Las centrales térmicas en ESPAÑA están produciendo en 1987 unos DIEZ MILLONES DE TONELADAS de cenizas volantes al año. Puesto en cifras más fáciles de entender esto supone medio millón de camiones de 20 T al año. Estos camiones colocados unos detrás de otros formarían una fila de 6.000 km. Es decir, llenaríamos las seis carreteras radiales españolas y aún nos sobrarían centenares de camiones.

Estas cenizas se producen en las centrales térmicas de Escatrón (Z), Escucha (TE), Meirana (C), Puentes (C), Serchs (B), Andorra (TE), Compostilla (LE), Guardo (P), La Robla (LE), Narcea (O), Puertollano (CR), Lada (O), Soto de Ribera (O), Puente Nuevo (CO), Avilés (O), Aboño (O), Alcudia (PM), Pasajes (SS), Anllares (LE), Carboneras (AL), etc. Se puede ver que existen tales centrales por todo el ámbito nacional. LAS CENIZAS EN SU MAYOR PARTE NO SE APROVECHAN. Anticipando este grave problema analicé hace 30 años sus posibles usos y cuyo estudio está resumido en el número 31 de la BIBLIOGRAFIA que presento al final.

Como consecuencia de dicho análisis, inicié en el año 1956 unos trabajos de investigación sobre la utilización de cenizas volantes en la construcción, especialmente de firmes para carreteras. Esta investigación estuvo financiada por la Dirección General de Carreteras del Estado de Iowa y por el U.S. Bureau of Public Roads, a través de acuerdos con la

Universidad Iowa State. Ya se usaban entonces las cenizas masivamente en varios países industrializados en obras de hormigón, principalmente presas, o como relleno de terraplenes. Sin embargo su uso en firmes de carreteras, aparcamientos, y pistas de aterrizaje, estaba prácticamente en plan experimental.

El trabajo desarrollado en la Universidad Iowa State se centró principalmente en la utilización de las cenizas en carreteras mezclándolas con los suelos hallados en la traza, así como en tratar de hallar aceleradores de la lenta reacción puzolánica.

Tal vez lo más importante de nuestra investigación fue la suerte de ser el primero que descubriera que algunas cenizas eran en sí mismas auténticos cementos. Este hallazgo se comunicó a través de Iowa Academy of Science (Ver Bibliografía 1 y 2 al final) y de la National Academy of Sciences-National Research Council (Bibl. 3). Este descubrimiento puede ser de un gran impacto económico si se utilizan tales cenizas hidráulicas, al ser un cemento de coste nulo ya que son un material de desecho, un residuo. No se patentó para hacerlo más asequible a la Sociedad y contribuir a tener un entorno ecológico mas bello, con menos vertederos para residuos de industrias.

Tales cenizas hidráulicas o cenizas-cemento se pueden también beneficiar para la fabricación de ladrillos baratos, lo que dimos a conocer a través de la American Society for Testing Materials

—ASTM— (Bibl. 4).

El problema de las cenizas volantes es mas que nacional, internacional, según pudimos comprobar en nuestros necesarios contactos con investigadores de otros países. El trabajo desarrollado en la Universidad Iowa State por varios investigadores supuso un gran avance en el conocimiento de las cenizas y de su aprovechamiento. Uno de nuestros colaboradores, el Dr. Coleman A. O'Flaherty (Bibl. 5), al pasar a ser profesor de la Universidad de Leeds, Inglaterra, introdujo en sus programas de investigación la utilización de las cenizas volantes. En este programa de la Universidad de Leeds, se me pidió en 1971 la colaboración como profesor Exteranal Examiner del análisis del trabajo doctoral sobre cenizas volantes de M.R. Dyer (Bibl. 6). En Inglaterra llevaban varios años empleando las cenizas principalmente en la construcción de terraplenes. En Francia se estaban consumiendo grandes cantidades mezclándolas con cemento en hormigón.

La labor que tuve que realizar en Estados Unidos fue amplia pues incluyó trabajos en carreteras experimentales y la construcción de firmes definitivos en una de las centrales térmicas de IPALCO —Indianapolis Power and Light Co.—. Prepare las tesis para el Master y Doctorado (Bibl. 7 y 8), y pasé en 1962 a ser miembro del Grupo de Trabajo de la ASTM para preparación de normas sobre cenizas volantes.

En España traté con los medios a mi alcance de hacer ver las posibilidades de aprovechamiento de este material a través de artículos en varias publicaciones (Boletín del MOPU, Revista de Obras Públicas, Cimbra, Boletín de la Sociedad Española de Mecánica del Suelo, Informes de la Construcción del Instituto Torroja, etc.), así como enviando por correo en dos ocasiones información de investigación sobre algunos usos de las cenizas a todos los Ingenieros de Caminos y Ayudantes de Obras Públicas. En Madrid y otras provincias he tratado de hacer ver las grandes posibilidades de este material en visitas periódicas relacionadas con mis trabajos como ingeniero.

Aparte de poderse emplear en la construcción de firmes, canales o presas, también se puede fabricar con ellas tapiales o ladrillos, emplearlas para corregir tierras en agricultura, beneficiar algunos de sus minerales o metales, o para producir nuevos materiales. Siempre bajo análisis previos. Para potenciar su uso se necesita que la Administración, particulares y propietarios de centrales térmicas **quieran** realmente que se utilicen y contribuyan más a hacer ver la importancia de este material, que para ellos es de desecho, que les crea problemas de vertido y cuya valía en planta o vertedero debe establecerse como nula para así promover su uso. Este está siendo restringido por el hecho

de que al encontrarle alguien una salida, en algunas centrales térmicas se empiezan a creer que las cenizas son un material valioso y se comienza a cobrar por retirarlas unas cantidades que no las hacen competir económicamente con otros productos cuyo precio se mantiene constante, o previsible, a lo largo de los años.

Es de esperar que en España se pase a considerar seriamente el problema del empleo de las cenizas. Llevamos tal vez 20 años de retraso con respecto a algunos países, a lo que no encontramos lógica alguna. Tal vez nos faltara comunicación. Por si hemos incurrido en esta falta de comunicación hemos preparado este informe y presentamos a continuación un listado bibliográfico donde reflejamos parte de nuestra investigación en el aprovechamiento de las cenizas. Como final diremos que el tirar las cenizas, a solo 100 pts tonelada, costaría MIL MILLONES DE PESETAS AL AÑO.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- "Cementitious properties of some Iowa fly ashes without lime additives" por M. Mateos y D.T. Davidson, PROCEEDINGS, Iowa Academy of Science, vol. 69, 1962.
- 2.- "Stabilization of two Iowa limestones with fly ash alone", por M. Mateos, PROCEEDINGS, Iowa Academy of Science, vol. 70, 1963.
- 3.- "Stabilization of soils with fly ash alone", por M. Mateos, Highway Research Record, núm.92, 1964.
- 4.- "Sand-fly ash bricks", por M. Mateos, MATERIALS RESEARCH AND STANDARDS, ASTM", vol. 4, núm. 8, agosto, 1964.
- 5.- "Fly ash and sodium carbonate as additives to soil-cement mixtures" por C.A. O. Flaherty, M. Mateos y D.T. Davidson, BULLETIN, núm. 353, Highway Research Board, 1962.
- 6.- "The stabilization of soils using lime and fly ash additives", por M.R. Dyer, TESIS para el Doctor of Philosophy, The University of Leeds, 1971.
- 7.- "Effect of trace chemicals on strength of Ottawa sand-lime-fly ash mixtures", por M. Mateos TESIS para el Master of Science, Iowa State University, Ames, Iowa, EE.UU., 1958.
- 8.- "Physical and mineralogical factors in stabilization of Iowa soils with lime and fly ask", por M. Mateos, TESIS para el Doctor of Philosophy, Iowa State University, 1961.
- 9.- "Respuesta de Luis Torrent a los comentarios de M. Mateos sobre "Chimeneas de Equilibrio en Instalaciones de Bombeo", REVISTA DE OBRAS PUBLICAS, enero, 1983.
- 10.- "Activation of the lime-fly ash reaction by trace chemicals, por D.T. Davidson, M. Mateos y



R. K. Katti, BULLETIN, núm. 231, Highway Research Board, 1959.

11.- "Further evaluation of promising chemical additives for accelerating hardening of soil-lime-fly ash mixtures", por M. Mateos y D.T. Davidson, BULLETIN, núm. 304, Highway Research Board, 1961.

12.- "Lime and fly ash mixtures and some aspects of lime stabilization", por M. Mateos y D.T. Davidson, BULLETIN, núm. 353, Highway Research Board, 1964.

13.- "Moisture-density, moisture-strength and compaction characteristics of cement treated soils", por D.T. Davidson, G. L. Pitre, M. Mateos y K. P. George, BULLETIN, núm. 353, Highway Research Board, 1962.

14.- "Compaction characteristics of soil-lime-fly ash mixtures", por M. Mateos y D.T. Davidson, HIGHWAY RESEARCH RECORD, núm. 29, 1963

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

16.- "Las cenizas volantes con cal en la construcción de firmes", por M. Mateos, BOLETIN DE INFORMACION, Ministerio de Obras Públicas, núm. 137, mayo 1969.

17.- "Recherches sur la stabilization de sols para la chaux et les cendres volantes", por M. Mateos, COMPTES RENDUS, 6º Congreso Internacional de Mecánica del Suelo e Ingeniería de Cimientos, vol. II University of Toronto Press, 1965.

18.- "Ladrillos de arena y cenizas volantes", por M. Mateos, BOLETIN, Sociedad Española de Mecánica del Suelo e Ingeniería de Cimientos, Inst. E. Torroja, mayo, 1965.

19.- "Estabilización de dos gravas calizas con cenizas volantes", por M. Mateos, BOLETIN, Sociedad Española de Mecánica del Suelo y Cimientos, Inst. E. Torroja, mayo 1965.

20.- "Curado a diferentes temperaturas de mezclas de arena-cal-cenizas volantes", por M. Mateos, MATERIALES DE CONSTRUCCION, núm. 125, Inst. E. Torroja, enero 1967.

21.- "Pavimentos para caminos vecinales", por M. Mateos, CIMBRA, núm. 3, mayo, 1964.

22.- "Efectos de la adición de arcilla montmorillo-

nítica o caolínica en las resistencias de mezclas de arena normalizada de Ottawa, cal y cenizas volantes", por M. Mateos, CIMBRA, núm. 44, septiembre, 1968.

23.- "Efecto de aditivos químicos en la resistencia de mezclas de arena, cal y cenizas volantes curadas a baja temperatura", por M. Mateos, CIMBRA, núm. 57, noviembre 1969.

24.- "Estabilización de dos tipos de caliza con cenizas volantes solamente", por M. Mateos, CIMBRA, núm. 148, diciembre, 1977.

25.- "Variation in puzzolanic behavior of fly ashes", por D. Vincent M. Mateos y D.T. Davidson, PROCEEDINGS, ASTM, Vol. 61, 1961.

26.- "Heat curing of sand-lime-fly ash mixtures", por M. Mateos, MATERIALS RESEARCH AND STANDARDS, ASTM, mayo 1964.

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

28.- "Clavey soil-lime specimens hardened by steam", por M. Mateos, JOURNAL OF MATERIALS, ASTM; vol. 3, núm. 2, junio 1968.

29.- "Cal y cenizas volantes como medio estabilizador", por M. Mateos, INGENIERIA INTERNACIONAL CONSTRUCCION, Chicago, octubre, 1965.

30.- "Gypsum as an additive to stabilized soils", por M. Mateos y D.T. Davidson, ACTAS 1 coloquio internacional sobre las Obras Públicas en Terrenos Yesíferos, Servicio Geológico de Obras Públicas, Madrid, 1962.

31.- "Los conocimientos sobre las cenizas volantes hace 30 años", por M. Mateos, CIMBRA, octubre, 1986.

32.- "La estabilización de suelos en el Plan General de Carreteras", por M. Mateos, CARRETERAS, Marzo, 1963.

33.- "Pavimentos para caminos vecinales", por M. Mateos, CIMBRA, Mayo 1964.

34.- "Las cenizas volantes como lecho para tuberías de gran diámetro", por M. Mateos, pendiente de publicación.

35.- "Normas ASTM para estabilización de suelos con cenizas", por M. Mateos, pendiente de publicación.

M.M.V.



COMENTARIOS

COMENTARIOS a la Monografía "Hormigón con adición de cenizas volantes en cuantía elevada, e influencia de los aditivos sobre el mismo", publicada en CIMBRA No. 245 (Agosto-Septiembre) y No. 246 (Octubre de 1987).

Por:

Manuel MATEOS

Dr. Ingeniero C.C.P.; Ph. D.; A.O.P.

Profesor Cátedra de Obras Hidráulicas, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Obras Públicas, Universidad Politécnica de Madrid.

He leído la Monografía, preparada por Fernando Sánchez Amillategui, que fue el tercer premio de Halesa. Aunque las tres son de mucho interés, para mí es la mejor monografía de las tres premiadas, por su claridad en la presentación de los datos.

Voy a hacer unos comentarios sobre este tema, dado que estoy trabajando desde 1956 en la utilización de las cenizas volantes en la construcción.

Esta monografía publicada en CIMBRA es otra más que nos ayuda a tomar conciencia del grave problema nacional que supone disponer de los DIEZ MILLONES DE TONELADAS que se recogen AL AÑO de los humos de numerosas centrales térmicas que queman carbón en polvo en España (ver Referencia 1 al final).

La Monografía recoge la información actual basada en la investigación que se viene realizando desde los años 20 sobre el uso de las cenizas cuando se incorporan al cemento portland en la fabricación de hormigones. En pocas páginas el autor ha presentado claramente las ventajas de la combinación portland-cenizas facilitando la labor de aquellos que traten de considerar su utilización.

Independientemente de lo presentado por el autor queremos hacer resaltar QUE LAS PUZOLANAS YA SE USABAN HACE DOS MIL AÑOS, y que las cenizas volantes SON UNA PUZOLANA. Hormigones hechos hace 2.500 años por los romanos todavía existen en nuestros días, lo que nos proporciona una dimensión de su durabilidad.

He de indicar que es poco lo que se ha averiguado desde 1956 respecto a este material usado en la preparación de hormigones. Menciono 1956 porque entonces al elegir como tema para mi tesis la utilización de las cenizas volantes tuve que revisar en bibliotecas todas las publicaciones posibles para saber lo que era ya conocido (Referencia 2). Estamos prácticamente a casi el mismo nivel teórico que hace 30 años. Lo que se necesita es ponerse a utilizar lo más masivamente que se pueda parte de esos diez millones de toneladas/año que se recogen ahora. Se están usando importantes cantidades mezcladas con cemento desde hace pocos años, pero también hay otros muchos usos posibles.

Hace 30 años, en Estados Unidos, y en otros varios países, ya se usaban cenizas en cantidades ingentes en la construcción de presas de hormigón. Por ello elegí el trabajar en otros campos de posible utilización: firmes para carreteras, ladrillos, etc.

Investigando descubrí que algunas cenizas son en sí mismas auténticos cementos, lo que di a conocer en 1962 (Ver Referencias 1 y 3 de CIMBRA). Hay que sacarle partido a la utilización de este cemento cuyo coste es nulo, pues se lleva a vertederos. No se que repercusión económica pueda tener tal cemento en la economía de las fábricas del portland, pero todo evoluciona y las industrias se adaptan a los cambios. Personalmente creo que el uso masivo de las cenizas hidráulicas no supondrá una disminución en la venta del portland, pues las cenizas se emplearían en nuevos

a las cuales se les debe realizar la comprobación, con posterioridad expone lo mismo que la NSE pero acompañado de fórmulas que permiten al proyectista determinar las tensiones actuantes por métodos elásticos.

Al redactar el epígrafe correspondiente a nuestra norma decidimos ofrecer una redacción semejante a esta última teniendo presente que los textos con los métodos para la determinación de tensiones por teoría elástica son muy escasas entre nuestros técnicos.

Conclusiones:

- 1.— La norma cubana de cálculo de estructuras de hormigón cuenta ya con requisitos suficientes

para enfrentar las comprobaciones de las secciones en su resistencia a la fatiga.

- 2.— La base fundamental de este cálculo está en la norma soviética para puentes que entró en vigencia en ese país en 1986 simplificada a nuestras condiciones de cálculo y ejecución.
- 3.— Es necesario la elaboración de ejemplos que ayuden a la comprensión de cálculo entre nuestros proyectistas así como la divulgación.
- 4.— La inclusión en la norma del procedimiento de cálculo expuesto debe tomarse como punto de partida en el estudio de este fenómeno a fin de comprobarse si efectivamente los valores obtenidos por extrapolación de las normas soviéticas tienen un grado de aproximación elevado con la práctica.

TABLA COMPARATIVA NUMERO I

Tipo de Norma	-1	-0,2	0	0,2	0,4	0,7	0,8	0,9	1
NSE A-I	92,0	142	157,5	173,2	202,5	205*	225*	225*	225*
NSP A-I	96,0	144	162,0	174,0	200,0*	200*	200*	200*	200*
NSE A-II	117,6	143	154,0	168,0	193,0	280*	280*	280*	280*
NSP A-II	100,0	150	168,0	185,0	218,0	250*	250*	250*	250*
NSE A-III 6-8 mm	117,0	135	149,0	167,0	202,0	302	337	355*	355*
NSP A-III 6-8 mm	102,0	154	173,0	189,0	224,0	288	320*	320*	320*
NSE A-III 10-40 mm	113,0	131	146,0	164,0	201,0	296	332	347	365*
NSP A-III 10-40 mm	106,0	158	178,0	195,0	231,0	297	330*	330*	330*

* Valores de resistencia de cálculo del acero : = 1

TABLA COMPARATIVA NUMERO II

Tipo de Norma		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Norma de Edificaciones		0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1	1
Norma de Puentes	B 27,5	0,80	0,84	0,88	0,92	0,96	1	1
	30,0	0,786	0,82	0,86	0,90	0,94	0,97	1
	35,0	0,768	0,81	0,84	0,88	0,92	0,95	0,95
	40,0	0,756	0,79	0,83	0,87	0,91	0,94	0,94

J.B.L.

usos o materiales.

En lo que se refiere a ADITIVOS, siempre los he considerado con recelo, aunque empecé a utilizarlos en 1954. En la investigación sobre nuevos usos para las cenizas volantes seleccioné 49 aditivos químicos bien conocidos; productos perfectamente identificados y que cualquiera puede adquirir. En CIMBRA me han publicado en una ocasión los resultados de una pequeña parte de esta investigación (Referencia 4).

Una ADVERTENCIA que debo de hacer a aquellos ingenieros que planeen emplear cenizas en algún trabajo de construcción es que SON UN MATERIAL MUY VARIABLE de central a central, y también dentro de la misma central térmica dependiendo de los carbones que quemen. Ya se me ha informado de algunos fracasos en firmes hechos con cenizas, los que **se deberían de dar a conocer** y también habría que investigar sus causas. Unos fracasos sin analizar pueden hacer perder la confianza en este material. Es posible que no sean debidos a las cenizas sino a la inexperiencia de aquéllos que las utilizaron.

Nuestra preocupación por la utilización en España de las cenizas está en parte plasmada en CIMBRA, aparte de las referencias citadas, en las 5 a 7 listadas a continuación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

1 — "Contribución a la utilización de las cenizas volan-

tes", CIMBRA, Junio 1987.

- 2 — "Los conocimientos sobre las cenizas volantes hace 30 años", CIMBRA, Octubre 1986.
- 3 — "Estabilización de dos tipos de caliza con cenizas volantes solamente", CIMBRA, Diciembre 1977.
- 4 — "Efecto de aditivos químicos en la resistencia de mezclas de arena, cal y cenizas volantes curadas a baja temperatura", CIMBRA, Noviembre 1969.
- 5 — "Tres aspectos poco considerados en la seguridad de las presas", CIMBRA, Mayo 1985.
- 6 — "Efectos de la adición de arcilla montmorillonítica o caolínica en las resistencias de mezclas de arena de Ottawa, cal y cenizas volantes", CIMBRA, Septiembre 1968.
- 7 — "Pavimentos para caminos vecinales", CIMBRA, Mayo 1964.

M.M.

desempeñan a todos nuestros
clientes y amigos del
colectivo de legados

Los conocimientos sobre las cenizas volantes hace 30 años

Por: Manuel MATEOS
I.C.C.P. - A.O.P. - M.Sc.

Empecé en el año 1.956 a trabajar en la utilización de las cenizas volantes en construcción. Mi trabajo fue la continuación de un programa de estudios de los diferentes materiales locales para ser usados en firmes. Este programa de investigación era llevado por la Dirección General de Carreteras del Estado de Iowa y por el Bureau of Public Roads.

En España nos estamos dando cuenta del inmenso problema que supone el disponer de vertederos para unos 10 millones de toneladas de cenizas AL AÑO. Es decir unas 27.000 TONELADAS CADA DIA.

Actualmente se está evaluando su utilización por varios organismos oficiales (Dirección General de Carreteras, Instituto Torroja, Asinel, Escuela de Agrónomos de Madrid...) y por alguna empresa particular (CABISA...).

Como según he averiguado, en bibliotecas se suele consultar rara vez lo ya hecho, aún para tesis doctorales, se me ha ocurrido que puede ser de interés el presentar a continuación lo que se había hecho hace 30 años. Esto puede ahorrar horas de biblioteca y sobre todo hacernos comparar en qué lugar estamos con respecto a lo que se hacía fuera hace tiempo y ver si hemos avanzado algo en los últimos 30 años.

Por ello transcribo a continuación el análisis previo a comenzar a trabajar en la investigación para mi tesis del Master, para que no repitiera lo ya hecho anteriormente. Está presentado en dos partes: "Desarrollo de la estabilización de suelos con cal y cenizas" y un listado de la "Bibliografía consultada". Aunque data de 1.956 creemos que todavía puede ser de utilidad.

DESARROLLO DE LA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL Y CENIZAS

Los griegos y romanos reconocieron las propiedades aglutinantes de las puzolanas cuando se las mezclaba con cal y agua. Los romanos usaron cenizas volcánicas como material puzolánico y los griegos la tierra de Santorin. Estructuras romanas que datan de hace más de 2000 años muestran la evidencia de la durabilidad de los cementos puzolánicos.

Filológicamente el nombre **puzolana** se deriva de la ciudad de Pozzuoli, junto al Vesubio, en la bahía de Nápoles, donde los romanos extraían las cenizas volcánicas, y el nombre de "cemento romano" se da al compuesto de cal y cenizas puzolánicas.

Con la expansión de la industria eléctrica en los Estados Unidos al principio de la década de 1.930, las centrales que usaban carbón pulverizado, y tenían que recoger las cenizas volantes en las chimeneas para no causar polución en la atmósfera, encontraron que el deshacerse de ellas era un problema caro y a veces difícil. Cantidades enormes de cenizas tenían que ser transportadas a vertederos, donde eran enterradas o protegidas para que no las llevara el viento (ver Referencias bibliográficas 38 y 44 al final). Se hizo mucha investigación en posibles usos de las cenizas, pero se producían muchas más que las que podían ser beneficiadas. Los usos principales eran como relleno fino (filler) en inyecciones (como en el hormigón Prepackt) para hacer bloques de hormigón, como puzolana en hormigón de cemento portland, en terraplenes, y se estaba empezando a investigar sus posibilida-

des junto con la cal en la estabilización de suelos (Ref. 5, 29 y 32).

En 1934 se concedió una patente sobre el uso de las cenizas volantes con tierra alcalina como material estructural (Ref. 40). Las propiedades aglutinantes de las cenizas mezcladas con cal se estudiaron en la década de 1940, lo que dio lugar a una patente del producto llamado Poz-O-Pac, hecho con mezclas de suelo, cal y cenizas para usarse en bases y subbases de firmes (Ref. 8). En 1951 y en 1954 se concedieron patentes en el uso de la cal con cenizas y áridos y de cal con cenizas para estabilizar tierras, o suelos (Ref. 21 y 22).

Las primeras pruebas reales de mezclas de suelo, cal y cenizas se hicieron en algunas variantes, intercambios, y arcenes del New Jersey Turnpike, infomando que dieron resultados satisfactorios (Ref. 34, 35 y 36).

Al añadir cloruro cálcico a mezclas de suelo, cal y cenizas, se vió que aumentaba la resistencia temprana de las probetas (Ref. 19, 35 y 36). En carreteras de ensayo hechas por la Universidad Iowa se obtuvieron con una arena gruesa que había sido mezclada previamente con un 0,5 por 100 de cloruro cálcico seis semanas antes de estabilizarla con cal y cenizas volantes (Ref. 12). El aumento obtenido en la resistencia temprana de tal firme, así como su mayor resistencia a los ciclos hielo-deshielo, se atribuyó a una aceleración de la reacción puzolánica debida al cloruro cálcico.

En 1954 se empezó en el Departamento de Ingeniería Experimental de la Universidad Iowa State, a analizar el efecto de la cantidad de cal más cenizas y la relación cal-cenizas en la resistencia y durabilidad de mezclas de suelo, cal y cenizas. Este trabajo apuntó que hacia un 25 por 100 de cal más cenizas en proporciones entre una parte de cal y nueve de cenizas y una parte de cal y dos de cenizas podían usarse satisfactoriamente para estabilizar tierras de varias texturas (Ref. 25). También se halló que la cal dolomítica monohidratada producía mayores resistencias que la cal calcítica hidratada (Ref. 30, 11, 19 y 41). Al curar las mezclas de suelo, cal y cenizas a altas temperaturas aumentaba considerablemente la resistencia temprana (Ref. 10 y 19). La mayor resistencia de las mezclas corresponde a una humedad algo por debajo de la óptima del ensayo proctor normal (Ref. 19).

Las cenizas con alto contenido de carbón no reaccionan con cal tan bien como las de bajo contenido de carbón (Ref. 14).

El aumento de la resistencia observado cuando se añadió cloruro cálcico en pequeñas cantidades, hizo suponer que otros productos químicos podrían causar también aumentos en la resistencia. Las buenas puzolanas contienen pequeños porcentajes de los álcalis soda y potasa (Ref. 15). Probetas de suelo-cemento sumergidas en una solución de hidróxido sódico mostraron un aumento en la resistencia del 15 por 100 (Ref. 20). Añadiendo hasta un 2 por 100 de hidróxido sódico a cementos de puzolana y cal se aumentó la resistencia tardía (Ref. 2). Los mismos efectos se producían cuando se incluía carbonato sódico.

Añadiendo hasta un 1 por 100 de ciertos productos químicos aumentó considerablemente la resistencia del suelo-cemento (Ref. 26). La resistencia a los 7 días de un suelo arcilloso con cemento en un 250 por 100; resultados similares se obtuvieron a los 28 días.

aumento

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA PARA LA TESIS DEL MASTER

1. Alexander, K. M. Activation of pozzolans by treatment with acid. Australian Journal of Applied Science 6:327-333. Sept 1955.
2. Alexander, K. M. Activation of pozzolanic material by alkali. Australian J. of Applied Science 6: 224-229. Jun 1955.
3. American Society for Testing Materials, 1956 suplement to book of ASTM Standards, Part 3. The Society. Philadelphia. Pa 1956.
4. American Soc. for Testing Mat. Procedures for testing soils. The Society. Philadelphia, Pa. Jul 1950.
5. Bituminous Coal Research, Inc. Fly ash for use as a construction material. The Comapny. Pittsburg, Pa. 1956.
6. Blanks, F. R. and Kennedy, H. L. The technology of cement and concrete, Vol 1. John Wiley & Sons, Inc. New York, N.Y. 1955.
7. Bradfield, R. and Cowan, R. W. The effects of hydrogen-ion concentration upon absorption of calcium by a colloidal clay. Soil Science, 24:365-372. 1927.



8. Bright, J. L. Fly ash hits the road (etc.). *Power Engineering*, 58, N° 10:80-81. Oct 1954.
9. Chilcote, W. L. Highway department tests fly ash in pavements. *Engineering News-Record*, 149, N° 17:40-41. 23 Oct 1952.
10. Chu, T. Y., Davidson, D. T., Goecker, W. L. and Moh, Z. C. Soil stabilization with lime-fly ash mixtures: Preliminary studies with silty and clayey soils. *Highway Research Board Bulletin*, 108:102-112. 1955.
11. Crosby, R. L. Lime-fly ash ratio and admixture content versus strength of stabilized clayey soil. Tesis M. of Sc. Iowa State University, Biblioteca. Ames, Iowa. 1957.
12. Davidson, D. T., Katti, R. K. and Handy, R. L. Field trials of soil-lime-fly ash paving at the Detroit Edison Company St. Clair Power Plant, St. Clair, Michigan, The Company. Detroit, Michigan. Oct. 1957.
13. Davidson, D. T., Katti, R. K. and Welch, D. E. Use of fly ash with portland cement for stabilization of soils. *Highway Research Board*: se publicó en el Boletín 198 en 1958.
14. Davidson, D. T., Sheeler, J. B. and Delbridge, N. G. Reactivity of four types of fly ash with lime. *Highway Research Board*: se publicó en el Boletín 193.
15. Davis, R. E. A review of pozzolanic materials and their use in concretes. *American Society for Testing Materials Special Technical Publication*, 99:1-15. 1950.
16. Davis, R. E. What you should know about pozzolans. *Engineering News-Record*, 146, N° 14: 37-40. 5 Ab 1951.
17. Davis, R. E., Carlson, R. W., Kelly, J. W. and Davis, H. E. Properties of cements and concretes containing fly ash. *American Concrete Institute Proceedings*, 33:577-612. 1937.
18. Davis, R. E., Davis, H. E. and Kelly, J. W. Weathering resistance of concretes containing fly ash cements. *American Concrete Institute Proceedings*, 37:281-293. 1941.
19. Goecker, W. L., Moh, Z. C., Davidson, D. T. and Chu, T. Y. Stabilization of fine and coarse grained soils with lime-fly ash admixtures. *Highway Research Board Bulletin*, 129:63-82. 1956.
20. Handy, R. L. Stabilization of Iowa loess with portland cement. Tesis para el Doctorado. Iowa State University, Biblioteca. Ames, Iowa. 1956.
21. Havelin, J. E. and Kahn, F. Hydrated lime fly ash fine aggregate. Patente U.S. 2.563.690. 21 Ag 1951.
22. Havelin, J. E. and Kahn, F. Lime-fly ash compositions for stabilizing finely divided materials such as soils. Patente U.S. 2.698.252. 28 Dic 1954.
23. Iller, R. K. The colloid chemistry of silica and silicates. Cornell University Press. Ithaca, N. Y. 1955.
24. Kocataskin, F. and Yoder, E. J. Results of tests on soils stabilized with lime-fly ash admixtures. *School of Civil Engineering, Purdue University, Lafayette, Indiana*. Jul 1957.
25. Laguros, J. G., Davidson, D. T., Handy, R. L. and Chu, T. Y. Evaluation of lime for stabilization of loess. *American Society for Testing Materials Proceedings*, 56:1301-1319. 1956.
26. Lambe, T. W. and Moh, Z. C. Improvement of the strength of soil-cement with additives. *Highway Research Board*: se publicó en el Boletín 198. *Research*
27. Lea, F. M. and Bessey, G. E. The conductivity and pH values of calcium hydroxide solutions at 25° C. *Journal of the Chemical Society (London)*. 1937:1612-1615. 1937.
28. Lea, F. M. and Desch, G. H. Chemistry of cement and concrete. St. Martin Press, Inc. New York, N. Y.
29. Littlejohn, C. E. A literature review of the utilization of fly ash. *Clemson A & M College. Engineering Experiment Station Bulletin* N° 6. 1954.
30. Lu, L. W., Davidson, D. T., Handy, R. L. and Laguros, J. G. The calcium-magnesium ratio in

- soil-lime-fly ash stabilization. Highway Research Board Proceedings, 36:794-805. 1957.
31. McClenahan, W.T. Experience with fly ash blends in a test pavement built in 1938. Engineering News-Record, 150, N° 11:32-32. 12 Mar 1953.
 32. Meissner, H. S. Pozzolans used in mass concrete. American Society for Testing Materials Special Technical Publication, 99:16-30. 1950.
 33. Minnick, L. J. Soil stabilization with lime-fly ash mixtures: Special discussion. Highway Research Board Bulletin, 129:100-102. 1956.
 34. Minnick, L. J. and Myers, W. F. Properties of lime-fly ash-soil compositions employed in road construction. Highway Research Board Bulletin, 69:1-28. 1953.
 35. Minnick, L. J. and Miller, R. H. Lime-fly ash compositions for use in highway construction. Highway Research Board Proceedings, 30:489-502. 1950.
 36. Minnick, L. J. and Miller, R. H. Lime-fly ash-soil compositions in highways. Highway Research Board Proceedings, 31:511-528. 1952.
 37. Moh, Z. C. Evaluation of lime-fly ash stabilization of soils by compressive strength tests. Tesis. Iowa University, Biblioteca. Ames, Iowa. 1955.
 38. Moller, R. A. Contaminants in the air, Special Report. Industry and Power. St. Joseph, Michigan. 1952.
 39. Palmieri, M. Fly ash -a pozzolanic material of great usefulness. Concrete, 59:20-22. Jun 1951.
 40. Pepper, H.C. and Jones, P. W. Fly ash structural material. Patente U.S. 1.942.769 y 1.942.770, 9 En 1934.
 41. Segal, R. Effect of calcium-magnesium ratio on lime reactivity with fly ash. Tesis. Iowa State University, Biblioteca. Ames, Iowa, 1957.
 42. Sell, C. E. Lime-fly ash ratio and admixture content versus strength of stabilized sandy and silty soils. Tesis. Iowa State University Biblioteca. Ames, Iowa. 1957.
 43. Viskochil, R. K., Handy, R. L. and Davidson, D. T. Effect of density on strength of lime-fly ash stabilized soil. Highway Research Board:ver Boletín 198.
 44. Weinheimer, C. M. Present and future status of the fly ash disposal problem. Utilization, 8, N° 6:31-34. Jun 1954.

COMENTARIOS

En los Apartados anteriores hemos presentado la traducción de la parte sobre revisión bibliográfica que me exigieron antes de empezar a definir el trabajo de tesis para el título de Master of Science. Este trabajo se centró en la adición de pequeñas cantidades de productos químicos a mezclas de arena, cal y cenizas. Esta investigación nuestra está reflejada en más de 25 publicaciones, listadas en esta REVISTA en el siguiente artículo:

"Tres aspectos poco considerados en la seguridad de las presas", por M. Mateos, CIMBRA, Mayo 1985.

También se publicaron en CIMBRA dos trabajos originales de investigación:

"Efecto de aditivos químicos en la resistencia de mezclas de arena, cal y cenizas volantes curadas a baja temperatura", por M. Mateos, CIMBRA, Noviembre 1969.

"Efecto de la adición de arcilla montmorillonítica o caolinítica en la resistencia de mezclas de arena de Ottawa, cal y cenizas volantes", por M. Mateos, CIMBRA, Septiembre 1968.

Esperamos haber podido contribuir a la toma de conciencia del problema por parte de las empresas eléctricas y de aquellos compañeros que puedan utilizarlas, y promover así el empleo de este material barato pero valioso en la construcción.

M.M.

Identificación de suelos para la construcción de carreteras

Manuel Mateos
ICCP, AOP.

Los avances realizados en los últimos años en ingeniería y mecánica del suelo, han ampliado grandemente el uso del suelo como material de construcción.

La importancia que se le da en la investigación a este material, abundante y barato, y las continuas innovaciones de la maquinaria diseñada para manejarlo, permiten predecir que su uso continuará creciendo a través de los próximos años. Para estimar el comportamiento de un suelo en obra, sus posibles mejoras, limitaciones, comparación con otros suelos, preparación de un programa detallado de ensayos, etc., es necesario realizar una identificación inicial lo más completa posible sin necesidad de ensayos de laboratorio demasiado costosos.

El estudio y reconocimiento simple de un suelo se puede dividir en tres partes:

- a) Identificación en el campo.
- b) Ensayos de laboratorio y clasificación.
- c) Información sobre factores exteriores que afectan a su uso.

La *identificación en el campo* debe realizarse teniendo en cuenta los factores geológicos, petrológicos y ecológicos que han afectado al suelo durante su formación, y debe incluir:

1. Numeración de la muestra.
2. Ubicación del lugar del muestreo.
3. Profundidad a la que se toma la muestra y espesor de la capa de suelo análogo al de la muestra.
4. Identificación geológica, detallando el material e indicando el período geológico a que pertenece, si es conocido.

5. Capa freática. Profundidad y alteraciones.

6. Identificación edafológica, incluyendo:

- a) Espesor y observaciones de los distintos horizontes.
 - b) Estructura de la muestra, en bloques, terrones, amorfa, en columnas, en panal, en placas, granular, etcétera.
 - c) Alteraciones:
 - i— estado de oxidación.
 - ii— suelo calcáreo o lavado.
 - iii— sales presentes.
 - iv— materia orgánica, raíces, etc.
 - d) Textura al tacto; arcillosa, limosa, arenosa o gradaciones.
 - e) Humedad natural.
 - f) Color con la humedad natural.
 - g) Topografía superficial.
 - i— pendiente.
 - ii— tipo de drenaje natural, grado de ondulación del terreno.
 - iii— estado de la erosión.
 - h) Uso, en cultivo o erial, tipo de vegetación existente si el terreno no está cultivado.
 - i) Clasificación edafológica, serie, grupo, tipo, etc.
- Entre los numerosos *ensayos de laboratorio* se deben elegir los imprescindibles para una valoración inicial y clasificación del suelo. Estos análisis deben incluir:
1. Granulometría, hasta el tamaño de 0,001 mm. (= 1 micra.
 2. Límites de Atterberg.

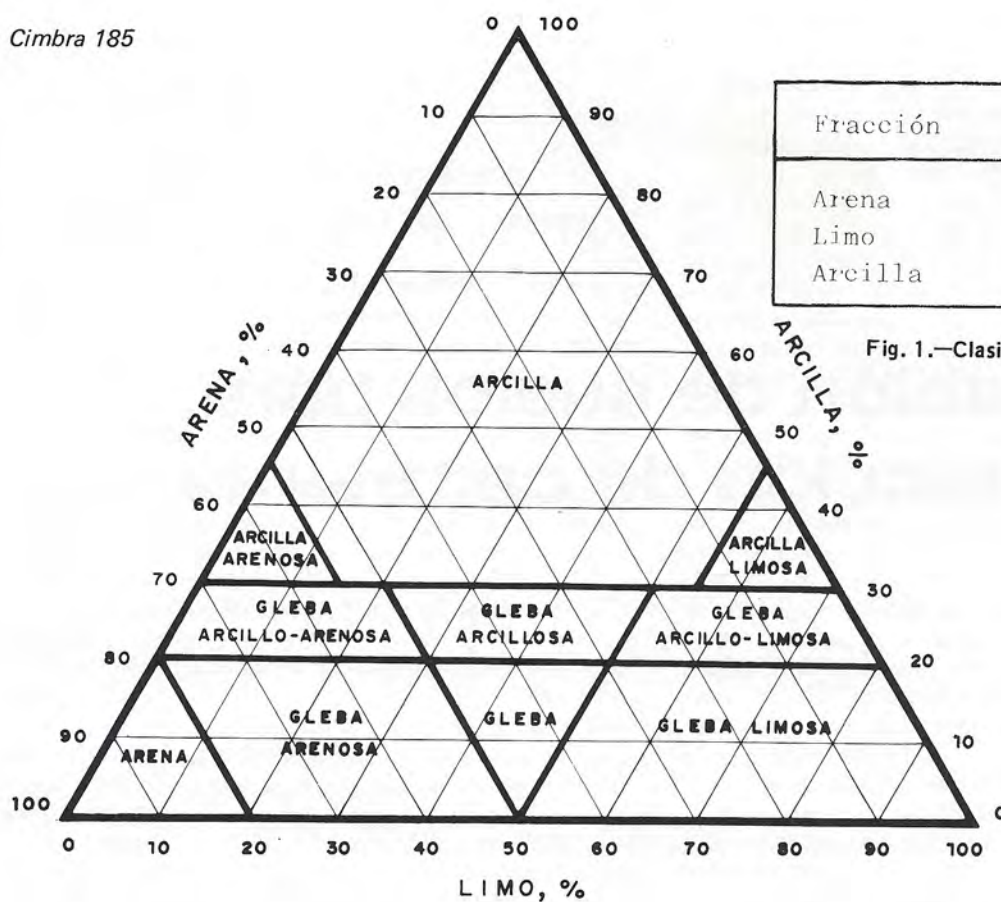


Fig. 1.—Clasificación textural del BPR.

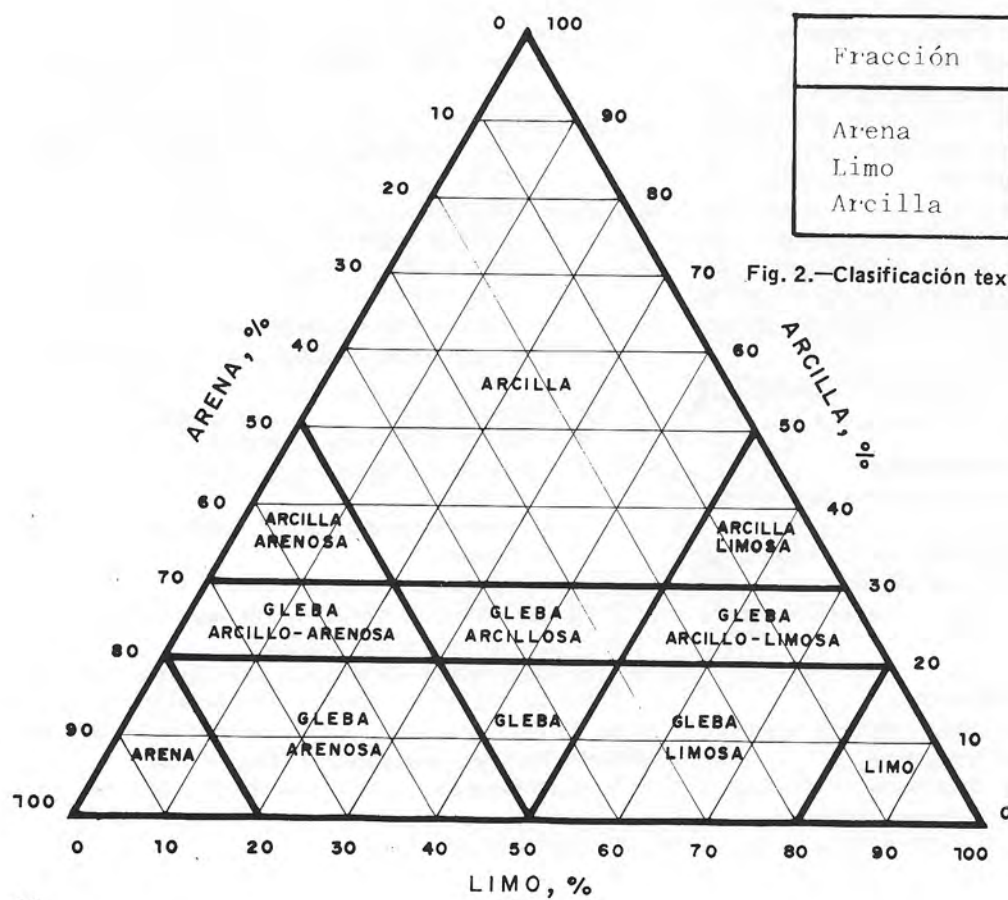


Fig. 2.—Clasificación textural de la FAA (antigua CAA).

Límite líquido.
Límite plástico.
Índice de plasticidad.

3. Concentración de iones de hidrógeno (pH).
4. Materia orgánica.
5. Identificación de los minerales más abundantes, especialmente de las arcillas.

Con esta información, se podrá clasificar el suelo y se conocerán parte de sus limitaciones y de los posibles medios para eliminar estas limitaciones o mejorar el suelo en general para su mejor utilización en la construcción de carreteras.

La *clasificación* de un suelo es necesaria para poder compararlo con otros suelos del mismo grupo y poder aprovechar las experiencias sobre su comportamiento ya conocidas. Existen varios sistemas de clasificación en uso, cada uno con sus ventajas e inconvenientes, pudiendo dividirse en dos grupos:

- Según las características físicas del suelo.
- Por su textura al tacto.

Las clasificaciones usadas en ingeniería son bien conocidas:

La de la American Association of State Highway Officials (AASHTO), también llamada del Bureau of Public Roads (BPR) o la del Highway Research Board (HRB), que constan de los grupos A-1, A-2, ... A-7. (Fig. 1).

La unificada, también conocida como de Casagrande modificada, que consta de varios grupos identificados por letras representativas del material predominante o condición del suelo: SW, arena (sand) con buena granulometría (well) bien graduada. MH, limo (en sueco mo) con alto (high) límite líquido, etc.

La de la Federal Aviation Agency (FAA) antigua Civil Aeronautics Administration (CAA), que consta de los grupos E-1, E-2, ... E-12. (Fig. 2).

Otra clasificación bastante descriptiva, es la triangular del Corps of Engineers, aunque ésta se puede considerar como un caso intermedio entre las clasificaciones de ingeniería y texturales. Debido a que no es muy conocida, se describe en la figura 3.

Una clasificación bastante usada consiste en indicar llanamente los distintos porcentajes de cada material, con las divisiones indicadas a continuación:

Grava (mayor de 2 mm)
Arena (entre 2 y 0,074 mm)
Limo (entre 0,074 y 0,005 mm)

Arcilla (menor de 0,005 mm)
Arcilla (menor de 0,002 mm)
Coloides (menor de 0,001 mm)

Existen varias clasificaciones usadas para identificar por textura suelos con exclusión de la grava. Una de ellas es la indicada en la figura 2, usada en ingeniería de carreteras por el Bureau of Public Roads, y otra la de la figura 3, de la Federal Aviation Agency, utilizada en la construcción de aeropuertos.

Se incluye también la clasificación del U.S. Department of Agriculture, figura 4.

A ser posible, se debe realizar la clasificación del suelo de acuerdo con varios de los métodos arriba expuestos.

Por último, existen ciertos factores que generalmente se dan por conocidos pero que son de gran importancia cuando el técnico que valora el empleo del suelo habita en una región distinta de aquella en que se obtuvo la muestra.

Son estos los *factores climáticos* que pueden afectar a la construcción, el curado y la durabilidad del suelo, normal o modificado, como material de construcción. Estos factores se deben deducir de observaciones meteorológicas extendidas sobre un período de al menos 10 años, y deben incluir:

1. Época o estación del año en que se construye.
2. Lluvias, intensidad, frecuencia y duración; media, máxima y mínima precipitación para los distintos meses. Inundaciones.
3. Vientos. Velocidad del viento durante los meses del período de construcción.
4. Humedad relativa.
5. Heladas, primeras heladas al final del período de construcción y últimas heladas al principio del período de construcción; ciclos anuales de congelación y deshielo a distintas profundidades; índice de heladas.

Puede verse que los factores climáticos no necesitan ser calculados más que una vez para la valoración de los distintos suelos que se han de considerar en la construcción de una obra determinada.

Con la colección de los datos expuestos se obtendrá económicamente una información detallada sobre el suelo que se considere, lo que será, en la mayoría de los casos, suficiente para decidir sobre el empleo del suelo, en estado natural o modificado, en las distintas fases de la construcción.

M.M.

Estabilización de dos tipos de caliza con cenizas volantes solamente

Por Manuel Mateos

RESUMEN

Las cenizas volantes han sido utilizadas junto con la cal para la estabilización de suelos. Se notó que ciertos tipos de cenizas volantes daban resistencias sin añadirles cal.

Una de estas cenizas volantes fue usada para estabilizar dos gravas calizas. Después de un curado húmedo de 28 días, probetas de calizas mezcladas con un 20 por ciento de ceniza volante dieron una resistencia después de sumergidas en agua de $28,5 \text{ kg.cm}^{-2}$. Uno de los métodos de estabilización más baratos puede ser utilizar cenizas volantes solas sin necesidad de añadirles cal.

La estabilización de suelos, una ciencia relativamente nueva, tiene como objeto el mejoramiento de las características de los suelos desde el punto de vista de sus usos en la construcción. El mejoramiento puede ser tanto físico como químico. Algunos de los mejores agentes estabilizadores son el cemento, la cal, y la cal más ceniza volante.

Las cenizas volantes, una puzolana artificial, necesitan ser mezcladas con cal y agua para obtener resistencia por medio de un proceso de cementación. Han sido siempre utilizadas con cal o como elemento adicional en otros métodos de estabilización de suelos. Estudios hechos han mostrado que ciertas cenizas volantes contienen de por sí suficiente hidróxido cálcico y pueden producir resistencias sin el empleo de cal (1). En probetas de ensayo moldeadas y curadas, de siete tipos de cenizas volantes, seis dieron resistencias sin añadirles cal. Una dió tales resultados que justificó el hacer estudios posteriores para conocer su comportamiento en la mejora de los suelos. Los estudios realizados para evaluar el comportamiento de las cenizas volantes con dos tipos de calizas se presentan a continuación.

MATERIALES

Las cenizas volantes: los análisis químicos y físicos son dados en el cuadro 1.

TABLA 1. ANALISIS QUIMICOS Y FISICOS DE LAS CENIZAS VOLANTES

Componente o propiedad	Cantidad
SiO ₂ , %	40,1
Fe ₂ O ₃ , %	36,6
Al ₂ O ₃ , %	13,1
CaO, %	5,8
MgO, %	0,3
SO ₃ , %	2,4
C, %	0,1
Pasa tamiz No. 100, %	98
Pasa tamiz No. 200, %	92
Pasa tamiz No. 325, %	32
Gravedad específica, g. cm ⁻³	2,82
Superficie específica (Blaine) cm ² . g ⁻¹	1460

TABLA 2. GRANULOMETRIAS DE LAS GRAVAS CALIZAS

Tamiz Tamaño	que pasa, % por peso	
	Caliza A	Caliza B
3/4 de pulgada	100	100
3/8 de pulgada	71	59
No. 4	32	30
No. 10	15	17
No. 20	9	10
No. 40	6	8
No. 100	4	7
No. 200	3	6

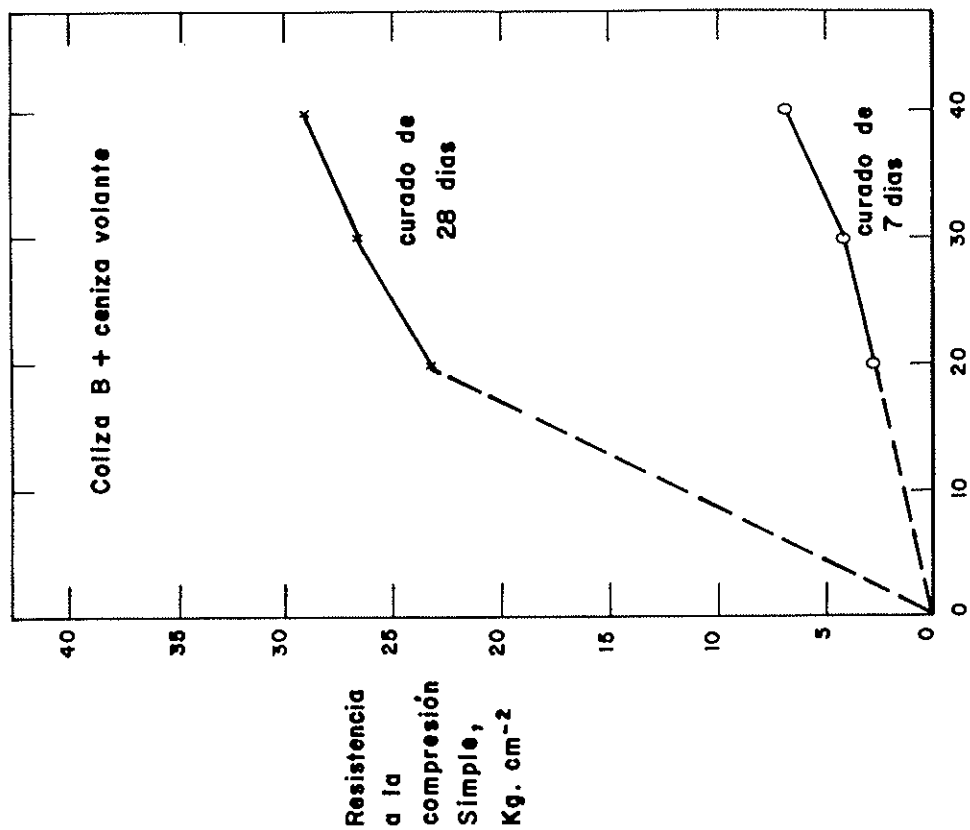


Fig. 1.—Cenizas volantes %
Efecto de la adición de cenizas volantes en la resistencia de la grava caliza A.

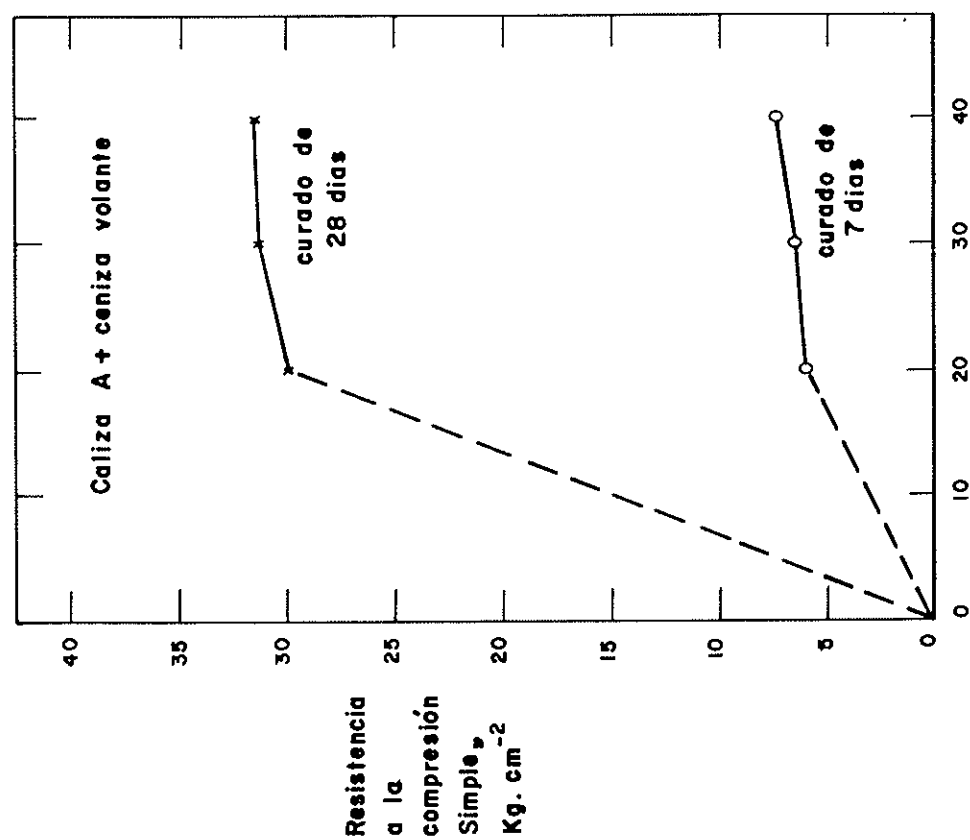


Fig. 2.—Cenizas volantes %
Efecto de la adición de cenizas volantes en la resistencia de la grava caliza B.

Los suelos: se eligieron dos tipos de calizas. La caliza A es considerada como de buena calidad y es utilizada en el hormigón. La caliza B es muy blanda y de calidad demasiado pobre para ser utilizada en el hormigón. Las granulometrías de las calizas se dan en el cuadro 2.

PROCEDIMIENTOS

La piedra grava seca fue primeramente mezclada con la ceniza volante en un mezclador de laboratorio durante medio minuto, siendo añadida la cantidad necesaria de agua, prosiguiendo el mezclado durante 4 mn. más. Las probetas de ensayo cuyas dimensiones eran de 10 cm. de diámetro por 11,5 cm. de alto fueron moldeadas por compactación dinámica, siguiendo las instrucciones de la especificación D-558.57 de la ASTM (2).

Las probetas para determinar las resistencias fueron moldeadas con la humedad óptima para una compresión simple máxima después de un curado de 7 días. Después fueron envueltas en papel parafinado, selladas con cinta de celo y almacenadas para el curado en una cámara húmeda de temperatura $21 \pm 1^\circ\text{C}$ y cuya humedad relativa sobrepasaba el 90 por ciento. Las probetas fueron curadas durante 7 y 28 días después de los cuales fueron retiradas de la cámara y sumergidas durante un día en agua. Luego fueron analizados en compresión simple para determinar su resistencia. En la prueba de compresión, la cara áspera de la probeta fue recubierta con un disco de Celotex de 10 cm. de diámetro para absorber las irregularidades de su superficie.

RESULTADOS

Las resistencias obtenidas después de curados húmedos de 7 y 28 días muestran que existe una cementación real con el empleo de la ceniza volante sola. Se obtuvieron resistencias de 3,5 a 7 kg. cm^{-2} después de 7 días y de 23,5 a 31,5 kg. cm^{-2} después de 28 días (ver figuras 1 y 2).

Se puede construir una buena base de pavimento mezclando las gravas calizas con estas cenizas volantes.

Aunque la grava no tiene resistencia a la compresión simple, al ser usada como capa de base o sub-base, si que posee resistencia debido a la fuerte fricción interna de las partículas confinadas. La acción aglutinante de la ceniza volante se añade a la resistencia propia de la grava y debe permitir emplear capas de base más delgadas para las mismas cargas aplicadas.

El resultado del mejoramiento puede ser similar al obtenido cuando se emplea cemento en la capa de base.

El hecho de descubrir que algunas cenizas volantes pueden ser utilizadas sólo para la estabilización de suelos es de suma importancia ya que las cenizas volantes que reaccionan sólo son uno de los agentes estabilizadores más baratos, pues pueden ser compradas en las centrales térmicas por el precio de 100 pts. la tonelada mientras que el cemento cuesta alrededor de 2.000 pts. la tonelada.

Se obtuvieron resistencias superiores con la caliza A pero la caliza B más blanda dió resistencias consideradas como adecuadas para una capa de base.

Pudiera ser que los resultados obtenidos con la ceniza volante empleada no se hubieran reproducido con otros tipos de ceniza volante. Es difícil de determinar la calidad puzolánica de una ceniza volante. De todas formas es factible emplear un procedimiento de curado acelerado para seleccionar la ceniza volante que pueda ser utilizada sin cal.

En primer lugar, las probetas son moldeadas con la cenizavolante sola y tratadas al vapor ($120^\circ\text{C}-1 \text{ atm}$) durante 24 h. siguiendo las directrices dadas en las referencias 1 y 3; después estas muestras son sumergidas en agua durante 24 h. antes de hallar su resistencia. Las cenizas volantes que ofrecían una resistencia a la compresión simple superior a 35 kg. cm^{-2} pueden ser consideradas como adecuadas para estabilizar suelos sin añadir cal.

CONCLUSIONES

Se pueden sacar las siguientes conclusiones a partir de los resultados obtenidos.

Algunas cenizas volantes pueden ser empleadas sólo para la estabilización de suelos.

Las cenizas volantes seleccionadas para estos experimentos produjeron la cementación de dos gravas calizas y dieron resistencias de 3,5 a 7 kg. cm^{-2} después de un curado de 7 días y de 28 kg. cm^{-2} después de 28 días.

La añadidura de un 20 por ciento de la ceniza volante utilizada puede permitir una reducción del espesor de una capa de base construida con grava caliza.

REFERENCIAS

1. M. Mateos and D. T. Davidson; "Cementation Properties of Some Iowa Fly Ashes Without Lime Additive"; Proceedings, Iowa Academy of Science, Vol. 69, pag. 362-369; 1962.
2. American Society for Testing and Materials; Book of Standards, Part 4; 1961.
3. M. Mateos and D. T. Davidson; "Steam Curing and X-Ray Studies of Fly Ash"; Proceedings, American Society for Testing and Materials; Vol. 62, pag. 1008-1013; 1962.



CLASIFICACION DE SUELOS

DIFERENCIACION ENTRE LA CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS, BASADA EN ENSAYOS DE LABORATORIO Y EN IDENTIFICACION DE CAMPO

Manuel MATEOS DE VICENTE
Ay. de O. P., Ing. de C. C. y P.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, basado en el primitivo de Casagrande, es extensamente usado en la ingeniería civil. La aceptación de este sistema se deriva de su fácil asociación entre los símbolos y el material que representan, así como en la posibilidad de identificar los grupos mediante ensayos de laboratorio o en el campo por observación de algunas de sus características.

La clasificación hecha a partir de ensayos de laboratorio es muy fácil, no requiere prácticamente ningún conocimiento de suelos, y lleva consigo un mínimo de error humano. Los ensayos de laboratorio que se necesitan son solamente granulometría y plasticidad, que están normalizados.

La clasificación de campo requiere, sin embargo, un gran conocimiento de los suelos y la realización de ensayos tales como inspección visual y táctil de las partículas, dilatancia, resistencia después de secado el suelo y tenacidad. Ninguno de estos ensayos están normalizados, ni podrán estarlo; por lo que la clasificación basada en ellos tiene que depender en gran parte en la interpretación personal. Las diferencias halladas entre identificaciones de campo hechas por dos ingenieros distintos pueden muy bien afectar a la mitad de los suelos clasificados, y también diferir enteramente de la clasificación basada en ensayos de laboratorio. La identificación de campo se puede, pues, considerar como mucho menos exacta que la identificación basada en ensayos de laboratorio.

Se impone, por lo tanto, hacer una diferenciación entre la clasificación hecha basándose en ensayos de laboratorio y la hecha mediante identificación de campo. El mejor método de diferenciación es usar las letras mayúsculas solamente para la clasificación basada en ensayos de laboratorio y letras minúsculas para la clasificación basada en la identificación de campo (Tabla). De esta manera, cualquier ingeniero puede conocer en seguida el grado de precisión de una clasificación de suelos por el Sistema Unificado.

DIFERENCIACION ENTRE LA CLASIFICACION DE LABORATORIO Y LA DE CAMPO

Basándose en ensayos de laboratorio	Basándose en identificación de campo
GW	gw
GP	gp
GM	gm
GC	gc
SW	sw
SP	sp
SM	sm
SC	sc
ML	ml
CL	cl
OL	ol
MH	mh
CH	ch
OH	oh
PT	pt

NUESTRAS ATRIBUCIONES

El 27 de mayo se celebró la que, tal vez, sea última sesión de la Comisión Interministerial para la delimitación de atribuciones de los Ingenieros y Arquitectos Técnicos. Esperemos que la buena disposición de la Administración para hacer justicia a nuestras pretensiones no se vea frustrada por intereses de grupo ni posiciones rígidas, no sólo por lo que tienen de reivindicaciones legítimas, sino por lo que la prosperidad económica de España puede aportar el aprovechamiento integral de cada nivel de la Ingeniería.

CURSILLO DE INGENIERIA DE TRAFICO

La Secretaría del II Cursillo de Ingeniería de Tráfico, celebrado en la Escuela de Ingeniería Técnica de O. P., nos remite una nota comunicando que la comisión calificadora de los trabajos de fin de Cursillo, en su última reunión, acordó conceder un plazo hasta el 1 de septiembre para que aquellos compañeros que no hayan presentado el citado trabajo puedan hacerlo para la obtención del diploma correspondiente.

Al objeto de poder remitir a los interesados el diploma es necesario que comuniquen su domicilio todos los asistentes al Cursillo a la Secretaría del mismo.

Igualmente se comunica que, una vez salvados todos los obstáculos surgidos para obtener los originales de las conferencias, se espera en breve plazo poder remitirlos a los interesados.

Efecto de aditivos químicos en la resistencia de mezclas de arena, cal y cenizas volantes curadas a baja temperatura

Por Manuel MATEOS
I. C. C. y P.

La cal con cenizas volantes forma una mezcla aglutinante de la naturaleza puzolánica. Las cenizas volantes son un subproducto de las centrales térmicas que queman carbón en polvo, y son consideradas como una puzolana artificial. Estas cenizas salen con los humos y son recogidas para evitar la contaminación atmosférica; no hay que confundirlas con las cenizas de hogar. Las resistencias obtenidas con mezclas de cal y cenizas dependen en gran parte de la temperatura de curado (Ref. 6). El uso más corriente de las mezclas de cal y cenizas es en la estabilización de suelos para bases y subbases de firmes. El aumento en la resistencia de estas mezclas es muy lento, y cuando se emplean en el otoño en climas fríos, la resistencia conseguida al llegar las bajas temperaturas puede no ser suficiente para que el firme aguante los esfuerzos a que está sometido.

Se supuso, basándose en estudios anteriores (Ref. 3 y 5), que la adición de pequeñas cantidades de algunos productos químicos podrían incrementar el ritmo del desarrollo de la resistencia para bajas temperaturas de curado. Se presentan en esta comunicación los efectos del cloruro sódico, carbonato sódico, metasilicato sódico e hidróxido sódico como aditivos en mezclas de arena, cal y cenizas volantes curadas a baja temperatura.

MATERIALES

Suelo

Se utilizó una arena de duna, con un contenido de arcilla del 3 por 100, por lo que se la considera inerte en cuanto a su posible reacción con la cal. Sus características están dadas en la Tabla I.

Cenizas

Se seleccionaron tres cenizas, de calidades media (N.º 1), baja (N.º 2), y buena (N.º 3), para obtener variedad en la cantidad de este material (Ref. 8).

Cal

Las cales usadas fueron de tipo comercial; una cal-cítica hidratada, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + impurezas, y la otra una monohidrata dolomítica, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + MgO + impurezas.

Aditivos

Se utilizaron los siguientes productos químicos, de tipo reagente: cloruro sódico, NaCl , carbonato sódico, CO_3Na_2 , hidróxido sódico, NaOH , y metasilicato sódico, $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + 9\text{H}_2\text{O}$.

Tabla I. Propiedades de la arena

Composición textural, %	
Grava (>2 mm.)	0,0
Arena (2 a 0,074 mm.)	95,5
Limo (0,074 a 0,005 mm.)	1,5
Arcilla ($<0,005$ mm.)	3,0
Plasticidad, nula	
Clasificación	
Textural ^a	Arena
AASHO	A-3(0)
Químicas	
Cap. interc. cat. ^b , me/100 g	1,0
pH ^c	6,6
Carbonatos ^d , %	0,4
Materia orgánica ^e , %	0,1
Mineral de arcilla predominante	Montmorillonita

^aTriángulo del U. S. Bureau of Public Roads (Ref. 7, página. 47)

^bMétodo del acetato de amonio, a pH 7, en la fracción que pasa el tamiz 40, de 0,42 mm. de apertura

^cDe la suspensión de 15 g. de suelo en 30 g. de agua destilada.

^dMétodo del versenato para el calcio total

^eMétodo del dicromato de potasio.

Tabla II. Análisis de las cenizas volantes

Cenizas n.º	1	2	3
Pérdida por ignición, %	3,9	7,2	2,6
Superficie específica Blaine, cm^2/g	2880	2663	3226
Peso específico	2,58	2,39	2,60
Finura, que pasa tamiz 325	91,8	49,8	86,1
Dióxido de silicio (SiO_2), %	43,54	36,68	42,5
Oxido de magnesio (MgO), %	0,17	0,98	0,8
Oxido de calcio (CaO), %	2,86	3,45	5,7
Oxido de aluminio (Al_2O_3), %	23,25	21,29	23,4
Oxido de hierro (Fe_2O_3), %	24,80	24,33	20,0
Trióxido de azufre (SO_3), %	0,80	2,02	2,3

Cemento

Se usó cemento corriente del tipo I de las normas ASTM (Ref. 1).

MÉTODOS

Proporciones de la mezcla

Las proporciones en que se usaron los materiales, basándose en su peso seco, fueron: arena 76,5 %; cal 6 %; y cenizas 17,5 %. En las mezclas de arena y cemento, las proporciones fueron también sobre el peso seco de los materiales. La cantidad de aditivo químico usada fue de uno por ciento sobre el peso total seco de la arena más cal, más cenizas.

El agua de composición del metasilicato de sodio no fue considerada como aditivo, sino como agua. Se usó agua destilada para tener una humedad en la mezcla que diera una máxima resistencia para un esfuerzo de compactación cercano al proctor normal.

Mezclado y moldeo

Se mezclaron los materiales en una mezcladora de cocina marca Hobart, modelo C-100, a la velocidad menor. Se efectuó una mezcla en seco durante 30 segundos, se añadió agua, se mezcló un minuto en la máquina, se batió el material a mano durante 30 segundos, y después se mezcló a máquina durante un minuto.

Inmediatamente después de efectuado el mezclado, se moldearon probetas de 5,08 cm. de altura por 5,08 centímetros de diámetro en el aparato descrito en la Ref. 4.

Curado

Después de hechas las probetas, se envolvieron en papel de cloruro de polivinilidino, y se sellaron con cinta de celofán. Esto se hizo para mantener la humedad durante el curado, que se hizo en un refrigerador a $6 \pm 0,5^\circ \text{C}$.

Resistencia

Después de cada período de curado, las probetas fueron retiradas del refrigerador, desenvueltas, y, mantenidas en agua durante 24 horas. Se ensayaron entonces a compresión simple, manteniendo una velocidad de carga de 0,25 cm./minuto. Los ensayos se hicieron por triplicado, tomando la media de los tres.

PRESENTACION Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

En la figura que se acompaña se presentan los resultados gráficamente. Para poder comparar la eficacia de los diversos tratamientos se dan las resistencias de las mezclas de arena-cal-cenizas con o sin aditivos químicos, así como de mezclas de arena-cemento.

Cal calcítica

La mezcla de arena-cal-cenizas, sin aditivos, curada por 7 días, falló durante el período de inmersión. Lo mismo ocurrió con la tratada con cloruro sódico. Sin embargo, con metasilicato sódico las resistencias fueron entre 5 y 10 kg/cm², dependiendo de la clase de cenizas, y con hidróxido sódico las resistencias fueron de unos 5 a 7 kg/cm² con las cenizas 1 y 3, aunque nulas con la ceniza N.º 2.

Después de 28 días de curado, las mezclas de arena-cal-cenizas mostraron diferentes resistencias dependiendo de la clase de cenizas; 3 kg/cm² para la N.º 1, 5 para la N.º 3 y cero para la N.º 2. El tratamiento con los productos químicos, excepto con cloruro sódico, mejora mucho la resistencia, alcanzando 21 kg/cm² con la ceniza N.º 3, unos 14 kg/cm² con la U.º 1, y entre 10 y 13 kg/cm² con la N.º 2.

A los 90 días se observó una gran mejora en todas las mezclas tratadas con aditivos químicos, especialmente con metasilicato sódico, carbonato sódico o hidróxido sódico.

Cal dolomítica

Las mezclas de arena-cal-cenizas no mostraron ninguna resistencia después de 7 días de curado seguido por 1 día de inmersión. La adición de 1 por ciento de metasilicato sódico dio origen a una resistencia de unos 7 kg/cm². Con carbonato sódico o hidróxido sódico se obtuvieron resistencias entre 4 y 7 kg/cm² en las mezclas con las cenizas N.º 1 y 3; con la ceniza número 2, la resistencia fue nula.

Después de 28 días, la mezcla sin aditivos dio resistencias de 8 kg/cm² con la ceniza N.º 1, y 11 kg/cm² con la N.º 3; con la N.º 2, la resistencia fue nula. La adición de cloruro sódico fue perjudicial. Sin embargo, con la adición de metasilicato, carbonato o hidróxido sódico se consiguieron mejoras de 2 ó 3 veces en la resistencia de las mezclas hechas con las cenizas 1 y 3; estos mismos productos dieron una resistencia de 7 kg/cm² en mezclas con las cenizas N.º 2, en las que sin tratamiento, la resistencia fue nula.

A los 90 días se observan mejoras en las mezclas tratadas con metasilicato, carbonato o hidróxido de sodio. Se obtuvieron resistencias con los aditivos de hasta 70 kg/cm² con la ceniza N.º 3.

Cenizas

Se comprueba la gran variación en actividad puzolánica que existe entre cenizas volantes de distintas centrales térmicas. La N.º 3, considerada de buena calidad, dio resistencias mayores que la N.º 1, y varias veces superiores a las obtenidas con la N.º 2. Se observa que la adición de pequeñas cantidades de productos químicos puede mejorar la actividad puzolánica de una ceniza media o mala, hasta obtener resistencias análogas a las de mezclas hechas con la ceniza de buena calidad sin aditivos.

Proporciones de la mezcla

Arena de duna 76,5 %

Cal 6,0 %

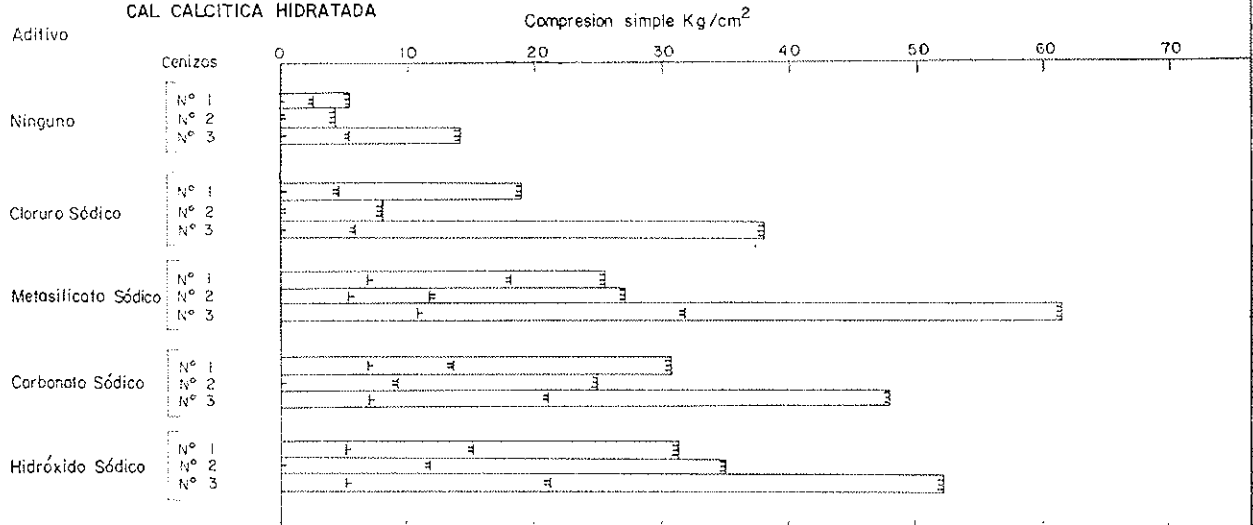
Cenizas 17,5 %

1 7 días de curado

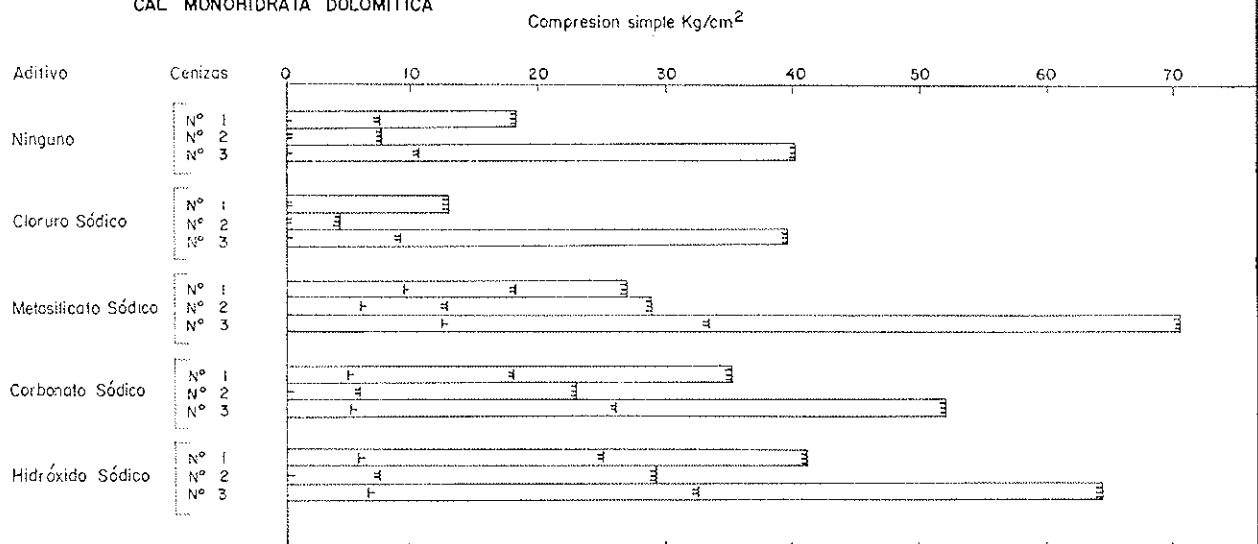
2 28 días de curado

3 90 días de curado

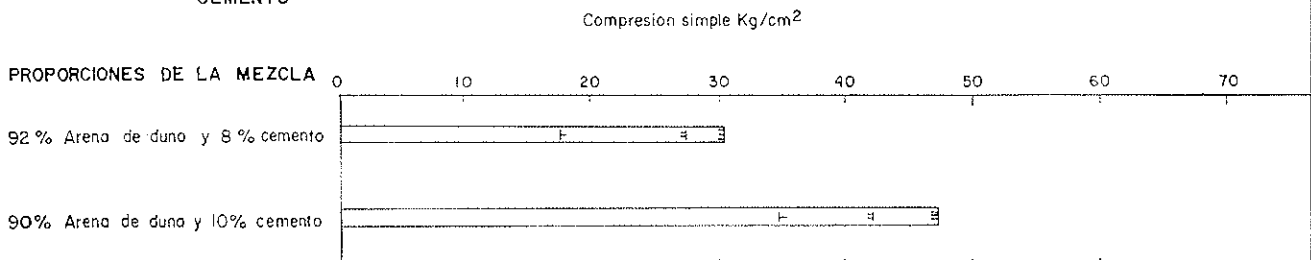
CAL CALCITICA HIDRATADA



CAL MONOHIDRATA DOLOMITICA



CEMENTO



Comparación con arena-cemento

Cemento es el material que se usa más corrientemente en la estabilización de suelos, por lo que se hicieron ensayos comparativos con arena-cemento para hallar la efectividad de las mezclas hechas con cal y cenizas.

La cantidad de cemento necesaria para estabilizar la arena usada es del 8 por 100. Se hicieron mezclas con 8 y 10 por 100 de cemento, y sus resistencias están presentadas en la figura que se acompaña. Se observa que las mezclas de arena-cemento dieron resistencias altas después de pocos días de curado. Por ejemplo, a los 7 días, con 8 por 100 de cemento se obtuvieron 18 kg/cm², y con 10 por 100 35 kg/cm². Estas resistencias son mayores que las obtenidas con cal y cenizas, aún con aditivos. Después de 28 días, la resistencia de la arena-cemento no aumentó mucho con relación a la obtenida a los 7 días, y fueron, en general, similares a las obtenidas a los mismos 28 días en mezclas con cal y cenizas N.º 3 tratadas con aditivos. El aumento en resistencia de la arena-cemento, entre los 28 y los 90 días no fue importante; en cambio en mezclas con cal y cenizas, con o sin aditivos, la resistencia dobló, en general, para el mismo incremento en el período de curado, y en varios casos fue mayor que para las mezclas de arena y cemento.

CONCLUSIONES

La adición de pequeñas cantidades de metasilicato sódico, carbonato sódico o hidróxido sódico, contribuyen a aumentar las resistencias de mezclas compactadas de arena, cal y cenizas volantes curadas a baja temperatura. Estas resistencias pueden llegar, después de inmersión, a los 7 kg./cm.² después de siete días de curado a 6°C. Las mezclas sin aditivo dieron resistencias nulas. Los mismos efectos beneficiosos se observan para períodos de curado de 28 y 90 días.

Cloruro sódico no es un aditivo beneficioso en las mezclas de arena-cal-cenizas volantes.

Una comparación con mezclas de arena-cemento revela que el cemento es el estabilizante más adecuado cuando se desean obtener resistencias elevadas a corto plazo.

La diferencia en actividad puzolánica de las distintas cenizas volantes es muy importante. La ceniza de buena calidad da resistencia triple que las de mala calidad.

La cal monohidrata dolomítica da, en general, mayores resistencias que la cal calcítica hidratada en mezclas de arena-cal-cenizas curadas a baja temperatura.

Los efectos beneficiosos de algunos aditivos químicos en la reacción puzolánica cal-cenizas, son de gran importancia cuando se espera que las temperaturas de curado sean bajas. Cuando se usan aditivos se puede prolongar la temporada de trabajo en estabilización de suelos con cal y cenizas y aumentar así el consumo de estas últimas.

La acción que se supone juegan los aditivos químicos la hemos presentado ya en otras comunicaciones (ref. 3 y 5). Los aditivos, al ser sales, rebajan el punto de congelación del agua libre del suelo, con lo que disminuye la acción del hielo y aumenta el tiempo en que las mezclas pueden estar ganando resistencia, lo que es de suma importancia en los climas duros.

RECONOCIMIENTO

Parte del trabajo presentado en esta comunicación fue hecho por el autor en el Engineering Research Institute, de la Iowa State University.

M. M.

REFERENCIAS

1. *American Society for Testing and Materials. ASTM Standards, Part 9: Cement; lime; gypsum. The society Philadelphia, Pennsylvania. Junio 1967.*
2. *American Society for Testing and Materials. Procedures for Testing Soils. The Society. 1958.*
3. *Davidson, D. T., Mateos, M. y Katty, R. K. Activation of the lime-fly reaction by trace chemicals. Highway Research Board Bulletin, 231: 67-91. 1959.*
4. *Goecker, W. L., Moh, Z. C., Davidson, D. T. y Chu, T. Y. Stabilization of fine and coarse grained soils with lime and fly ash mixtures. Highway Research Board Bulletin, 129: 63-82. 1956.*
5. *Mateos, M. y Davidson, D. T. Further evaluation of promising chemical additives for accelerating the hardening of soil-lime-fly ash mixtures. Highway Research Board Bulletin, 304: 32-50. 1961.*
6. *Mateos, M. Heat curing of sand-lime-fly ash mixtures. Materials Research and Standards. Mayo 1964: 112-117.*
Curado a diferentes temperaturas de mezclas de arena-cal-cenizas volantes. Materiales de Construcción, Ultimos Avances, 125: 53-62. Marzo 1967.
7. *Spangler, M. G. Soil Engineering. International Texbook Company. Scranton, Pennsylvania. 1960.*
8. *Vincent, R. D., Mateos, M. y Davidson, D. T. Variation in pozzolanic behaviour of fly ashes. Proceedings, American Society for Testing and Materials, 61: 1098-118. 1961.*

CARACTERISTICAS MINERALOGICAS DE UNA ARCILLA DE BUJEO

Por Manuel MATEOS

Las arcillas llamadas de bujeo o expansivas, localizadas principalmente en la provincia de Córdoba, presentan graves inconvenientes cuando hay que construir sobre ellas. Aun con taludes muy tendidos, de 20°, por ejemplo, tienen en algunos casos movimientos en deslizamiento continuo u ondulatorio, invadiendo vías de comunicación o destruyendo edificios, vuelcan muros o sencillamente pasan por encima de ellos en flujo de manto, reventan gaviones y levantan en vilo cunetas o canales de hormigón.

Hemos creído de interés el saber la composición mineralógica de las tierras arcillosas de bujeo, para lo cual hemos recogido una muestra a la altura del km. 424 de la carretera entre Córdoba y Málaga, cerca de Fernán-Núñez. La granulometría de este suelo es la siguiente:

Tamaño	Pasa
10 mm	100 %
2 »	97 »
0,5 »	96 »
0,1 »	91 »
0,05 »	88 »
0,01 »	70 »
0,005 »	54 »
0,002 »	44 »

La plasticidad da un límite líquido de 62 y un índice de 40, con lo que resulta ser del grupo CH en la clasificación de Casagrande y un A-7-6 (20) en la del HRB.

Para hallar la composición mineralógica se sometió la muestra a la difracción de Rayos X en un difractómetro General Electric XRD-5, usando radiación cobre K (alfa). La muestra fue reducida a tamaño muy fino haciéndose la determinación básica mezclándola con etileno glicol. Los resultados obtenidos mues-

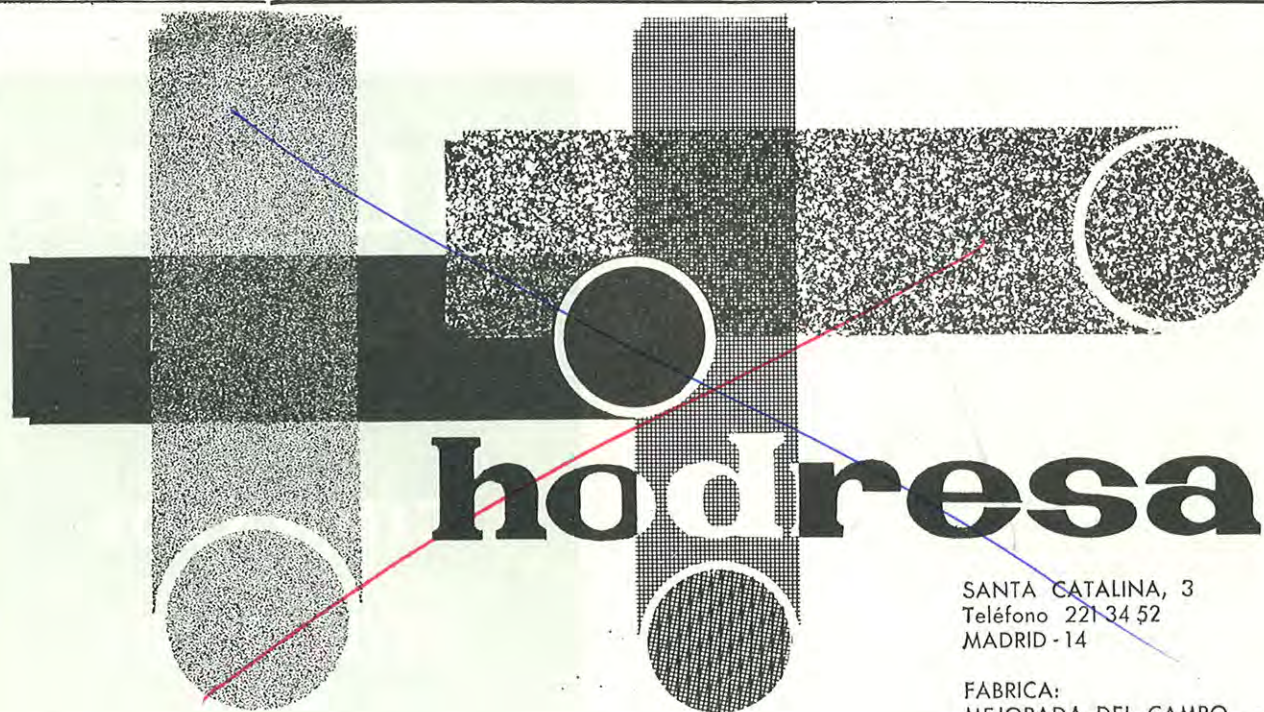
tran la presencia de los siguientes minerales:

Minerales	Intensidad relativa
Calcita	370
Cuarzo	290
Montmorillonita	200
Caolinita	80
Ilita	10
Dolomita	10

Para determinar la intensidad relativa se han tenido en cuenta los picos más fuertes. La intensidad directa cuantitativa, al estar influenciada por la densidad de la muestra, cristalinidad, composición elemental y orientación preferida del mineral que se mide, así como por la absorción de los rayos X difractados del total de la muestra.

Se realizó un análisis cuantitativo de carbonatos, obteniéndose un 38 por 100.

Como se ve, la gran finura de este suelo, con un 45 por 100 de tamaño menor que 2 micras, y una gran proporción de montmorillonita son las causas de su gran inestabilidad, pues puede imbibir gran cantidad de humedad, hasta fluir casi como un líquido, y al perder la humedad en época seca dar lugar a grandes grietas con varios centímetros de apertura.



SANTA CATALINA, 3
Teléfono 221 34 52
MADRID - 14

FABRICA:
MEJORADA DEL CAMPO
Teléfono 45

**el tubo filtrante artificial
de porosidad natural puzolanica**

EFFECTOS DE LA ADICION DE ARCILLA MONTMORILLONITICA O CAOLINITICA EN LA RESISTENCIA DE MEZCLAS DE ARENA NORMALIZADA DE OTTAWA, CAL Y CENIZAS VOLANTES

Por Manuel MATEOS

Dr. Ingeniero Civil

INTRODUCCION

El suelo en su estado natural está compuesto de distintos minerales que afectan de diferente manera los procesos de su estabilización. La conducta físico-química de la fracción de arcilla de los suelos, determina, en muchos casos, los métodos que deben emplearse para estabilizar un suelo.

La cal y las cenizas volantes forman un aglutinante puzolánico, usándose por ejemplo para estabilizar suelos. Las cenizas volantes son un subproducto de las centrales térmicas que queman carbón pulverizado. La composición de los minerales del suelo se sabe que afecta la estabilización de los suelos con cal y cenizas volantes. Se realizó este estudio para hallar los efectos de arcillas caolínica y montmorillonítica en mezclas hechas con cal y cenizas.

MATERIALES

La mezcla básica se compone de arena de Ottawa, cal y cenizas volantes. Se usó arena normalizada de Ottawa como componente suelo inerte; su granulometría fue de acuerdo con las especificaciones para arena graduada de la ASTM Designation C-109-64 (Ref. 1). Esta arena no reacciona con cal y agua a las temperaturas de curado que se usaron; así el efecto del componente suelo en la reacción cal-cenizas es mínimo.

La cal usada fue calcítica hidratada, Ca(OH)_2 reagente. Se escogió una cal calcítica por ser este un tipo usado muy corrientemente. Se eligió una ceniza media, seleccionada basándose en previos estudios (Ref. 2), y su análisis se presenta en la Tabla I.

La arcilla montmorillonítica fue una bentonita sódica, denominada comercialmente Volclay, obtenida en la región Black Hills, del estado de Wyoming, USA. La arcilla caolínica fue un caolín lavado, denominado Lundlay Kaolin, obtenido en Carolina del Norte, USA.

Tabla I.—Propiedades de las cenizas volantes

Dióxido de silicio (SiO_2), %	41,9
Oxido de magnesio (MgO), %	1,0
Oxido de calcio (CaO), %	2,7
Oxido de aluminio (Al_2O_3), %	22,5
Oxido de hierro (Fe_2O_3), %	25,8
Trióxido de azufre (SO_3), %	0,8
Alcalis (Na_2O , etc.), %	0,3
Pérdida por ignición ^a , %	3,6
Humedad, %	0,2

Peso específico	2,61
Fineza, porcentaje que pasa tamiz 325	88,7
Superficie específica Blaine cm^2/g .	2720

^a Aproximadamente igual al contenido en carbono.

METODOS DE ENSAYO

Proporciones de las mezclas

Las mezclas de arena-cal-cenizas se combinaron en las proporciones 75-2,5-22,5 y 75-5-20. La cantidad de cal y cenizas, 25 %, y las proporciones de cal y cenizas, 1:9 y 2:8, están cercanas a las óptimas para estos materiales (Ref. 2, 3 y 4). Las arcillas se usaron en cantidades del 0,5; 1,0; 2,0 y 5,0 %, basado en el peso total en seco de la arena más cal y más cenizas.

Mezclado

Se hizo un tratamiento preliminar de la arena para cubrir sus granos con la arcilla. Para esto se mezcló en húmedo la arena con las distintas proporciones de arcilla, y se secó la mezcla al aire antes de combinarlas con la cal y cenizas.

Se mezclaron los ingredientes añadiendo el agua necesaria para tener la humedad óptima para la compactación aplicada, que fue cercana a la normal Proctor. Después de preparadas las probetas, se envolvieron en papel encerado para prevenir la entrada de anhídrido carbónico e impedir variaciones en la humedad durante el período de curado.

Curado

Las probetas se curaron durante 7, 28 y 120 días en una cámara de humedad, en donde la humedad relativa fue superior al 90 por 100 y la temperatura de $21 \pm 3^\circ \text{C}$.

Resistencia

Después del período de curado, se retiraron las probetas de la cámara y se sumergieron en agua durante veinticuatro horas para eliminar la cohesión aparente, determinándose después la compresión simple. Estos ensayos se hicieron por triplicado, dándose los resultados de la media.

pH

Las determinaciones del pH se hicieron con material tomado de las probetas después de ensayadas a compresión simple. Se empleó el método electrométrico, usando 15 gramos de material en 30 milímetros de agua (Ref. 5).

PRESENTACION Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

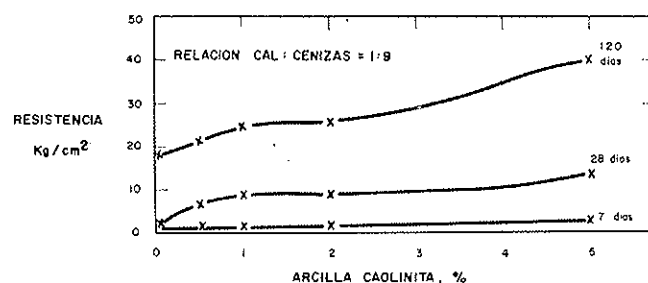
Los resultados están presentados en la Tabla II y en las figuras 1 a 4.

Arcilla caolínica.

Para siete días de curado, los resultados obtenidos con la adición de arcilla caolínica no presentaron una mejora substancial con respecto a la mezcla básica.

Los resultados de veintiocho días muestran una mejora en la resistencia. Esta aumentó directamente con el contenido en arcilla para las dos proporciones de cal: cenizas usadas en las mezclas.

Después de ciento veinte días de curado, la resistencia de las mezclas de arena-cal-cenizas, en donde la relación cal-cenizas fue de 2:8, puede aumentar grandemente mediante la adición al menos 5 por 100 de arcilla, aunque tal vez mayores cantidades puedan ser más beneficiosas. Con 5 por 100 de caolinita en la mezcla, en donde la cal: cenizas están en una proporción de 2:8, la resistencia a los ciento veinte días fue de 104 kg./cm², la que es muy satisfactoria si se compara con los 47 kg./cm² obtenidos para la mezcla sin arcilla. Se observaron también mejoras



en la resistencia de las mezclas en las que la relación es de 1:9; pero las resistencias finales fueron menores que en las mezclas con la relación 2:8.

Arcilla montmorillonítica

Los resultados de siete y veintiocho días muestran que la adición de bentonita hasta un 5 por 100 mejora las resistencias de las mezclas de arena de Ottawa-cal-cenizas volantes.

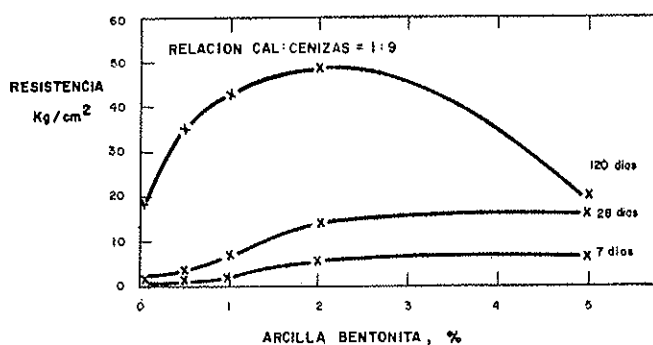
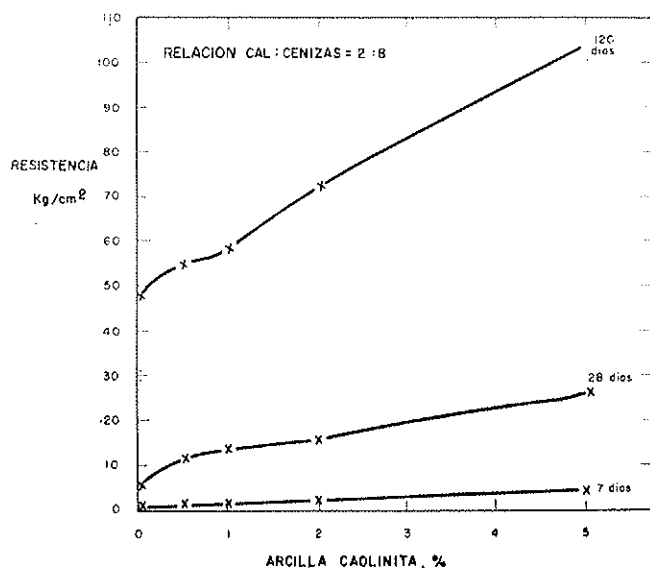
Después de ciento veinte días, los resultados muestran que hay una cantidad de bentonita de, aproximadamente, un 2 por 100, que da una resistencia máxima a las mezclas. Para la cantidad óptima de bentonita hubo una mejora en la resistencia comparándola con la resistencia de

TABLA II. Efectos de la adición de arcillas en mezclas de arena de Ottawa, cal y cenizas volantes.

Arcilla	% arcilla	Relación cal: cenizas*	Densidad seca	Compresión simple, Kg/cm ²			PH		
				7 días	28 días	120 días	7 días	28 días	120 días
Caolinita	0,5	1:9	1,89	1,0	6,7	21,2	N.D.	12,1	11,6
	0,5	2:8	1,90	1,3	12,0	55,5	N.D.	12,4	11,9
	1,0	1:9	1,90	1,0	8,8	25,0	N.D.	12,1	11,8
	1,0	2:8	1,90	1,5	13,1	58,2	N.D.	12,5	12,0
	2,0	1:9	1,91	1,3	9,0	25,6	N.D.	12,3	11,2
	2,0	2:8	1,91	1,9	15,4	72,1	N.D.	12,2	11,9
	5,0	1:9	1,93	2,2	13,7	40,7	N.D.	11,9	11,0
	5,0	2:8	1,94	4,2	26,5	104,0	N.D.	12,0	11,2
	0,5	1:9	1,95	1,0	3,5	35,5	12,0	12,0	11,0
	0,5	2:8	1,96	1,2	8,1	48,9	12,0	12,0	11,6
Bentonita	1,0	1:9	1,94	2,0	6,6	42,9	12,1	12,0	11,4
	1,0	2:8	1,97	2,5	12,6	58,9	12,0	12,0	11,6
	2,0	1:9	2,01	5,3	14,4	48,8	12,0	12,0	11,3
	2,0	2:8	2,01	6,0	15,5	70,9	12,0	12,0	11,8
	5,0	1:9	1,99	6,3	15,6	18,5	12,1	11,6	11,0
	5,0	2:8	2,01	6,7	17,4	38,2	12,2	11,8	11,4

* En la mezcla total: cal más cenizas volantes, 25%; arena de Ottawa 75%.

** No se determinó este dato.



la mezcla base. La mejora fue mayor en las mezclas de la relación 2:8.

Densidad

La densidad seca muestra la influencia de la cantidad y tipo de arcilla, así como de la relación cal-cenizas. Hay una correlación entre el aumento en la densidad seca y el aumento en la resistencia; sin embargo, se cree que la densidad no tiene una gran influencia en la resistencia cuando se compara con la que pueda tener el tipo de arcilla.

Las mayores densidades se obtuvieron con las mezclas tratadas con arcilla bentonita. Esto puede ser debido al mayor efecto de lubricación causado por las partículas de arcilla bentonítica.

Resultados de pH

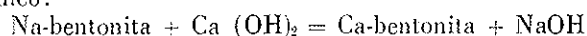
La alcalinidad de las muestras disminuyó en relación con el periodo de curado. Se trató de hallar la correlación entre el pH y la resistencia; pero no parece evidente.

Mecanismo de la reacción

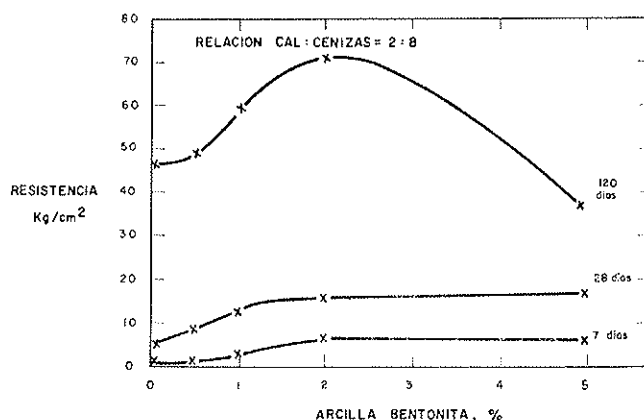
Se supone que la resistencia de las mezclas de arena de Ottawa-cal-cenizas volantes, tratadas con arcilla, depende de la reacción puzolánica entre la cal y las cenizas y entre la cal y la arcilla, de la fluculación de las partículas de arcilla y de las densidades obtenidas.

En los ensayos hechos con caolinita, los diferentes niveles de resistencia alcanzados para ambas relaciones cal: cenizas sugiere que las mayores resistencias obtenidas después de ciento veinte días fueron debidas a una reacción puzolánica entre la cal y la arcilla. Esto es más fácil que ocurra cuando hay un exceso de cal mayor que aquel necesario para combinarse con las cenizas, como puede ocurrir en las mezclas de la relación 2:8. Esto está soportado por el hecho de que las densidades para ambas relaciones son casi iguales, y porque la fluculación no es importante en arcillas caolínitas.

La mejora en siete y veintiocho días obtenida mediante la adición de bentonita puede ser debida a una aceleración de la reacción puzolánica causada por el hidróxido sódico. Cuando se añade cal a una arcilla sódico bentonítica, iones cálcicos de la cal reemplazarán a iones sódicos de las partículas de arcilla; estos cationes de sodio se combinarán con los aniones hidroxílicos libres para formar hidróxido sódico:



Hemos hallado con anterioridad que el hidróxido sódico es un acelerador de la reacción puzolánica entre la cal y las cenizas volantes (ref. 2, 4, 6 y 7). La disminución en la resistencia a los ciento veinte días en las mezclas tratadas con 5 por 100 de bentonita puede ser causada por una des-fluculación de las partículas de arcilla al pasar



parte de la cal, previamente atraída por la arcilla, a tomar parte en la reacción puzolánica. Con la des-floculación de la arcilla bentonítica, la mezcla está sometida a efectos perjudiciales, debido a las propiedades de hinchamiento de la bentonita, reduciendo así la resistencia de las probetas durante su inmersión en agua.

CONCLUSIONES

La arcilla caolinita en cantidades hasta de un 5 por 100, y probablemente mayores, es beneficiosa en las mezclas de cal y cenizas volantes.

Pequeñas cantidades de arcilla sódica bentonítica, del orden del 2 por 100, mejoran las resistencias de mezclas de cal y cenizas volantes. Cantidades mayores de un 3 por 100 pueden no ser beneficiosas y aun pueden ser perjudiciales.

Es de interés continuar estos estudios sobre la influencia de los distintos minerales arcillosos en las mezclas de cal y cenizas volantes.

M. M.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. American Society for Testing and Materials (ASTM). Standards, Part 9. La Sociedad, 1961 Race Street, Philadelphia, Pa. 19103, USA.
2. M. MATEOS: *Physical and mineralogical factors in stabilization of Iowa soils with lime and fly ash*. Tesis para el «Doctor of Philosophy». Iowa State University, Ames, Iowa, 1961.
3. M. MATEOS: *Recherches sur la stabilisation des sols par la chaux et les cendres volantes*. Proceedings of the Sixth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. II, pág. 132-136. University of Toronto Press, Canada, 1965.
- M. MATEOS: *Estudios sobre la estabilización de suelos con cal y cenizas volantes*. Boletín de la Sociedad Española de Mecánica del Suelo, Instituto Torroja de la Construcción y del Cemento, Madrid, Noviembre 1964.
4. M. MATEOS Y D. T. DAVIDSON: *Lime and fly ash proportions in soil-lime-fly ash mixtures and some aspects of soil-lime stabilization*. Highway Research Board of the National Academy of Sciences-National Research Council, Washington, D. C. Bulletin No. 335, pág. 40-64, 1962.
5. American Society for Testing and Materials. *Procedures for Testing Soils*. 1958.
6. D. T. DAVIDSON, M. MATEOS Y R. K. KATTI: *Activation of the lime-fly ash reaction by trace chemicals*. Highway Research Board. Bulletin 231, pág. 67-81, 1959.
7. M. MATEOS Y D. T. DAVIDSON: *Further evaluation of promising chemical additives for accelerating hardening of soil-lime-fly ash mixtures*. Highway Research Board. Bulletin 304, pág. 32-50, 1961.

ALIANZA

ASOCIACION GENERAL DE SEGUROS MUTUOS
A PRIMA LIMITADA

Autorizada por O. M. de Hacienda de 16 de enero
de 1940

DEPOSITOS LEGALES: 5.600.000 ptas.
RESERVAS ESTATUTARIAS: 25.000.000 ptas.

Dirección General
CALLE DEL BARQUILLO, 23. MADRID (4)

Cada noventa segundos como promedio, muere instantáneamente o queda fatalmente herido en los caminos del mundo un hombre, una mujer o un niño. víctimas de los accidentes del tránsito rodado.

Los accidentes son inevitables..., pero no SUS
CONSECUENCIAS

Prevéngase contra ellas contratando un Seguro con ALIANZA, Asociación General de Seguros, que además opera en los Ramos de Incendios, Robo, Automóviles, Vida, Transportes, Responsabilidad Civil de Empresas y particulares, y Seguro Completo del Hogar.

CHRISTENSEN

DIAMOND PRODUCTS, S. A.

Le ofrece
ahora en España



Fabricación de toda
clase de coronas de
diamante, para mi-
nería y obras públi-
cas. Recuperación y
reconstrucción de co-
ronas usadas.

Distribuidores en exclusiva
para España de



Equipos y material de perforación para
minería, construcción y obras públicas.

Fábrica y Oficinas
Antoñita Jiménez, 30 - MADRID-19

Teléf.- 269 84 03
Teleg.-Christensa



De "Cimbra" No. 14
Febrero 1966

Aspectos de las obras que se realizan en Montreal (Canadá) para la construcción de un «metro» radial.

Con motivo del Congreso Internacional de Mecánica del Suelo e Ingeniería de Cimientos, que se celebró en Montreal, Canadá, el pasado septiembre, la Comisión Organizadora preparó para los asistentes diversos viajes de estudio y visitas a obras en Montreal y en otras partes del país.

Hemos observado que la ciudad de Montreal está siendo remodelada completamente para enfrentarse con los problemas creados por su gran crecimiento, pues contaba en 1961 con 2.100.000 habitantes, fecha del último censo, y en 1951, con 1.450.000. Otro factor contribuyente a la reestructuración urbana de Montreal es debido a que la próxima feria oficial internacional tendrá lugar en esta ciudad en 1967. Subrayamos la palabra oficial porque, según me manifestaron, la reciente feria de Nueva York no estuvo reconocida por el Organismo Internacional de Ferias de Muestras.

La ciudad había crecido en extensión, sin poseer apenas edificios altos y con un centro comercial bastante amplio. Esto obliga, para resolver los asuntos o efectuar las compras, a realizar grandes recorridos. A pesar de que la ciudad tiene amplias avenidas, la gran proporción de vehículos originaba atascos del tránsito.

La remodelación urbanística con-

La Construcción en Montreal EL METRO

Por Manuel MATEOS
Ayudante de Obras Públicas
Ingeniero de Caminos (Iowa)

siste en crear un centro compacto a base de un gran número de rascacielos conjugando armoniosamente los espacios verdes entre ellos para poder instalar en dicho centro las oficinas administrativas, y de empresa privada, así como locales comerciales. Para disminuir en parte el tránsito de vehículos por esta zona se construyen también unos monumentales edificios de apartamentos. Este centro urbano contará con numerosos garajes para estacionamiento de vehículos, pero se espera que la mayoría de las personas que acudan a trabajar procedentes de las zonas residenciales periféricas lo hagan al menos parcialmente por transporte público. Para ello, sin descuidar las existentes líneas de autobuses, se está construyendo un metro radial con el foco en la zona central mencionada (véase el plano adjunto de las líneas del metro en construcción).

Las líneas en construcción son la 1,

2 y 4, por un total de 26 kilómetros. La línea 3 se asignó al sistema de ferrocarriles canadienses nacionales y no se construirá por el momento. Las obras empezaron en mayo del año 1963 y se espera que las líneas 1 y 2 empiecen a operar al final del verano de 1966, y la línea 4 para abril de 1967, fecha de la inauguración de la Exposición Internacional, situada en la isla de Santa Elena, y que será comunicada por esta línea.

EL TÚNEL

Los trabajos del túnel estaban durante nuestra visita completados en un 95 por 100. Es completamente subterráneo y tiene una sección circular de 7,10 m. de ancho, con una altura en el centro de 4,90 m. Esta sección está estudiada para situar las dos vías para cada sentido sin partición alguna entre ellas. En las estaciones, el túnel se ensancha hasta



El centro de Montreal se está «remodelando». Habrá demasiados rascacielos como el que vemos en la fotografía. Uno solo puede parecer bello, pero varios juntos hacen pensar que la arquitectura moderna está en regresión, en marcha hacia algo que podríamos llamar «carpintectura».

13,20 m., siendo la longitud de éstas de 153 m.

Un 30 por 100 de la excavación se hizo por el sistema de cielo abierto, incluyendo el paso del río San Lorenzo entre la isla Santa Elena y la estación Rive Sud. Este cruce con el río San Lorenzo se hizo después de construir presas de tierra agua arriba y abajo del río. Observamos que la roca se encuentra en general a poca profundidad, siendo la cubierta de suelo de unos 5 m. como media. Esto les ha permitido construir gran parte del trabajo en túnel, indicándonos que en ocasiones prefirieron situar el túnel más profundo para estar seguros que todo él estaba en roca. En general, no tuvieron grandes problemas de entibamiento, y sólo en un 5 por 100 de la longitud total de las líneas tuvieron que recurrir a la instalación de arcos de acero para soportar roca descompues-

ta o suelos. El túnel iba todo él recubierto de hormigón.

En la contratación de las obras del túnel siguieron un sistema poco común en esta clase de obras. Dividieron toda la red de las tres líneas en construcción (26 km. de longitud) en 20 sectores. Cada uno de estos sectores formó un contrato separado, aunque permitieron a los contratistas el presentarse a varios de estos contratos. Por este método indicaron que se podían realizar las obras más rápidamente y a costes más económicos para la Administración, pues de esta manera permitían participar en las obras tanto a contratistas grandes como a pequeños.

ESTACIONES

El detalle más interesante que observamos en la construcción de las estaciones fue una gran variedad arquitectural y decorativa. La Administración se propuso introducir diferenciaciones entre las diversas estaciones. Para ello contrataron 16 estaciones a arquitectos independientes de Montreal y las otras 10 las proyectó la Administración. De esta forma, los pasajeros notarán una constante originalidad, variedad y diferentes tendencias artísticas en cada estación. Gran parte de los desniveles se salvan por escaleras mecánicas,

habiéndose proyectado 123 de ellas para las tres líneas en construcción. Con la sola mención de este detalle, se puede uno dar cuenta del gran interés que tiene la Administración en dar toda clase de facilidades y comodidades a los pasajeros. El coste del establecimiento de las escaleras automáticas se eleva a 7.400.000 dólares (440 millones de ptas.).

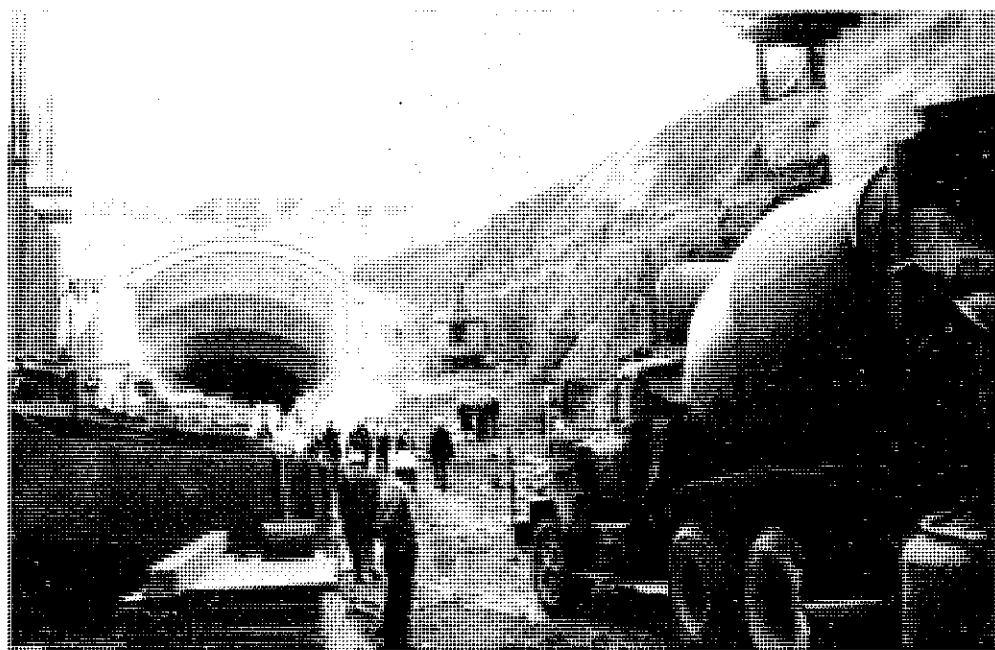
CONTRATISTAS

La forma original de dividir la obra en numerosas partes permitió la cooperación de un gran número de contratistas. Ya hemos mencionado la forma en cómo se contrató el túnel y las estaciones; en total habrá unos 100 contratos realizados para completar todo el sistema: excavación, estructuras, estaciones, accesos, material rodante, equipo mecánico, aparatos eléctricos, etc. Hasta el verano ya se habían dado 63 contratos diferentes distribuidos de la forma siguiente: 38 para trabajos de ingeniería y arquitectura, 14 en el equipo de las vías, 11 en aparatos mecánicos y eléctricos, uno para la construcción de vagones y dos para trabajos misceláneos.

VÍAS

Una de las características más importantes de este sistema de metro

Asistencia a la Conferencia Internacional de Mecánica del Suelo, durante su visita al «metro» de Montreal.



es que se utilizarán ruedas neumáticas en todas las redes. Esto requiere un complicado sistema de tendido de ruedas. Cada carretón tendrá ruedas corrientes de acero con pestañas, como en todo ferrocarril, cuya misión es servir de guía en los cruces y agujas. Al mismo tiempo, estas ruedas metálicas servirán para soportar los vagones en caso de pinchazo de las ruedas neumáticas. Las ruedas neumáticas de cada carretón serán 4 de eje vertical y 4 de eje horizontal. Las de eje vertical se apoyan sobre una pletina y son direccionales. Estas pletinas suministrarán la energía eléctrica a los motores de los vagones y retornará por un negativo situado en los railes de seguridad. Las de eje vertical soportan normalmente el peso del vagón y ruedan sobre unas vigas-rieles de hormigón de 25 cm. de ancho. Las ruedas metálicas de emergencia van situadas encima de un rail corriente de acero de 35 kg. por metro lineal. El coste de la vía es de 15 millones de dólares (900 millones de pesetas).

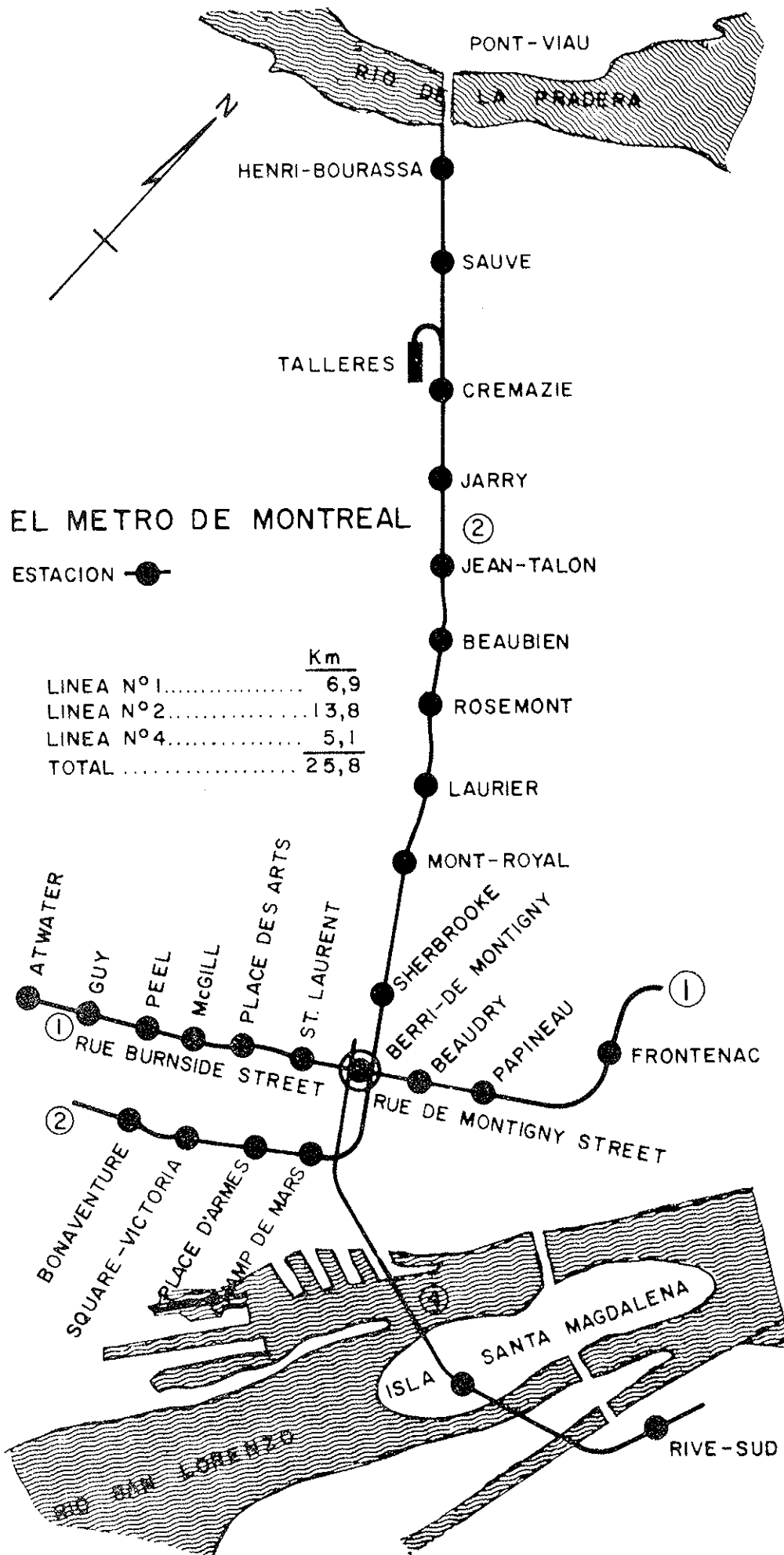
ELECTRICIDAD

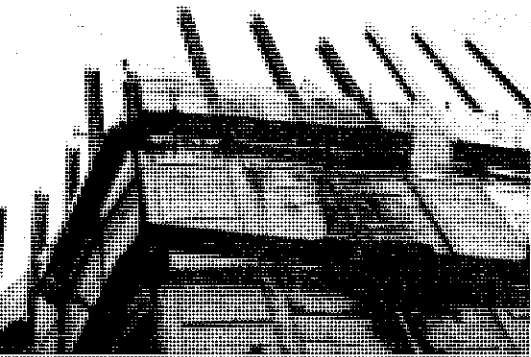
La red estará mantenida con electricidad a 12.000 voltios, 3 fases, 60 ciclos. Existen 2 estaciones de distribución para suministrar hasta 36.000 KVA por cada estación. Los cables de alta tensión irán instalados en tuberías bajo el pavimento de las calles, conectando con 18 rectificadores situados en casetas de 7,5 por 12 m., de donde el sistema tomará la energía necesaria para el funcionamiento de las tres líneas. Unidades secundarias de distribución situadas en varias estaciones suministrarán electricidad para alumbrado, calefacción, ventilación, escaladores, etc.

VENTILACIÓN

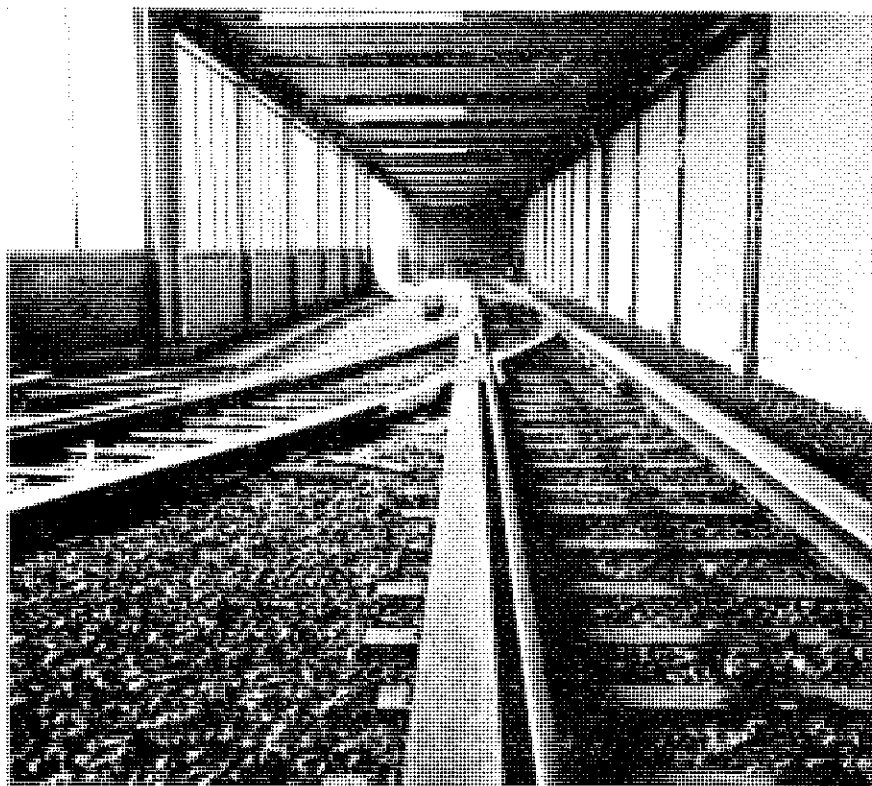
Las galerías usadas para alojar los cables que transportan la electricidad

Plano de las líneas del «metro».





En la construcción de este muro se empleó una combinación de los sistemas «pernos de roca» y «pretensado» para sostener la roca. En una abertura hecha en ella se introducen barras de acero, el extremo interior se rellena de hormigón expantivo, a base de polvo de aluminio, y cuando ha endurecido el hormigón, se tensan las barras.



Las vías muestran el carril de acero de emergencia y la viga de hormigón para las ruedas neumáticas soportantes. Falta la pletina para las ruedas neumáticas direccionales.

desde los rectificadores hasta el túnel, serán usadas también como conductos para bombear aire con la ayuda de ventiladores con una capacidad de 1.200 m³ por minuto. Como se instalará una unidad de ventilación entre cada dos estaciones y sólo hay 18 rectificadores, será necesario instalar otra media docena de unidades especiales de ventilación. El aire

bombeado en los túneles escapará a través de las salidas normales de éste, y se estima que el aire del túnel se renovará cada media hora.

VAGONES

Las tres líneas estarán servidas por 369 vagones, de los cuales 246 son unidades-motores y 123 unidades-remolque. Tres unidades, compuestas de dos motores y un remolque, forman un elemento, y tres elementos forman un tren. La longitud del tren será de 152 m., es decir, la mis-

Cada vagón estará equipado con cuatro puertas a cada lado. El metro de Montreal será la primera red completa que use ruedas neumáticas. Como ya sabemos, este sistema ha sido ya utilizado en algunas líneas de París durante los últimos diez años, habiendo dado un resultado satisfactorio. Las ventajas al utilizar neumáticos son: proporcionar un mayor confort a los pasajeros a través de la reducción en los ruidos; poseer un mayor coeficiente de fricción que las ruedas de acero, permitiendo una menor distancia de parada en caso de emergencia, así como permitir mayores pendientes en el perfil y curvas más cerradas. Estos metros con ruedas neumáticas tienen también una mayor velocidad comercial que los otros.

Las velocidades comerciales oscilan entre 32 y 50 km/h., dependiendo de las líneas. Los trenes pasarán con intervalos de noventa segundos, circulando por lo tanto 40 trenes por hora y por vía.

La capacidad de cada vagón es de 170 pasajeros por vagón entre sentados y de pie, con lo cual cada tren puede transportar hasta 1.500 personas. Cada línea puede transportar 60.000 pasajeros por hora en un sentido, o sea 120.000 en ambos sentidos.

CONSERVACIÓN

Los talleres de conservación no ofrecen nada de interesante, excepto que es la única parte del sistema que está situada al aire libre. Lo único digno de mención es que existe una estación lavadora de vagones para mantenerlos siempre con un aspecto agradable y limpio.

COSTES

El coste total se calcula en dólares 213.700.000 (1.282.200.000 pesetas), de los cuales 152.000.000 de dólares son para la construcción y más de 61.700.000 dólares para material rodante y accesorios.

M. M.

ma longitud que la de los andenes de las estaciones. Las dimensiones de los vagones son las siguientes:

Longitud del vagón-motor: 17,20 metros.

Longitud del vagón-remolque: 16,40 m.

Anchura de vagones: 2,48 m.

Dimensiones de las puertas: 1,95 por 1,30 m.

De "Cimbria" No. 26
Febrero 1967

La clasificación textural de la parte fina de los suelos, es decir, sin la grava, se puede, al quedar tres componentes, arena, limo y arcilla, representar en un triángulo.

Las primeras clasificaciones texturales del suelo se hicieron por los agrónomos, cuando todavía los ingenieros de carreteras agrupaban todo el suelo de textura fina bajo el nombre de tierra.

El primer triángulo textural que alcanzó amplia difusión es el de la figura 1. Este triángulo fue adoptado por los ingenieros civiles y así lo encontramos en todos los libros de mecánica del suelo y de carreteras.

Aunque los ingenieros habían adoptado universalmente el triángulo de la figura 1, los agrónomos seguían descontentos con él. Este descontento se trató de paliar con la investigación, y tras el análisis de centenares de suelos de todas procedencias, hecho por el U.S. Department of Agriculture, se halló la necesidad de reformar el triángulo de texturas de suelos. Así, hace unos diez años, los agrónomos abandonaron el triángulo de la figura 1 y adoptaron el de la figura 2.

Figura 1.—Triángulo para la clasificación textural de suelos todavía usado en ingeniería.

Figura 1.—Triángulo para la clasificación textural de suelos todavía usado en ingeniería.

sacar en consecuencia que el primero salió de un tablero de dibujo, sin experimentación, siendo hasta simétrico. El segundo tiene unas divisiones menos rectilíneas, consecuencia de la observación de muchos suelos, tanto en laboratorio como en el campo.

Al pasar al español los términos de los triángulos texturales hemos observado un gran confusiónismo. Así, por ejemplo, la palabra «loam» con que se denomina al suelo equilibrado desde el punto de vista productivo (agrícolamente), lo han traducido por **Tierra, Tierra franca, Suelo franco, Franco, Miga, Limo, Barro, Marga,** etc. Al limo lo llaman algunos autores **Bolvo, Cieno, Barro,** etc.

Es obvio que se necesita uniformar esta terminología, y con este fin se han confeccionado los triángulos de las figuras 1 y 2. Para traducir la palabra «lòam» usamos la castiza de **Gleba**, de significado como tierra arable en la expresión «siervos de la gleba» con que se denominaba a aquellos que trabajaban la tierra; en la estructura social medieval. Los demás términos son los más comúnmente usados.

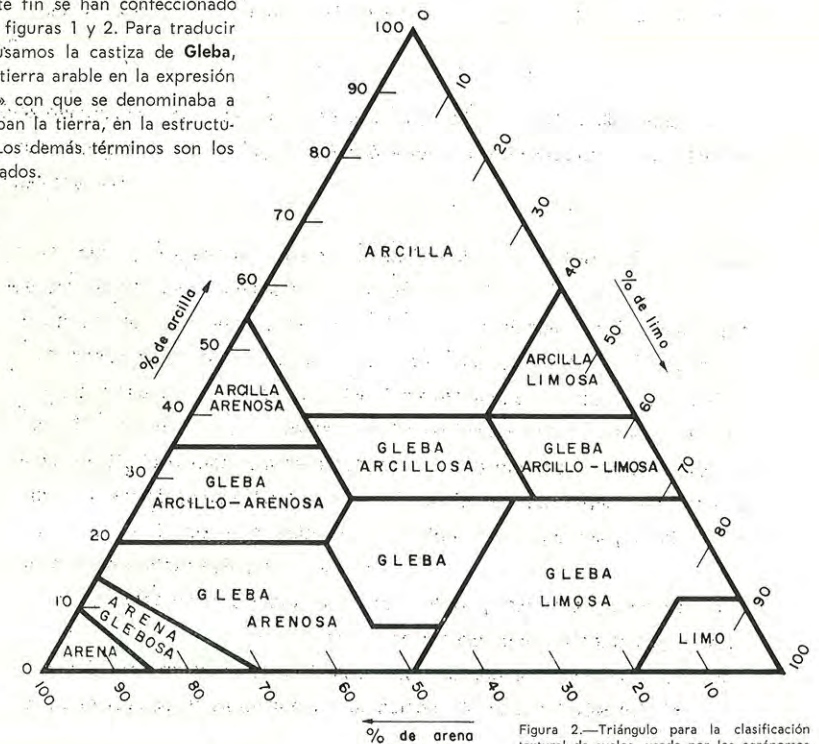


Figura 2.—Triángulo para la clasificación textural de suelos, usado por los agrónomos en sustitución del de la figura 1.