

ESTUDIOS SOBRE SUELO-CAL

Por MANUEL MATEOS

Doctor en Ingeniería Civil
(Iowa State University)

Presentamos a continuación un sumario y las conclusiones de la comunicación "Soil-Lime Research at Iowa State University", por Manuel Mateos, A. M. ASCE, publicada en los "Proceedings" de la "American Society of Civil Engineers", "Journal of Soil Mechanics", en marzo de 1964, así como del "Closure" a las discusiones, que se ha publicado también en dichos Proceedings, en mayo de 1965. Esta comunicación resume el trabajo sobre suelo-cal que se ha realizado durante los últimos años en los Laboratorios de Ingeniería de Caminos de la Universidad Iowa State.

La cal es uno de los productos que puede ser usado para mejorar el suelo como material de construcción. Son varios los factores que afectan al sistema suelo-cal-agua. Los principales son: 1, el suelo con sus distintas granulometrías, tipos de minerales de arcilla presentes y cantidad de materia orgánica; 2, tipo y cantidad de cal; 3, la influencia de otros aditivos. Algunos de los factores secundarios incluyen: 1, grado de humedad; 2, efecto del esfuerzo de compactación; 3, aplicación de la cal en polvo o en lechada; 4, efecto del período de curado; 5, efecto de la temperatura de curado; 6, efecto del retraso en realizar la compactación después del mezclado húmedo.

Para el estudio de estos factores en la estabilización de suelos con cal, se usaron suelos y cales de varias partes de los Estados Unidos, incluyendo Alaska ("Estabilización de Suelos Limosos de Alaska con Aditivos Inorgánicos", por Manuel Mateos y Donald T. Davidson, REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, agosto 1963). Se analizaron los efectos de la cal en la plasticidad, retracción, resistencia al hinchamiento de los suelos, así como la resistencia a la helada y a ciclos de secado y humedecimiento. Se estudió también el papel de la cal en otros métodos de estabilización de suelos ("Valoración de la Adición de Cal en las Mezclas de Suelo-Asfalto", por Manuel Mateos y Carlos de Sousa Pinto, REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, agosto 1962). Se construyeron carreteras de ensayo para recoger información sobre el comportamiento en obra de las mezclas de suelo-cal. Se llevaron a cabo estudios básicos para identificar los compuestos formados en la reacción entre el suelo y la cal, avanzar los conocimientos de la físico-química del sistema suelo-cal-agua, y conocer la influencia del óxido de magnesio, para tratar de comprender mejor los mecanismos de dicha reacción.

Algunas de las conclusiones que se han obtenido en estos estudios son:

Los suelos arcillosos y algunos suelos limosos, así como las fracciones arcillosas y limosas de suelos granulares mejoran sus características como material de construcción al añadirles cal.

Suelos con arcillas montmorilloníticas o caoliníticas responden mejor a la estabilización de suelos con cal que suelos con arcillas illíticas o cloríticas. Los suelos ricos en arcillas haloisitas responden peor que los otros tipos. Las resistencias típicas obtenidas con varios tipos de suelos están dadas en la tabla siguiente.

Suelos de los horizontes agrícolas B y C responden mejor a la estabilización con cal que suelos del horizonte A.

Valores representativos de las compresiones simples obtenidas con suelos seleccionados tratados con cal.

Tipo de arcilla predominante en el suelo	Período de curado — Dias	CALES			
		CALCÍFICA HIDRATADA		DOLOMÍTICA MONOHIDRATADA	
		Cantidad óptima de cal %	Resistencia Kg/cm ²	Cantidad óptima de cal %	Resistencia Kg/cm ²
Montmorillonita y caolinita	7	2—8	4—9	8—12	7—14
	28	2—8	11—18	8—14	18—29
Illita y clorita	7	3—5	4—7	4—6	7—11
	28	4—6	9—12	4—8	14—18
Halloisita	7	4—8	4—7	4—8	4—7
	28	4—8	5—9	6—14	11—14

Valores obtenidos con probetas de 5 × 5 cm (2" × 2") moldeadas a la densidad máxima proctor normal, curadas a 21° C. con humedad relativa superior al 90 por 100 y sumergidas por veinticuatro horas antes de ensayarse a compresión.

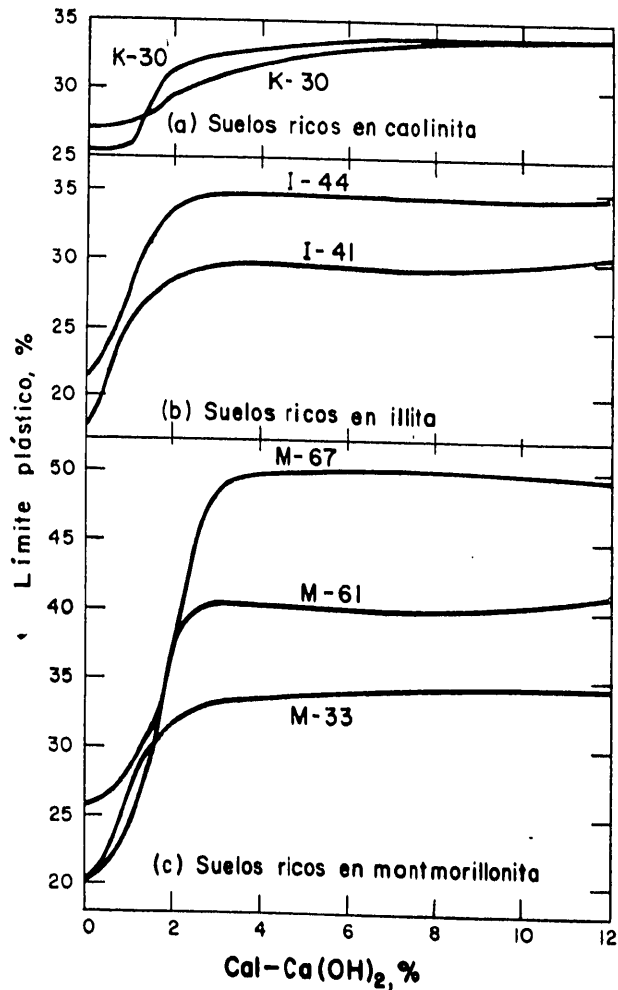


Fig. 1.ª—Efecto de la adición de cal en el límite plástico de los suelos. El número después de la letra indica el porcentaje del mineral de arcilla; así, M-33 indica un suelo con 33 por 100 de montmorillonita.

Los suelos arcillosos y limosos son "modificados" mediante la adición de cal, según se refleja en una mejora de su plasticidad, índice de retracción y otras propiedades, y son "aglutinados" o "cementados" con cal al formarse silicatos de calcio, algunos de ellos análogos a los formados en el hormigón.

Cuando se añade cal a los suelos, sus iones se combinan primero o son absorbidos en la estructura de la arcilla, causando cambios fisicoquímicos en las partículas del suelo. Estos cambios tienen lugar hasta una cierta cantidad de cal, y mayores adiciones de ésta no causan más cambios apreciables. Este punto de inflexión es el llamado punto de "fijación de cal" o de "retención de cal".

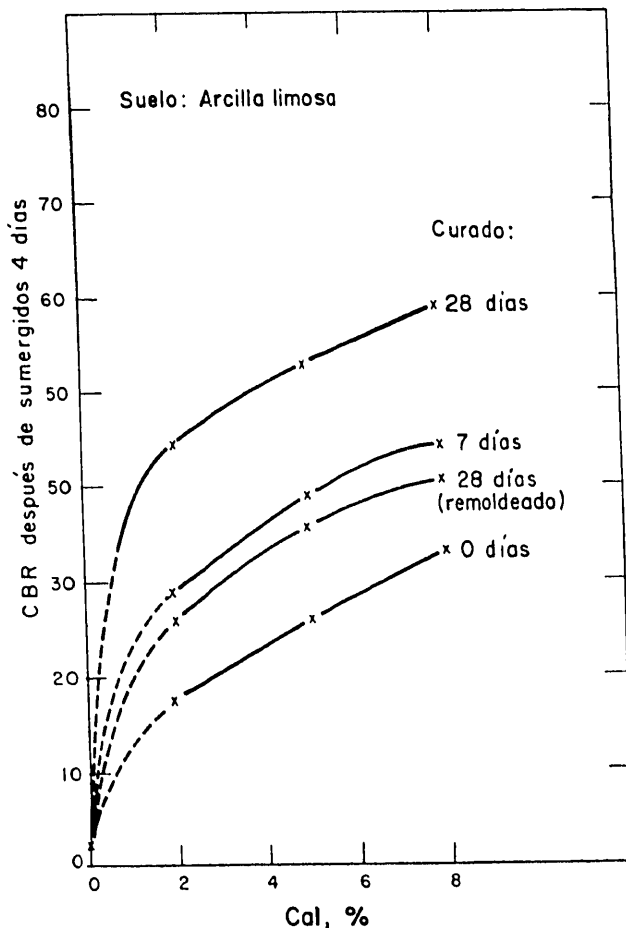


Fig. 2.^a—Efecto de la adición de cal calcítica en el CBR de un suelo.

Cantidades de cal hasta el punto de retención son utilizadas por el suelo en forma iónica y causan una modificación de las características del suelo. Cal en exceso del punto de retención queda en forma molecular en el suelo y se cree que es utilizada en el proceso de cementación.

La cantidad de cal necesaria en general para la modificación de un suelo varía entre 1 y 3 por 100, y para la cementación entre 2 y 8 por 100.

En general, las cales vivas son más efectivas que las hidratadas.

Las cales calcíticas son las más efectivas en la modificación de un suelo, y las dolomíticas son las más efectivas en la cementación.

Las cales dolomíticas dihidratadas $[\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Mg}(\text{OH})_2]$ no se recomiendan para estabilizar suelos porque son menos efectivas que las otras cales dolomíticas $[\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{MgO}]$ y $[\text{CaO} + \text{MgO}]$, o que las calcíticas $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaO .

Las cales vivas añadidas en forma de lechada contribuyen a dar mayores resistencias que cuando se usan en forma pulverulenta.

La adición de otros productos químicos en la mezcla suelo-cal da resultados erráticos.

La adición de cal hace disminuir la densidad máxima de un suelo, para un mismo esfuerzo de compactación; este efecto está generalmente acompañado por un aumento de la humedad óptima.

Un retraso en la compactación después del mezclado húmedo del suelo y la cal hace rebajar más aún la densidad máxima y hace aumentar la humedad óptima, comparándolo con una compactación realizada sin retraso alguno.

En suelos con un alto contenido de arcilla montmorillonítica, la adición de cal modifican el aspecto de la curva humedad-densidad de compactación, y no muestran una máxima densidad bien definida.

Aumentando el esfuerzo de compactación de normal ASTM-AASHO a modificado, la resistencia a la compresión de las mezclas de suelo-cal aumenta entre el 50 y el 250 por 100.

La temperatura de curado tiene una gran influencia en las resistencias de las mezclas de suelo-cal. Cuando se desea obtener una buena resistencia se recomienda que la construcción se haga al principio del verano para que el suelo-cal goce de una alta temperatura de curado. Las cales dolomíticas, excepto las dihidratadas, producen mayores resistencias que las cales calcíticas para bajas temperaturas de curado. La cementación de las partículas del suelo por la cal tiene también lugar a temperaturas por bajo de 0°C .

Los principales compuestos responsables de la resistencia por cementación son silicatos, producidos en una reacción puzolánica entre la cal y las partículas finas del suelo. El carbonato cálcico formado en la reacción entre la cal y el anhídrido carbónico (CO_2) presente en el suelo o en la atmósfera es también cementicio, pero da resistencias mucho más débiles que los silicatos.

En el mecanismo físico-químico del fenómeno de modificación, se cree que el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ se disocia en el suelo, puesto que no se han hallado vestigios de él en análisis de difracción de rayos X. Los aniones hidroxílicos crean un alto pH que favorece la sustitución de iones Ca^{++} por otros cationes existentes en el suelo. Esto parece ser debido a que los iones OH^- añadidos con la cal se apropian de iones H^+ procedentes de la estructura de la arcilla, dejando la superficie de ésta con una carga más negativa que al principio. Una arcilla más negativa atraería más iones Ca^{++} hasta llegar al punto de saturación, que es el llamado punto de fijación de la cal o punto de retención de la cal.