

➤ Dra. Cecilia Olivia Olague Caballero, I.C. Abraham Infante Cervantes, I.C. César Iván Ceballos Chaparro, I.C. Rafael Enrique De La Coromoto Alvarez Downing, I.C. Rosalinda Antonieta Iglesias Zappone

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chihuahua, FINGUACH Año 3, Núm. 9, septiembre-noviembre 2016

# Estabilización química de arcillas mediante polvo de mármol

Las arcillas expansivas generan un grave problema de movimientos diferenciales en las estructuras, ya que son altamente susceptibles a deformaciones o cambios volumétricos. Como consecuencia se presentan asentamientos inmediatos o diferidos en el tiempo que pueden producir expansiones o colapsos, pérdidas de serviciabilidad y seguridad de las estructuras cimentadas sobre este tipo de suelos.

El objetivo principal del estudio es determinar la eficiencia del polvo de mármol como adición mineral para estabilización física y química de arcillas expansivas. A fin de lograr este objetivo se requiere caracterizar los materiales a estudiar y realizar pruebas índice y mecánicas con diferentes porcentajes de polvo de mármol con la finalidad de probar su eficiencia como agente estabilizador.

## Zona de estudio y caracterización de la arcilla estudiada

La arcilla estudiada presentó un límite líquido de 51.95% y un límite plástico de 23.53%, con un índice plástico de 28.42%. De acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) corresponde a una clasificación CH (Arcilla de Alta Compresibilidad). De acuerdo a la clasificación de la *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) es un suelo A-7-6 (14). Se realizaron pruebas de difracción de rayos X determinándose que el tipo de arcilla es una caolinita.



Figura 1: Zona de estudio y procedimiento de muestreo.

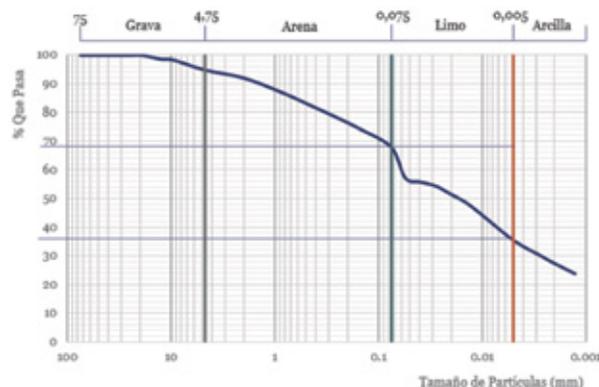


Figura 2: Curva granulométrica del suelo.

### El polvo de mármol como adición mineralógica para estabilización de arcillas

El mármol es una roca metamórfica compacta formada a partir de rocas calizas que sometidas a elevadas temperaturas y presiones alcanzan un alto grado de cristalización. El componente básico del mármol es el carbonato cálcico, cuyo contenido supera el 90%; los demás componentes, considerados impurezas son los que dan gran variedad de colores en los mármoles y definen sus características físicas. Tras un proceso de pulido por abrasión el mármol alcanza un alto nivel de brillo natural, es decir, sin ceras ni componentes químicos.

Con frecuencia otros minerales aparecen juntos a la calcita formando el mármol, como el grafito, clorita, talco, mica, cuarzo, pirita y algunas piedras preciosas como el corindón, granate y la zirconita.

El mármol utilizado en el presente trabajo presenta los siguientes contenidos mineralógicos mostrados en la Tabla 1 y 2.

DIFRACCIÓN DE RAYOS X (MÁRMOL)						
	RET 40	RET 50	RET 80	RET 100	RET 200	PASA 200
Fe	51.51%	45.95%	48.94%	47.72%	44.32%	44.61%
Si	31.89%	38.18%	33.47%	34.53%	35.24%	37.19%
Pd	1.71%	1.77%	1.99%	2.14%	1.74%	2.09%
Ti	1.24%	2.47%	2.72%	3.62%	2.62%	1.78%
Zr	1.19%	1.73%	1.07%	1.63%	3.80%	6.54%
Mn	0.73%	0.53%	0.70%	0.00%	0.41%	0.66%
Au	0.70%	0.75%	0.70%	0.64%	0.62%	0.79%
Zn	1.07%	1.29%	2.43%	1.21%	1.90%	3.40%
Y	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.34%
Nb	0.00%	23.00%	0.22%	0.28%	0.23%	0.28%
P	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Sr	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	2.33%
Pb	0.00%	0.71%	0.00%	0.99%	0.00%	0.00%
Mg	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Al	9.22%	6.68%	7.76%	7.02%	8.79%	0.00%
Mo	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.32%	0.00%
Cu	0.00%	0.00%	0.00%	0.21%	0.00%	0.00%
Ag	0.76%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Tabla 1: Difracción de rayos X del polvo de mármol.

Escala	Cantidad	Mineral	Fórmula
Mayor del 40%	Mayoritaria	Oxidos de Hierro (Pirita)	FeO
Mayor del 30 %	Abundante	Cuarzo	SiO2
Menor del 1%	Muy escasa	Oro	Au
Menor del 1%	Muy escasa	Cobre	Cu
Menor del 5%	Escasa	Zinc	Zn

Tabla 2: Estudio megascópico del mineral de mármol.

### Pruebas para determinar la eficiencia del uso de polvo de mármol para estabilización de suelos arcillosos.

Al usar el polvo de mármol es posible modificar las condiciones de plasticidad del suelo, teniendo como valor agregado el reúso de un desecho industrial. El efecto de esta adición mineral es disminuir el límite plástico del suelo conforme aumenta la

cantidad de polvo de mármol mejorando la trabajabilidad y su resistencia mecánica. Al reducir el índice plástico del suelo disminuye su grado de potencial expansivo y la actividad del suelo pasa a considerarse un suelo inactivo. La siguiente tabla muestra las variaciones de los límites. La actividad es un parámetro geotécnico que se obtiene del cociente entre el Índice Plástico y el porcentaje particular de arcilla presente en el suelo.

Material	LL %	LP %	IP %	A
Suelo natural	51.95%	23.53%	28.42%	0.769
Suelo natural + Mármol 10 %	43.15%	24.58%	18.58%	0.503
Suelo natural + Mármol 20 %	41.05%	25.76%	15.29%	0.414
Suelo natural + Mármol 30 %	40.01%	27.32%	12.69%	0.343

Tabla 3: Límites de Atterberg para el suelo estabilizado con mármol.

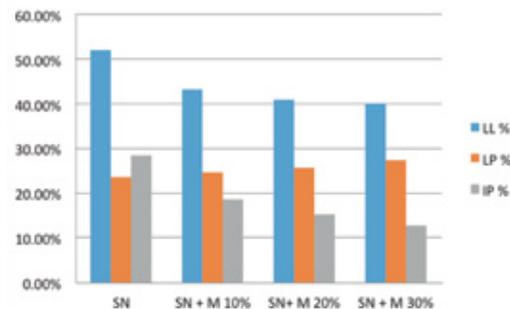


Figura 3: Límites de Atterberg para el suelo estabilizado con mármol.

El proceso de agregar mármol al suelo produce un cambio en las propiedades plásticas del suelo y por consecuencia puede cambiar la clasificación del material y es posible evaluarlo de acuerdo a los sistemas de clasificación de suelos como el SUCS y el AASTHO que son los más usados. Para esta clasificación es necesario usar la granulometría y los límites recientemente obtenidos.

Material	SUCS	AASHTO
Suelo natural	CH - Arcilla de alta compresibilidad	A-7-6
Suelo natural + Mármol 10 %	CL - Arcilla de baja compresibilidad	A-7-6
Suelo natural + Mármol 20 %	CL - Arcilla de baja compresibilidad	A-7-6
Suelo natural + Mármol 30 %	ML - Arcilla de baja compresibilidad	A-7-6

Tabla 4: Clasificación de suelos para el suelo estabilizado con mármol.

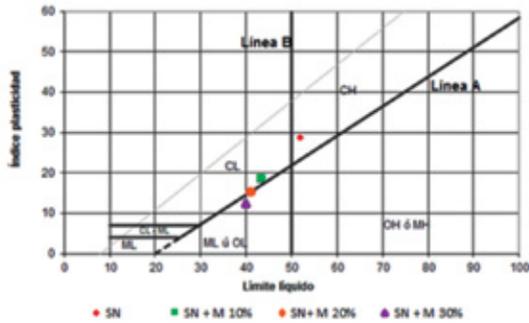


Figura 4: Carta de plasticidad del suelo natural más el desecho de mármol.

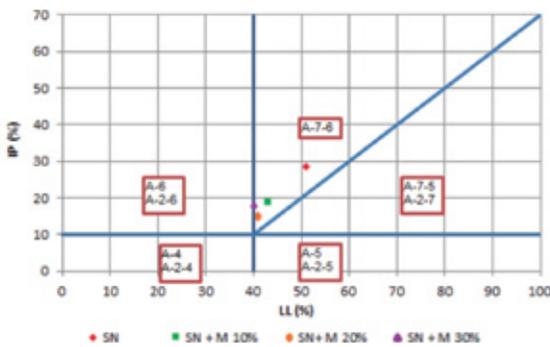


Figura 5: Carta de plasticidad del suelo natural más el desecho de mármol.

El mármol tiene un peso específico mayor al de la arcilla en su forma natural, por lo que al considerar el porcentaje de su dosificación (10-30%) el peso aumentó considerablemente.

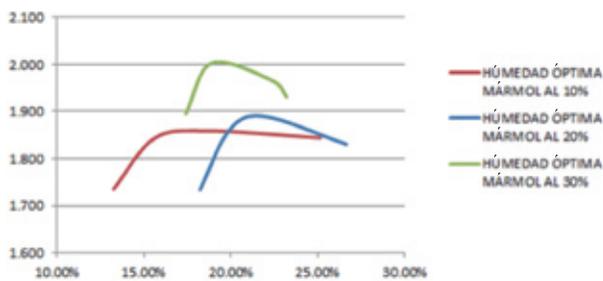


Figura 6: Humedad óptima del suelo-mármol.

	10%	20%	30%
PESO ESPECÍFICO HÚMEDO kg/cm <sup>3</sup>	1.859	1.890	2.003
PESO ESPECÍFICO SECO kg/cm <sup>3</sup>	1.594	1.551	1.684
CONTENIDO DE AGUA w %	18.60%	21.88%	18.93%

Tabla 5: Resultados de la prueba proctor estándar del suelo-mármol.

### Conclusiones y recomendaciones

La mezcla granulométrica de un suelo con mejores propiedades mecánicas e hidráulicas es una alternativa viable para conseguir las características deseadas de un material sin sustituirlo por completo ya que esto no resulta económico en la mayoría de los casos.

El polvo de mármol es considerado una adición mineral que sirve como agente estabilizador de arcillas. Por su contenido de calcio (en forma de cristales) funciona como un cementante natural, modificando las condiciones de plasticidad del suelo, obteniéndose un material trabajable con menos plasticidad y mayor resistencia mecánica.

El uso del desecho de mármol en forma de polvo es una alternativa sustentable que permite reusar este residuo, que de otra forma se acumularía ocasionando un deterioro ambiental.

A fin de hacer viable el uso del residuo de polvo de mármol se requiere de un proceso de trituración y molienda así como costos de traslado hasta el sitio de colocación que deben ser considerados para verificar la viabilidad económica.

De acuerdo a los resultados de la presente investigación el porcentaje de mármol que muestra mejores resultados de estabilización es el 30%, ya que contribuye a abatir la plasticidad en mayor proporción. También el uso del 30% de polvo de mármol aumenta el peso específico al máximo, mejorando su resistencia y trabajabilidad.

### Referencias

F.G. Bell, (1996). *Lime stabilization of clay minerals and soils*. Elsevier.  
 Garzón, E., Cano, M., O' Kelly, B. and Sánchez Soto, P. (2006). *Effect of lime on stabilization of phyllite clays*. Elsevier.  
 Hernández Rosales, M. (2006). *Estudio geológico y reconocimiento de arcillas expansivas en suelos de una zona al sur de Maracay, estado Aragua*. Licenciatura. Universidad Central de Venezuela.  
 Crespo Villalaz, C. (2007). *Mecánica de suelos y cimentaciones (5th ed.)*. México: Limusa.  
 Başer, O. (2009). *Stabilization of expansive soils using waste marble dust*.  
 Seco, A., Ramírez, F., Miqueleiz, L. and García, B. (2010). *Stabilization of expansive soils for use in construction*. Elsevier.  
 López Lara, T. (2010). Polímeros para la estabilización volumétrica de arcillas expansivas. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 11.  
 Budhu, M. (2011). *Soil Mechanics and Foundations (3rd ed.)*. [s.l.]: John Wiley & Sons Ltd.  
 Modarres, A. and Mohammadi Nosoudy, Y. (2015). *Clay stabilization using coal waste and lime — Technical and environmental impacts*. Elsevier.  
 Lati, N., A. Rashid, A., Siddiqua, S. and Horpibulsuk, S. (2015). *Micro-structural analysis of strength development in low- and high swelling clays stabilized with magnesium chloride solution- agreeen soil stabilizer*. Elsevier.