

Caracterización de Subrasantes Finas Sedimentarias Potencialmente Expansivas del Sur de Uruguay

Álvaro Rostan; Leonardo Behak; Marcos Musso; María Inés Regusci
Departamento de Geotécnica, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

RESUMEN: En el suroeste de la República Oriental del Uruguay existe un alto porcentaje de áreas cubiertas por formaciones del Cenozoico cuyos suelos, asociados a las Fm. Fray Bentos y Libertad, son potencialmente expansivos. Sobre estos materiales se apoya la Ruta Nacional N°1, una de las principales del país. Se realizaron diversos ensayos en suelos de diferentes progresivas para caracterizar y determinar el comportamiento de estos suelos como subrasante. Se determinó la composición mineralógica a partir de técnicas de azul de metileno y Análisis Térmico Diferencial. Se realizaron ensayos de caracterización y de comportamiento mecánico (granulometría, límites de plasticidad, compactación Proctor Modificada y capacidad CBR) y ensayos de expansión (exp. CBR, expansión libre y presión de expansión). Se identificaron diferencias granulométricas y mineralógicas, así como distintos comportamientos mecánicos, observándose heterogeneidad entre las unidades geológicas y dentro de ellas.

PALABRAS-CLAVE: Expansión, Subrasantes expansivas, Pavimentación.

1 INTRODUCCIÓN

La Ruta Nacional N°1 es una de las más importantes en volumen de tránsito del Uruguay, uniendo las ciudades de Montevideo y Colonia del Sacramento, en el suroeste del país (Fig. 1). Gran parte de esta ruta se funda sobre formaciones sedimentarias del Cenozoico. Se destacan los suelos limo arcillosos a limo arenosos asociados a la Fm. Libertad del período Cuaternario, y las limolitas y areniscas asociadas a la Fm. Fray Bentos del período Terciario (Preciozzi et al. 1985).

En la calzada de duplicación, construida con pavimento rígido, se desarrollaron prematuramente severas patologías entre las progresivas 40 y 90, las que podrían ser causadas por procesos de expansión de los suelos de subrasante asociados a la Fm. Libertad. Ensayos tendientes a identificar y caracterizar este tipo de suelos potencialmente expansivos han sido desarrollados por los autores (Musso et al. 2003, Musso et al. 2004).

Desde el año 2004 se realizaron estudios de caracterización de suelos y materiales del pavimento flexible de la calzada de duplicación en construcción, entre las progresivas 106 y 107. Estos estudios fueron parte del proyecto de implementación de un equipo triaxial cíclico y

un equipo de compresión diametral cíclica (Behak et al. 2005). Entre los suelos y materiales ensayados resultan de interés aquéllos asociables a los sedimentos de la Fm. Libertad y las limolitas de la Fm. Fray Bentos.

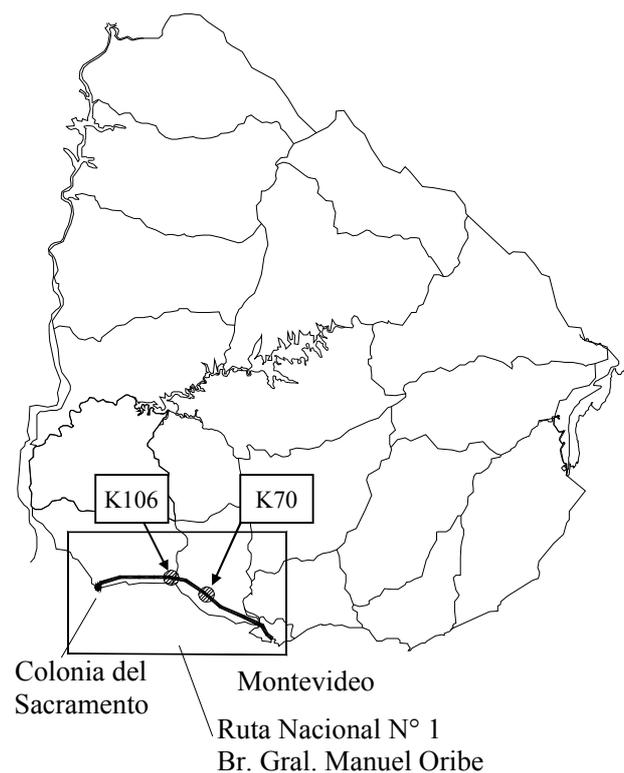


Figura 1. Ubicación del área de estudio

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Entre las progresivas 40 y 90 de la Ruta N°1, se extienden suelos limo arcillosos y arcillo limosos marrones de potencias considerables, asociados a la Fm. Libertad. Esta unidad geológica presenta diferentes potenciales de expansión en función de la mineralogía, granulometría, peso específico y succión (Musso 2001).

Desde la progresiva 100 aparecen limolitas de tonalidad rosada y alto contenido de carbonato de calcio en concreciones y como cementante, asociadas a la Fm. Fray Bentos. Éstas se depositaron por sobre el basamento cristalino conformado por gneises y granitos; los que afloran localizadamente hacia el borde de la cuenca sedimentaria del Santa Lucía. En esta región la secuencia sedimentaria se completa con limos areno arcillosos marrones a verdes, de poca potencia, pertenecientes a la Fm. Libertad e intercalaciones de arenas gravilosas a finas asociables a otras formaciones.

Los materiales fueron caracterizados mediante la determinación de sus composiciones granulométricas (ASTM D422) y sus límites líquidos y plásticos (ASTM D4318). Se realizaron e interpretaron análisis térmicos diferenciales (ATD), según Mackenzie (1957), y se determinó la capacidad de intercambio catiónico (CIC) mediante el método de azul de metileno, según sistemática indicada en Rostan et al. (2005).

Los parámetros de compactación y la capacidad portante se determinaron mediante ensayos Proctor Modificado y CBR (ASTM D1557 y D1883). Se midió la expansión producida durante 4 días de inmersión del ensayo CBR, valor de referencia en los pliegos de construcción en Uruguay.

La expansión libre (EL) y la presión de expansión (PE), se determinaron en ensayos edométricos en muestras duplicadas, compactadas estáticamente en las condiciones óptimas, las cuales son posteriormente saturadas con agua destilada bajo una tensión total inicial aplicada de 3 kPa (Musso et al. 2003).

3 RESULTADOS EXPERIMENTALES

Fueron extraídas muestras en diversas progresivas de la ruta en estudio, todas de tramos de desmontes del pavimento; denominadas por el número de progresiva. En la Figura 2 se presentan las curvas granulométricas de los materiales. En las muestras K56, K59, K60 y K106, todas asociadas a la Fm. Libertad, se observa una importante variación de sus fracciones granulométricas. En K106, la cercanía del basamento (borde de cuenca sedimentaria) y su historia pos-deposicional, serían responsables de su alto contenido de arena.

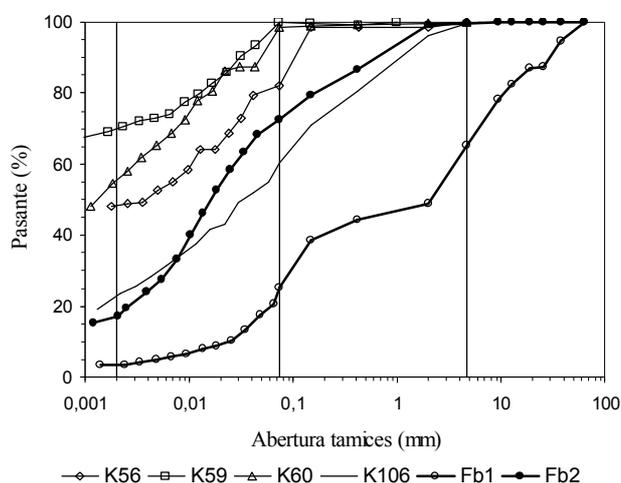


Figura 2. Curvas granulométricas de las muestras.

Las curvas granulométricas correspondientes a materiales de la Fm. Fray Bentos (Fb1 y Fb2) fueron tomadas en la región de la progresiva K106. La muestra Fb1 es representativa del material extraído directamente de cantera, la muestra Fb2 es el material de la misma cantera pero extraído de las capas compactadas de subrasante y/o sub-base. Se observa que las mismas presentan diferentes granulometrías y clasificaciones, probablemente causadas por la desagregación mecánica generada durante la compactación de las capas.

Estudios mineralógicos sobre materiales de Fm. Libertad identificaron variaciones en la fracción arcilla. Algunas muestras tienen exclusivamente esmectita y otras una mezcla de esmectita, illita y, ocasionalmente, caolinita; siendo siempre dominante los minerales del grupo de las esmectitas (Musso 2001).

En la Tabla 1 se presentan los límites de plasticidad y la CIC de los materiales estudiados. Los suelos Fb1 y Fb2 presentan poca variación de sus límites y prácticamente pueden considerarse no plásticas.

Tabla 1. Parámetros de caracterización y clasificación.

	Pasa #200 (%)	Fración Arcilla (%)	LL (%)	IP (%)	CIC (cmol/kg)	SUCS
K56	98,5	48	78	56	51	CH
K59	99,8	69	101	69	75	CH
K60	98,4	55,3	81	50	41	CH
K106	59	24	32	13	18	CL
Fb1	25	4	32	NP	8	SM
Fb2	72	17,5	38	5	-	ML

Los valores de CIC de las muestras de la Fm. Libertad indican presencia de minerales activos del grupo de las esmectitas. En la zona central de la cuenca sedimentaria presentan diferencias mineralógicas en su fracción arcilla, compuestas por esmectita (K56, K59) o mezclas de esmectita e illita (K60, K106).

El resultado de ATD de K106 (Fig. 3) muestra picos endotérmicos: doble en 160-230° C de esmectita cálcica, poco acentuado en 580° C de mezcla esmectita-caolinita-illita y menor en 790° C de esmectita; además de un pico exotérmico poco acentuado en 900° C de caolinita. El ATD de Fb2 indica, al igual que en K106, la presencia de esmectita cálcica como mineral principal (picos endotérmicos en 160-230° C y 850° C), observándose además un pico endotérmico en 900° C confirmando la presencia de carbonato de calcio.

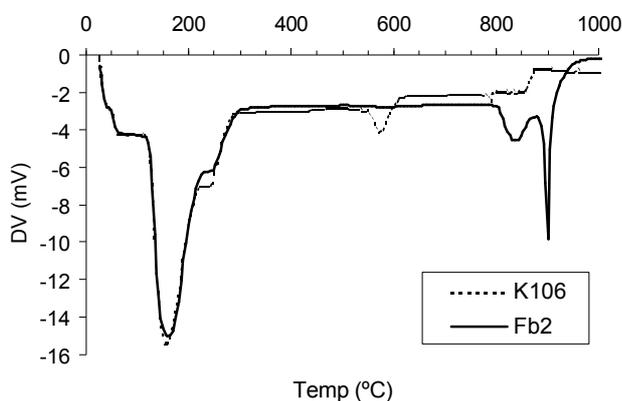


Figura 3. Resultados de Análisis Térmico Diferenciales.

En la Tabla 2 se presentan los parámetros de compactación Proctor Modificado y CBR; así como los valores de expansión CBR y EL, para cuatro y un día de inmersión respectivamente.

Tabla 2. Parámetros de compactación, CBR y expansión.

	w _{opt} (%)	PUSM (kN/m ³)	CBR (%)	Exp. CBR (%)	EL (%)
K56	17,8	17,0	5	4	9
K59	19,9	14,7	4	10	17
K60	21,5	15,0	4	6,8	19
K106	15,6	17,6	14	2,4	-
Fb1	15,7	17,1	46	0,9	-
Fb2	15,3	17,0	10	1,3	-

En general, se nota una variabilidad en los parámetros óptimos de compactación de las muestras de la Fm. Libertad, lo que se debería a la heterogeneidad mineralógica y granulométrica. El CBR es muy bajo, salvo en K106 donde es mayor probablemente debido al mayor contenido de fracción arena (40%). Estos resultados son coherentes con los obtenidos en este tipo de ensayo para suelos finos.

Los parámetros de compactación de las muestras Fb1 y Fb2 son muy similares, mientras que el CBR de Fb2 es notoriamente menor que el de Fb1.

En general los valores de PE para los materiales de la Fm. Fray Bentos son relativamente bajos (20 a 40 kPa). Para los suelos de la Fm. Libertad se observa una gran variación de sus valores de PE, de 200 a 1000 kPa, siendo mayores para los suelos que presentan altos valores de EL y Exp. CBR.

4 ANALISIS DE RESULTADOS

De los resultados obtenidos en los ensayos realizados sobre los materiales de las dos formaciones en estudio, es posible distinguir dos tipos de problemática distintas. Algunos aspectos vinculados con el comportamiento mecánico de los materiales asociados a la Fm. Fray Bentos y el potencial expansivo particular de los suelos de la Fm. Libertad.

4.1 Comportamiento Mecánico

En la práctica nacional, los parámetros de compactación son determinados a partir del ensayo Proctor Modificado sobre materiales

extraídos directamente de cantera siguiendo el Método D de ASTM (tamaño máximo de partículas de $\frac{3}{4}$ ""). El CBR, parámetro habitual de diseño de pavimentos en Uruguay, se evalúa a partir de probetas preparadas y compactadas en laboratorio según las condiciones óptimas así determinadas.

La desagregación mecánica producida durante el proceso de compactación, observada en las graduaciones granulométricas de las muestras Fb1 y Fb2, se debería a que el carbonato de calcio genera una cementación débil respecto a la energía aplicada durante la compactación en campo, pasando el material a tener una graduación más fina, con tamaños máximos menores a 4,75 mm. Sin embargo, esta cementación resistiría la forma de aplicación de la energía de compactación en laboratorio, manteniéndose en mayor medida la graduación original.

La forma de aplicación de la energía de compactación en campo y en laboratorio no afectaría los parámetros óptimos pero sí sería significativo en la resistencia a la penetración por punzonado que se reproduce en el ensayo CBR (Rostan et al. 2005). Cuanto más fino un suelo menor su resistencia a la penetración, lo que se refleja en la caída del CBR en la muestra Fb2 respecto a la Fb1. Lo recomendable sería diseñar pavimentos basándose en los valores de CBR del material ensayado en las condiciones granulométricas generadas por el proceso de compactación en campo.

Observaciones de pavimentos con sub-base y/o subrasante conformadas con materiales de la Fm. Fray Bentos, mostrarían que la desagregación no afectaría mayormente su desempeño estructural, a pesar de su bajo CBR. Los módulos resilientes no variarían de la misma forma que los CBR, no existiendo correlaciones entre ambos; hipótesis que será verificada o descartada en estudios futuros, cuando se disponga del equipo triaxial cíclico en implementación.

4.2 Expansión

El grupo de las esmectitas predomina en la fracción fina de los suelos de Libertad y de Fray Bentos estudiados. Sin embargo, el potencial expansivo es muy diferente en ambas

formaciones (Tab. 2); siendo muy elevado en los de Libertad y prácticamente despreciable en los de Fray Bentos. El bajo contenido de fracción arcilla (4% en Fb1 y 17% en Fb2), la cohesión real en estado natural y la presencia de carbonato de calcio en partículas tamaño limo, podrían ser la causantes de la disminución del poder expansivo de los suelos de Fray Bentos. La expansión, no sólo sería una expresión del tipo de mineral arcilloso presente en el suelo, sino que involucra a su grado de cementación y succión.

Las muestras de la Fm. Libertad fueron extraídas de la subrasante de Ruta 1, en algunos casos, durante trabajos de reparación de las losas de hormigón del pavimento. Mediciones del contenido de humedad natural de la subrasante mostraron valores de entre 7 y 16% más altos que los óptimos de compactación determinados por el ensayo Proctor (Musso et al. 2003). Claramente la expansión desarrollada en las subrasantes es causada por la absorción de agua, con la consecuente disminución de su succión inicial.

Se observa una variabilidad en el potencial expansivo de las muestras de la Fm. Libertad, tanto en las EL como en las PE, lo que es coherente con la heterogeneidad granulométrica, mineralógica y de los parámetros de plasticidad. Dentro de esta misma formación es posible identificar diferentes grupos de suelos en función del potencial expansivo.

No se observa una correlación clara entre la expansión del CBR y la EL. La expansión del CBR sería un indicativo del potencial expansivo de los materiales, no siendo suficiente para cuantificarlo. El ensayo de expansión edométrica sería el más adecuado para cuantificar el fenómeno, siendo más rápido de ejecutar respecto al CBR y permitiendo considerar diferentes condiciones iniciales de compactación (Musso et al. 2004).

5 CONCLUSIONES

Como resultado de los análisis efectuados para este trabajo se pueden puntualizar las siguientes conclusiones:

- Tanto los suelos de la Fm. Libertad como los

de la Fm. Fray Bentos presentan minerales arcillosos esmectíticos. Mientras los suelos del Libertad se presentan como potencialmente muy expansivos, los del Fray Bentos no lo son. La presencia de esmectitas en los suelos, por sí sola, no sería indicativa de potencial expansivo de los suelos.

- Existe cierta heterogeneidad granulométrica y mineralógica entre suelos de la Fm. Libertad. Esta heterogeneidad se expresa en la variación de los parámetros indicativos del comportamiento mecánico y en su potencial expansivo. El pertenecer a una misma formación geológica no implica características mecánicas únicas.

- Existen diferencias granulométricas entre los materiales de la Fm. Fray Bentos de cantera y tendido en la subrasante, debida a la desagregación producida por la energía mecánica de la compactación. Esta diferencia de graduación no afectaría los parámetros de compactación pero sí los de capacidad portante (CBR).

- No se observa una correlación clara entre la expansión de CBR y la EL. La expansión de CBR sería un indicativo del potencial expansivo de los materiales, no siendo suficiente para cuantificar el fenómeno. El EL sería más adecuado para tales fines de cuantificación.

AGRADECIMIENTOS

Parte de los estudios aquí presentados fueron posibles por la financiación otorgada por el Programa de Desarrollo Tecnológico (PDT) BID-DINACYT al Proyecto “Implementación de ensayo cíclico: diseño y rehabilitación de pavimentos flexibles y correlaciones con ensayos no destructivos”, actualmente en

ejecución. Una especial mención debe hacerse para la Ing. Florencia Roselli, que participó activamente en la primera etapa de aquel proyecto. Nuestro agradecimiento a los auxiliares de laboratorio del Departamento de Geotécnica, Lic. María Elena Bouvier y Sr. Juan Alvez.

REFERENCIAS

- ASTM (1986). *Annual Book of Standards – Soil and Rock, Building Stones*, Section 4, V.04.08, ASTM Publication, Philadelphia, USA.
- Behak, L., Rostan, A., Musso, M., Regusci, M. e Roselli, F. (2005). Características y Potenciales Usos de los Equipos de Carga Cíclica con que Contará Próximamente la Ingeniería Nacional, *5º Congreso de la Vialidad Uruguaya*, CD-ROM.
- Mackenzie, R. (1957). *The Differential Thermal Investigation of Clay*, Mineralogical Society, London, UK.
- Musso, M. (2001). *Estudo do Fenômeno de Expansão dos Sedimentos da Formação Libertad (Quaternario): Metodologia de Avaliação e Mapeamento na Região de Montevideú-Uruguay*, Dissertação de Mestrado Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Brasil.
- Musso, M., Rostan, A. e Behak, L. (2003). Subrasantes Expansivas en Rutas Nacionales: ¿Mito o Realidad?, *4º Congreso de la Vialidad Uruguaya*, CD-ROM.
- Musso, M., Rostan, A. e Behak, L. (2004). Expansión en Suelos de Subrasantes de Uruguay: Edómetros vs CBR. *5º Simposio Brasileiro de Solos Não Saturados*, ISBN 85-98156-04-3, Sao Carlos, Brasil, Trabajo 066, p. 377-380.
- Preciozzi, F., Spoturno, J., Heinzen, W. e Rossi, P. (1985). *Carta Geológica del Uruguay a Escala 1.500.000*. 90pp., Montevideo, Uruguay.
- Rostan, A., Behak, L., Musso, M., Regusci, M. e Roselli, F. (2005). Parámetros de Laboratorio y Ensayos de Campo Realizados en un Tramo de Pavimento en Construcción, *5º Congreso de la Vialidad Uruguaya*, CD-ROM.