

Estabilización con Cal de Suelos Residuales Basálticos. Una Técnica de Aprovechamiento de Materiales Alternativos en Pavimentos de Bajo Volumen de Tránsito en Uruguay.

Lime Stabilisation of Basaltic Residual Soils. A Technic to Improve Alternative Materials in Low-Volume Transit Pavements in Uruguay

Leonardo Behak

Ing. Civil, Asistente del Departamento de Geotécnica, Instituto de Estructuras y Transporte "Prof. Julio Ricaldoni", Facultad de Ingeniería, Universidad de la República Oriental del Uruguay

Resumen

Se presenta un estudio de mejoramiento con cal de materiales basálticos del nivel de alteración desagregado del Noroeste del Uruguay para su racional aprovechamiento en pavimentos de bajo volumen de tránsito. Los desagregados, que aquí se definen, proporcionan bases naturales de bajo comportamiento frente a las cargas de tránsito. El estudio parecía oportuno dada las potencialidades de desarrollo de la producción de cal a nivel nacional; siendo una solución relativamente económica. Se caracterizaron a los desagregados basálticos y se midió la evolución del comportamiento mecánico con la cal mediante ensayos de compresión inconfínada. Se concluye que es posible aprovechar de forma económica los materiales basálticos alterados gracias al mejoramiento con cal, en la medida que se apliquen métodos racionales de estudio y diseño.

Abstract

A lime stabilisation study about the desaggregate alteration level of the basaltic materials from the Norwest of Uruguay to its rational improve in low-volume transit pavements is presented. The desagregates, which are in the paper defined, provides low performance natural bases under the wheel loads. The study was suitable in view of the potential development of the national lime production; then offering relatively economic solutions. The basaltic desagregates was characterised and the development of their mechanic behaviour with the lime was measured through unconfined compression tests. The possibility to improve the alterate basaltic material in economic form thanks the lime stabilisation is concluded if rational methods of study and design are applied.

1 INTRODUCCIÓN

La necesidad de recurrir a materiales alternativos a los tradicionalmente utilizados en obras de pavimentación es una cuestión largamente planteada, habida cuenta de los altos costos que éstas implican. Para los países en vías de desarrollo, como Uruguay, adquiere una mayor trascendencia estratégica, máxime si se considera que la mayor parte de la red vial nacional puede ser considerada de bajo volumen de tránsito. Recurrir a materiales que, en principio, son de menor calidad pero que se localizan en el entorno cercano de las obras con criterios más racionales

para su caracterización y con métodos de diseño adecuados a ellos es un objetivo que pretende reducir los costos de obra con soluciones razonablemente durables y de bajo costo de mantenimiento. En este sentido se orientó el Departamento de Geotécnica del Instituto de Estructuras y Transporte de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República Oriental del Uruguay a través de programas de investigación y asistencia.

El estudio de la aplicación de técnicas de mejoramiento o estabilizado de materiales locales, cuando no se adecuan a las exigencias del tránsito, es una línea particular dentro de los objetivos generales planteados. La utilización de la cal

como agente mejorador resulta de particular interés, ya que Uruguay cuenta con reservas de materia prima suficientes para su producción y con una industria capacitada para ello con gran potencialidad de desarrollo. Los costos comparativos de su empleo respecto a otros estabilizantes de origen extranjero son por demás evidentes. A pesar de ello, su empleo en obras de pavimentación ha sido nulo en nuestro país por lo que debe partirse de demostrar su potencialidad de uso con sus ventajas comparativas tanto técnicas como económicas.

En este sentido, dentro de un programa de investigación vinculada con las problemáticas planteadas por los materiales basálticos, se encaró un estudio de utilización racional de aquéllos correspondientes a los niveles residuales más alterados mediante su mejoramiento con cal. El interés del estudio particular de estos materiales está justificado en el hecho que la cuenca basáltica ocupa casi la cuarta parte del territorio nacional.

2 DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL NIVEL BASÁLTICO DESAGREGADO

El programa de investigación se centró en el estudio de la utilización de los materiales pertenecientes a los niveles más alterados del perfil de suelos residuales de la cuenca basáltica, identificada en Uruguay como Formación Arapey. Estos niveles son denominados como descompuesto y desagregado según propuesta de Goso y Nahoum (1990); definiendo en particular al nivel desagregado como un suelo algo alterado y hasta fracturado que no ha sufrido una meteorización química significativa. Según estos autores su potencia sería variable, no superando el metro para el caso de matriz basáltica vacuolar y llegando a los 3,50 – 4,00 m para matriz de grano medio a grueso. Tendría escasa a nula presencia en aquellas zonas donde la roca originaria presenta un tamaño de grano fino. Su granulometría sería media a fina, pudiendo presentar fracciones grava fina y con fracciones finas fundamentalmente limosas. El poder soporte sería bajo a medio.

Considerando estas características generales podría esperarse un material apto para sub-bases y con buenas posibilidades de utilización en bases de pavimentos de bajo volumen de tránsito. Sin embargo existía muy poca experiencia en cuanto a su uso por lo que un primer paso en el estudio debía, por un lado verificar las características granulométricas definidas por Goso y Nahoum así como su capacidad de respuesta mecánica como material de sub-base y base. También se

presentaba como un material de interés para realizar un estudio del mejoramiento con cal de su comportamiento frente a las cargas de tránsito, particularmente para el caso de pavimentos de bajo volumen.

El estudio de caracterización se realizó mediante ensayos de granulometría (AASHTO T88–86) y límites de consistencia (AASHTO T89–86 y AASHTO T90–86) efectuados sobre cuatro muestras obtenidas durante un relevamiento de campo realizado a lo largo de 63 km de rutas del noroeste del Uruguay. La composición granulométrica de las 4 muestras ensayadas se presenta en la Figura 1, mientras que en la Tabla 1 se indican sus distribuciones de fracciones, sus límites de consistencia y sus clasificaciones según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

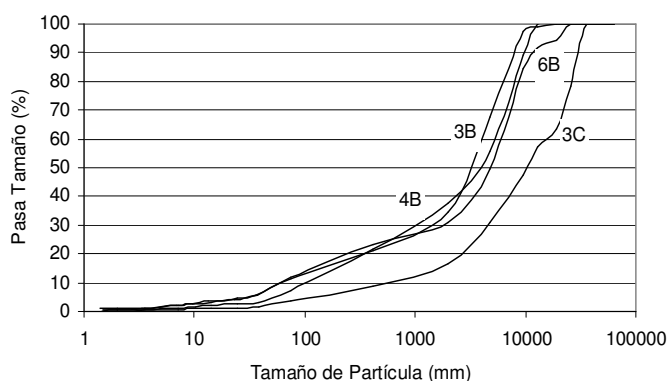


Figura 1 Graduación granulométrica de los desagregados basálticos muestreados

Tabla 1 Contenido de fracciones, Límites de consistencia y Clasificación SUCS de los desagregados basálticos muestreados

Muestra	3B	3C	4B	6B
Grava %	32,5	68,9	44,3	50,5
Arena %	23,3	27,6	48,3	37,8
Limo %	10,3	3,2	7,2	11,3
Arcilla %	0,8	0,3	0,2	0,4
Wl %	x	x	x	29
IP %	NP	NP	NP	4
SUCS	SP-SM	GW	SW-SP	GP-GM

Nota: NP: no plástico.

Los resultados muestran que, más allá de su heterogeneidad, los desagregados identificados son suelos gruesos que según la potencia que presenten oscilarán entre gravas y arenas. Se confirma que los finos son fundamentalmente limos de muy baja plasticidad.

Las observaciones permitieron establecer como uno de los rasgos más distintivos su rápida

degradación granulométrica al quedar expuestos a la intemperie y cuando sufren bajos esfuerzos mecánicos (fuerzas manuales); debido a la pérdida del confinamiento y de la cohesión aparente por el proceso de secado que le da una estructura muy similar a la de los niveles menos alterados. Estas circunstancias hacen que los desagregados basálticos pasen rápidamente de una estructura granular en forma de boleos de mediano y gran tamaño a un aspecto arenizado. La pérdida de cohesión permite que con un trabajo mecánico mínimo los granulares se degraden en tal forma que es posible considerar que los desagregados, una vez colocados en el pavimento, se presenten como materiales arenosos. Este fenómeno, conocido en la ingeniería local como alteración del basalto, no ha sido correctamente explicado y ha llevado a extender la idea de la alteración rápida a todos los materiales basálticos, dándoles una fama no acorde con ellos.

El mejor conocimiento de esta característica propia de los desagregados, llevó a plantearse como hipótesis para su estudio como material para pavimentos que en el proceso constructivo el material definitivo estaría completamente arenizado. Es por ello que en el programa se optó por realizar la desagregación total de las muestras a ser sometidas a los diferentes ensayos programados. De aquí en más todos los estudios deberán considerarse en estas condiciones del material; en particular, el peso específico seco máximo en el ensayo Proctor Modificado (AASHTO T180-86) fue de $20,1 \text{ kN/m}^3$ y la humedad óptima 12%.

Para verificar las características mecánicas del desagregado basáltico en estado arenizado como material para capas de sub-base y base se realizaron ensayos de poder soporte relativo (CBR) (AASHTO T193-81) y de compresión inconfínada (AASHTO T208-70 (1984)). El estudio se hizo a partir de muestras obtenidas de la Cantera Yucutujá, ubicada en la progresiva 38K300 de la Ruta Nacional N° 30 en el Departamento de Artigas; noroeste del Uruguay y cuyas características granulométricas y plásticas corresponden a la muestra 4B de la Tabla 1.

La Figura 2 ilustra los resultados obtenidos en el ensayo CBR. La Figura 3 resume los resultados de la evolución de la resistencia máxima a la compresión inconfínada de muestras de la Cantera Yucutujá, ensayadas a diferentes pesos específicos secos. De ambas figuras se observa la sensibilidad de los parámetros involucrados al grado de compactación. Esta sensibilidad, sumada a la baja cohesión que presentan los desagregados, avalaría la intención de estudio de mejoramiento con cal

para su utilización como material de base de pavimentos de bajo volumen de tránsito.

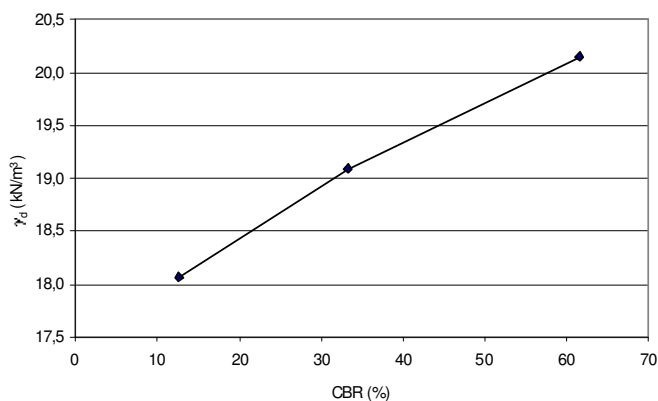


Figura 2 Relación CBR vs. Peso específico seco del desagregado basáltico de la Cantera Yucutujá

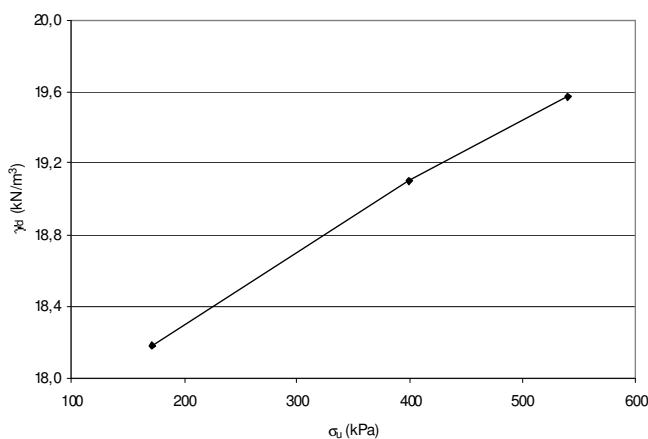


Figura 3 Resistencia máxima a la compresión simple en función del peso específico seco del desagregado basáltico de la Cantera Yucutujá

3 METODOLOGÍA DE ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO CON CAL DEL DESAGREGADO BASÁLTICO

El estudio del mejoramiento por adición de cal de la resistencia del desagregado basáltico se desarrolló mediante ensayos de compresión inconfínada en probetas moldeadas a diferentes pesos específicos secos y a la humedad óptima Proctor para diferentes contenidos de cal. Los ensayos se realizaron a 7 días de curado. Esta metodología permitió determinar las leyes de evolución de la resistencia máxima en función del peso específico y del contenido de cal, base para la determinación de aquella para cualquier grado de compactación. Previamente debieron ejecutarse ensayos Proctor Modificado para cada contenido

de cal de manera de obtener los valores óptimos de compactación en cada caso.

La utilización del ensayo de compresión simple para la determinación de parámetros de diseño de pavimentos no contaba con antecedentes en Uruguay. El CBR es el ensayo de uso en la práctica vial nacional, inclusive para materiales mejorados o estabilizados; aun lo ha sido a nivel de investigación. Cabe citar el estudio de estabilización con cal de materiales arcillosos para pavimentos económicos (Rodríguez et al.; 1990), donde el parámetro utilizado fue el CBR. Usar el ensayo de compresión simple resultó una experiencia novedosa, constituyéndose de esta forma en un objetivo particular de adecuación a la experiencia internacional.

La disponibilidad de prensas de carga de pequeño porte obligó al uso de probetas menores a las recomendadas por las normativas localmente conocidas. Sin embargo, dadas las características granulométricas del suelo, se supuso que la utilización de probetas de pequeñas dimensiones no afectaría los resultados del ensayo por respetarse las condiciones de escala.

4 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE MEJORAMIENTO CON CAL

La Figura 4 muestra la evolución del peso específico seco máximo del Proctor modificado en función del contenido de cal adicionado al desagregado basáltico; apreciándose su caída a medida que aumenta el tenor de cal hasta un 10%. Estos resultados concuerdan con los reportados en diversos trabajos consultados.

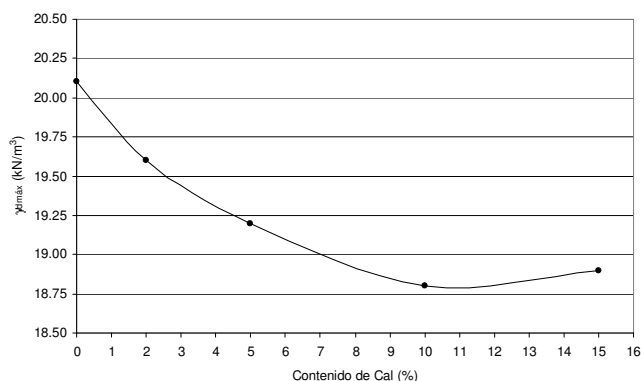


Figura 4 Peso específico seco máximo en función del contenido de cal para el caso del desagregado basáltico de la Cantera Yucutujá

La Figura 5 indica la evolución de la humedad óptima del Proctor modificado con el contenido de cal adicionado al desagregado basáltico. Se aprecia que ésta aumenta con el contenido de cal

hasta un 5%, disminuyendo sostenidamente para contenidos mayores.

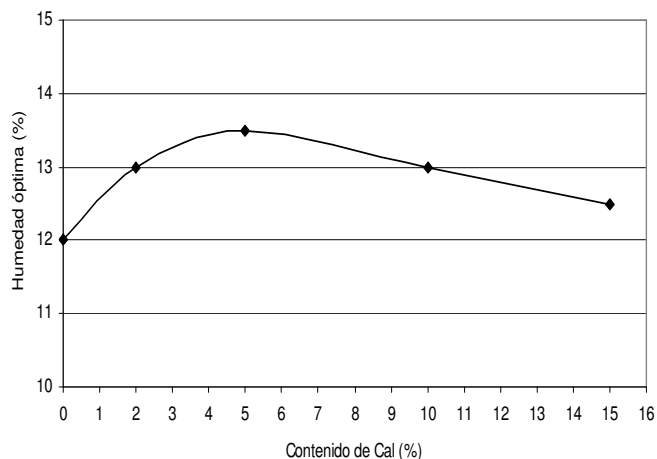


Figura 5 Evolución de la humedad óptima de compactación con el contenido de cal del desagregado basáltico de la Cantera Yucutujá

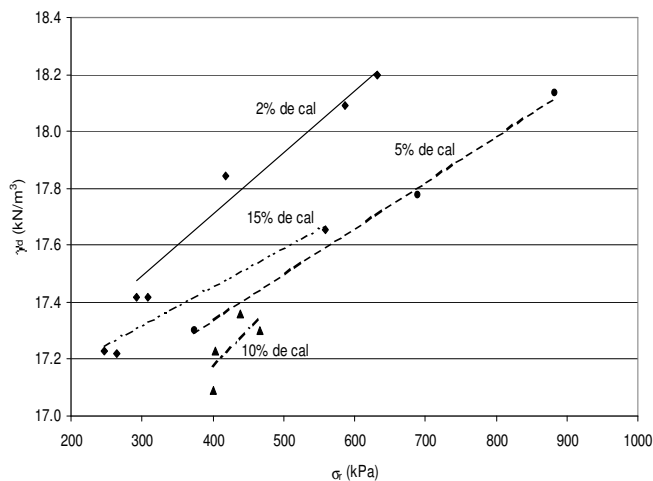
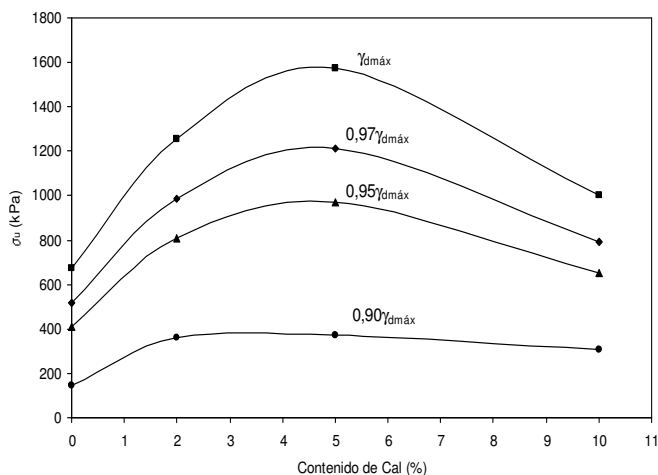


Figura 6 Resistencia máxima a la compresión simple en función del peso específico seco y del contenido de cal del desagregado basáltico de la Cantera Yucutujá. 7 días de curado

La evolución de la resistencia máxima a la compresión simple en función del peso específico seco para diferentes contenidos de cal se indica en la Figura 6; apreciándose una buena correlación lineal para 2% y 5%. Para 10% de cal se nota una dispersión en los resultados, que se debería a la sensibilidad que presentan las reacciones puzolánicas de la cal frente al agua. Teniendo en cuenta que las probetas mejoradas con 10% de cal fueron compactadas con una humedad promedio del 13%, se deduce que esta cantidad de agua no sería suficiente para trabajar sobre toda la cal incorporada, generando una gran heterogeneidad

en el proceso puzolánico e incidiendo en el comportamiento mecánico de la mezcla. La dispersión de los resultados es mayor para 15% de cal, lo que reafirma los conceptos aquí vertidos.

Figura 7 Resistencia máxima inconfiada en función del grado de compactación para diferentes contenidos de cal del desagregado basáltico de la Cantera Yucutujá. 7 días de curado



La Figura 7 muestra los valores de la resistencia máxima en función del contenido de cal para diferentes grados de compactación como factores del peso específico seco máximo. En casi todos los casos, la resistencia crece hasta un 5% de cal, disminuyendo notoriamente para contenidos mayores. Este resultado resalta lo ya indicado para el caso de la Figura 5, mostrando con mayor claridad que existe un contenido de cal óptimo a contenido de humedad constante. La sensibilidad de la resistencia máxima frente al contenido de cal es menor a medida que el grado de compactación disminuye; resultado esperable, dada la dependencia de la resistencia de los suelos frente al grado de compactación. Puede concluirse que el contenido de cal óptimo teórico para mejorar la resistencia del desagregado basáltico, cuando el material se compacta a humedad óptima, se ubicaría en el entorno del 5%, más allá que debería estudiarse la eficiencia de estos contenidos en tramos reales.

5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El análisis de los resultados se realizó a través de la evaluación comparativa entre el comportamiento de pavimentos tradicionalmente construidos en la región de estudio (bases y sub-bases de fracturados basálticos naturales) y los alternativos propuestos, esto es conformados por bases de desagregado basáltico mejoradas con cal

y sub-base de desagregado natural; considerando diferentes espesores estructurales. El comportamiento se evaluó mediante el número de ejes equivalentes de 18 kips (W_{18}), establecido por el Método AASHTO 93 (AASHTO, 1993).

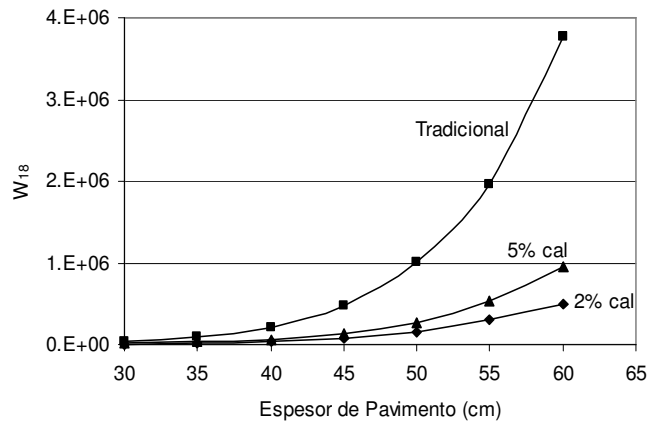


Figura 8 Evolución de W_{18} en función de los espesores totales de pavimentos tradicionales y alternativos con bases de desagregado basáltico mejoradas con 2% y 5% de cal

La Figura 8 muestra los resultados del análisis, mostrándose la evolución de W_{18} en función del espesor total del pavimento para la solución tradicional y para las soluciones con bases mejoradas con 2% y 5% de cal. A igualdad de espesores totales, los pavimentos tradicionales tendrían un mejor comportamiento respecto a aquellos con bases mejoradas. Sin embargo en el análisis se consideró un fracturado basáltico de CBR 80%, lo que es un valor de poder soporte muy alto para un material natural. La estimación del valor del fracturado se debió a que su composición granulométrica muy gruesa hace muy difícil determinar su CBR real. Esto colocó a la solución tradicional con una ventaja inicial muy importante respecto a las alternativas con bases mejoradas.

Además, en la investigación se emplearon las correlaciones entre la resistencia máxima a la compresión simple y el módulo resiliente reportadas para el Estado de Illinois (EE.UU.), lo que significó dos inconvenientes para el análisis. El Método AASHTO 93 no incluye correlaciones para el caso de bases de suelo-cal sino para bases de suelo-cemento, que fueron las adoptadas en el estudio. Intuitivamente los módulos resilientes de suelos mejorados con cemento y con cal no deberían ser iguales, menos aun las correlaciones con la resistencia máxima. Esto de por sí introdujo

en el análisis una incertidumbre importante a los resultados obtenidos.

Por otra parte el propio hecho de que las correlaciones correspondan a materiales locales significa otra cuota de incertidumbre para el análisis, toda vez que las correlaciones para cada material deberán ser diferentes; aunque más no sea por las diferentes historias geológicas y las condiciones intempéricas. Lo lógico sería establecer correlaciones locales de cada material, lo que actualmente en Uruguay no es posible por carecerse de los equipos de ensayo necesarios. La suma de las incertidumbres explicaría, en parte, la escasa evolución del comportamiento determinada para las soluciones con desagregado mejorado con cal.

Las dificultades planteadas no hacen más que reafirmar la necesidad de desarrollar aun más el área de investigación en pavimentación si se quiere afinar en el estudio de técnicas que posibiliten la utilización de los materiales locales, sobretodo en los de bajo volumen de tránsito. La necesaria inversión que ello implicará, se traducirá en un futuro en pavimentos con diseños más ajustados a la realidad local, de mejor comportamiento y más económicos.

Aun con estas consideraciones, un elemental análisis comparativo de costos constructivos entre las soluciones tradicionales y las alternativas propuestas en el programa, indicaría que estas últimas serían más económicas tan sólo si se consideran los costos de transporte de los materiales desagregados y fracturados, suponiendo que aquellos primeros estén localizados próximos a la obra particular.

6 CONCLUSIONES

El peso específico seco máximo del desagregado basáltico sufre una fuerte caída para bajos contenidos de cal, estabilizándose para contenidos altos. La humedad óptima de compactación aumenta hasta un contenido de cal del 5%, disminuyendo sostenidamente para contenidos mayores.

La resistencia máxima inconfínada del desagregado basáltico es linealmente creciente al aumentar el grado de compactación para contenidos de cal del 2% y 5%. Para contenidos de 10% y 15% se produce una dispersión en los resultados debida a que el contenido de humedad de compactación sería insuficiente para completar las reacciones puzolánicas necesarias para mejorar la resistencia.

Para contenidos de humedad óptimos de compactación, la resistencia máxima del

desagregado basáltico crece hasta un 5% de cal, disminuyendo notoriamente a partir ahí, siendo menos sensibles las variaciones a medida que el grado de compactación es menor. El contenido de cal óptimo teórico se ubicaría en el entorno del 5% aunque debería estudiarse la eficiencia de estos contenidos en tramos reales.

El comportamiento de los pavimentos tradicionales sería mejor que el de los pavimentos con bases de desagregado basáltico mejorado con cal, aunque el análisis partió de suponer condiciones ideales de poder soporte de aquéllos. Aun así, las soluciones mejoradas serían más económicas tan sólo si se tiene en cuenta los costos de transporte de los materiales desagregados y fracturados, lo que estaría avalando la posibilidad de uso de la técnica de estabilización con cal en los materiales correspondientes al nivel de alteración residual desagregado basáltico.

Los resultados obtenidos a partir de correlaciones entre la resistencia y el módulo resiliente no verificadas para los materiales locales, no hacen más que reafirmar la necesidad de avanzar en el establecimiento de estas correlaciones en Uruguay. La inversión que ello implicará, se traducirá en mejores y más económicos pavimentos.

REFERENCIAS

- AASHTO (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington D.C.
- Goso, H., Nahoum, B. (1990). "La Utilización de Materiales Basálticos del Noroeste Uruguayo en la Construcción de Carreteras" Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología, 2da. Época, n° 4, p. 49 - 59.
- Lambe, T. W. (1962). *Soil Stabilization* In: Foundation Engineering(4), Editado por G. A. Leonards, Mc Graw - Hill Book Co.
- Lilli, F. J. (1986). *Estabilizado de Suelos (con ligante hidráulico cal)* Ministerio de Transporte y Obras Públicas - Dirección Nacional de Vialidad, CO.CA.P.
- Rico, A., Del Castillo; H. (1993). *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres: Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas* Editorial Limusa, v. 2, p. 493 - 560.
- Rodríguez, R., Michelena, S. (1990). "Suelo-cal, una alternativa para pavimentos económicos" Revista Construir, n° 3, p. 69 - 76.