

Estudios Sobre el Estabilizado de Suelos: Caracterización de Materiales

Resumen: Este trabajo se enmarca dentro del campo de la construcción vial, y se basa en la conformación de un estabilizado granular, como primera etapa del estudio de la incorporación de emulsión asfáltica a un estabilizado grava-cemento. Para ello, se realizó la caracterización de los materiales que componen la mezcla: suelo (S), agregado fino (Af) y agregado grueso (Ag). Luego se procedió a la dosificación (S 8% - Af 40% - Ag 52%). Esta etapa del trabajo, finaliza con la determinación de la humedad óptima de la mezcla, la densidad seca máxima y la caracterización de la capacidad portante de la misma.

Palabras Claves: estabilizado; caracterización; grava-cemento; emulsión.

Abstract: The aim of this study is to set a suitable proportion between the inert materials, which compose a stabilized soil, as the first stage in the survey of bitumen emulsion incorporation to a gravel-cement mixture for pavements bases construction. Therefore, a characterization of these materials - soil (S), fine aggregate (Af) and large aggregate (Ag) - has been made. Having set the proportions (S 8% - Af 40% - Ag 52%), this study concludes with the determination of the optimum moisture content, the maximum dry density and the bearing strength of the soil-aggregate mixture.

Keywords: stabilized, characterization, gravel-cement, emulsion.

María Del H. Rocchetti, María E. Ferreras.

Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI), Facultad Regional Santa Fe, UTN. Lavaise 610, Santa Fe, Argentina (3000) / +54 342 4697728 / +54 342 4602390 Int. 219/249 / <http://cecovi.frsf.utn.edu.ar>

Mail: cecovi@frsf.utn.edu.ar

INTRODUCCIÓN

El objetivo final que persigue la presente investigación es evaluar el comportamiento físico y resistente de un suelo estabilizado grava-cemento y la incorporación progresiva de emulsión asfáltica a la mezcla.

La estabilización de suelos, tiene como objetivo incrementar la resistencia al corte y reducir la permeabilidad para evitar la inestabilidad producida por la presencia de agua. El estabilizado puede llevarse a cabo de forma mecánica, física o química.

El estabilizado granular, es una forma de estabilización física que consiste en conformar una mezcla con distintos materiales que proveen diferentes características. Los agregados pétreos gruesos proporcionan fricción, los agregados pétreos finos trabazón y los suelos finos cohesión.

El suelo cemento es un suelo estabilizado químicamente. El objetivo es incrementar la cohesión y reducir la permeabilidad mediante la cementación. Mediante este tratamiento se logra una alta resistencia mecánica, gran capacidad estructural y durabilidad. Sin embargo, como mencionan Tomaz Raz y Godillo García (1998), es común la aparición de fenómenos de fisuración por fraguado que dan lugar a serios problemas de mantenimiento.

En el caso de estructuras de pavimentos rígidos, es necesaria la incorporación de importantes contenidos de cemento con el fin de generar una capa anti-bombeo, resistente a la degradación por efectos del agua. El dosaje mínimo admisible, según las especificaciones de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV), se encuentra determinado por la pérdida de peso máxima que resulta de los ensayos de durabilidad.

Por otro lado, en el caso de las estructuras de pavimentos flexibles, mediante moderados conte-

nidos de cemento se busca generar una capa resistente para bases o sub-bases con rigidez controlada. La dosificación se realiza en función de ensayos de resistencia a la compresión simple, la cual, no debe superar los 25 kg/cm² a los 7 días para evitar que la capa se comporte como una losa.

Según Tomaz Raz y Gordillo García (1998), las estabilizaciones con ligantes bituminosos presentan una gran flexibilidad y adaptabilidad a todo tipo de condiciones de tráfico y de capacidad soporte de la subrasante. Sus resistencias mecánicas son menores y dependen de las condiciones de temperatura. En determinadas situaciones pueden dar lugar a problemas de deformación plástica, especialmente ante tráficos pesados.

La incorporación de proporciones controladas de productos bituminosos podría traer aparejada sensibles mejoras en el comportamiento tanto físico como resistente de las mezclas grava-cemento. Mediante la incorporación de asfalto a las mezclas grava-cemento, podría obtenerse una disminución de los procesos retractivos, así como un incremento en la resistencia ante la agresión del agua. Adicionalmente, podría implicar incrementos en la resistencia mecánica.

En su trabajo, Baghini et al.(2015) se expone que en diversos estudios, se reconoce que la incorporación de cemento a suelos estabilizados con emulsión asfáltica, mejora ciertas características de la mezcla como la adherencia con los agregados, la susceptibilidad térmica, y la resistencia a la abrasión, entre otras, para su aplicación en la estructura de pavimentos. Aun así, el tipo de emulsión asfáltica a utilizar, la compatibilidad con el cemento y la dosificación deben ser cuidadosamente estudiados.

Actualmente se encuentra en desarrollo, lo que

podría llamarse la etapa inicial del proyecto. Este consiste principalmente en la conformación de una mezcla granular. Para ello, primeramente es necesario caracterizar los materiales que componen la mezcla, dosificarla y evaluar las características de la misma.

Para la realización de esta etapa del proyecto se tomaron como referencia las normas de ensayo y las exigencias impuestas por la DNV, ya que el fin último de la investigación es realizar un aporte a la construcción de capas estructurales de caminos.

DESARROLLO

Como se observa en la Figura 1, el proyecto global consta de distintas etapas. Actualmente, se encuentra en desarrollo la primera de ellas.

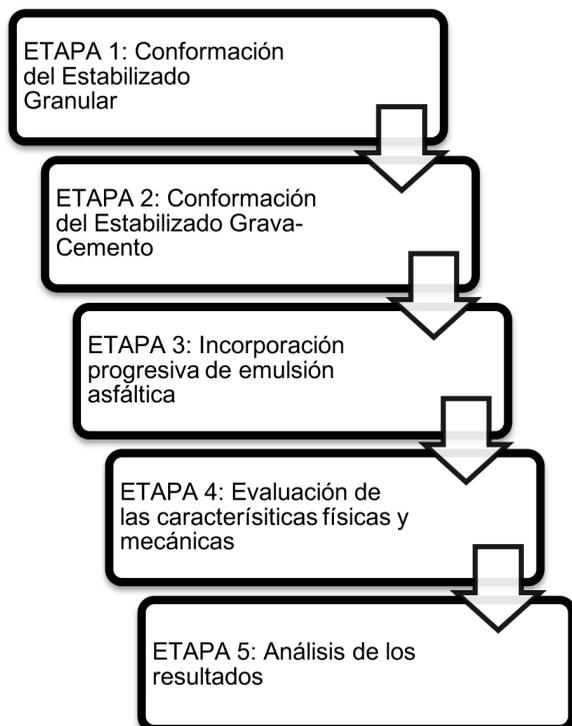


Fig. 1: Etapas del proyecto.

Para la conformación del estabilizado granular, se identificaron y caracterizaron los materiales de partida: suelo, agregados pétreos finos y agregados pétreos gruesos. A continuación, se dosificaron las proporciones de los materiales componentes de la mezcla granular según los criterios establecidos en las especificaciones técnicas de la DNV, para el caso de bases, a partir de la granulometría, la consistencia y la capacidad portante en términos del Valor Soporte Relativo (VSR).

Obtención de los materiales

Para la conformación de la mezcla se utilizó suelo seleccionado proveniente de zonas aledañas a la Ciudad de Santa Fe; además, piedra granítica partida de una cantera localizada en San Agustín (Córdoba), de dos tamaños distintos, 0-6 y 6-19. En la Figura 2 se observan imágenes de cada uno de estos materiales.

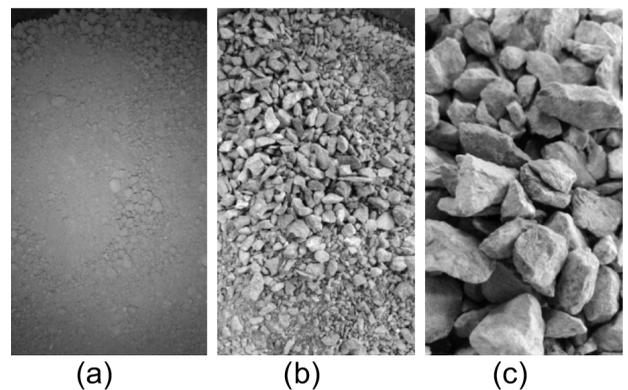


Fig. 2: (a) suelo seleccionado, (b) agregado pétreo 0-6 y (c) agregado pétreo 6-19.

Con intenciones de obtener muestras representativas para los ensayos de caracterización de los materiales, se dispuso de cantidades que se listan a continuación:

Aproximadamente 800 kg de suelo, almacenado en bolsas de alrededor de 25 kg cada una, en el interior de las instalaciones de la FRSF-UTN.

1 m³ de agregado fino (piedra granítica 0-6), almacenado en pilas al descubierto, en las instalaciones de la FRSF-UTN.

1 m³ de agregado grueso (piedra granítica 6-19), almacenado en pilas al descubierto, en las instalaciones de la FRSF-UTN.

Caracterización de los materiales

En el caso del suelo, los parámetros a evaluar se pueden resumir en granulometría (según Norma de Ensayo VN E1-65), Límite Líquido (según Norma de Ensayo VN E2-65) e Índice Plástico (según Norma de Ensayo VN E3-65). Luego, se procedió a la clasificación del mismo de acuerdo al criterio HRB (por las siglas en inglés de Highway Research Board definidas en la Norma de Ensayo VN E4-84). Con fines ilustrativos, en la Figura 3 se observa el aparato de Casagrande utilizado para la determinación del límite líquido y una de las muestras con las que se obtuvo el límite plástico.

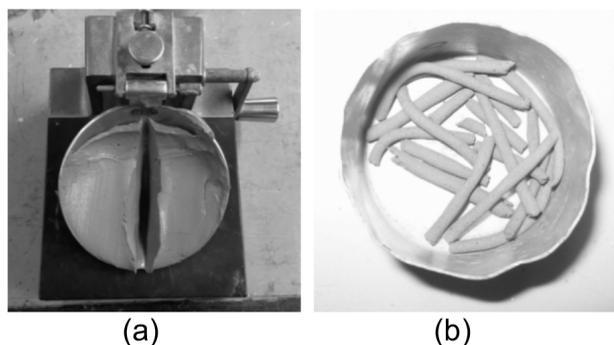


Fig. 3: (a) Límite líquido y (b) límite plástico.

Por otro lado, se determinó la granulometría de los agregados pétreos (según Norma de Ensayo VN E7-65); y visualmente se evaluaron otras propiedades como la forma, la presencia de lascas y agujas y la cantidad de

polvo adherido. En la Figura 4 se observan los juegos de tamices utilizados para los distintos agregados. En cuanto a la fracción fina, es importante destacar, que se garantizó que su origen sea el mismo que el del agregado grueso, para cumplir con los mismos requisitos exigidos de este último.



Fig. 4: A la izquierda se observa el juego de tamices utilizado para el agregado fino y a la derecha el utilizado para el agregado grueso.

En todos los casos, tanto para la caracterización de los materiales como para los ensayos posteriores, se debió prestar especial atención en la forma de extracción de las muestras. La misma se realizó en función a la Norma IRAM 1509:1987.

Como el material se encontraba depositado formando una pila, de ella se extrajeron muestras del tercio superior, del tercio medio y del tercio inferior. En el agregado fino, se observó cierto grado de segregación por lo que se retiró el material de la capa exterior (aproximadamente 30 cm). La cantidad de material a extraer en cada caso depende del objetivo perseguido, así como del tamaño máximo nominal del mismo. Las muestras de ensayo se prepararon reduciendo la muestra compuesta mediante el Partidor de Jones (Figura 5).



Fig. 5: Partidor de Jones.

Dosificación

El objetivo se centra en conformar suelos tipo A1-a mediante la optimización de la curva granulométrica. De acuerdo a lo establecido en el Pliego de la Dirección Nacional de Vialidad (1998) C.II. Base o Sub-base de agregado pétreo y suelo, el material destinado a la formación de la base o sub-base deberá responder a las condiciones de granulometría, plasticidad, valor soporte y contenido de sales que se indican en la especificación particular. En la Tabla 1 y la Figura 6, se presentan los requisitos que debe cumplir la mezcla.

Tamiz	BASE (% Pasante)	
	Pedregullo de roca o grava	
[mm]	Límite superior	Límite inferior
38	100	100
25	100	70
19	90	60
9,5	75	45
4,8	60	30
2	50	20
0,420	30	10
0,074	10	3
LL	<	25
IP	<	4
VS	>	80
Sales Totales	<	1,5
Sulfatos	<	0,5

Tabla 1. Requisitos según la DNV para el pedregullo de roca o grava.

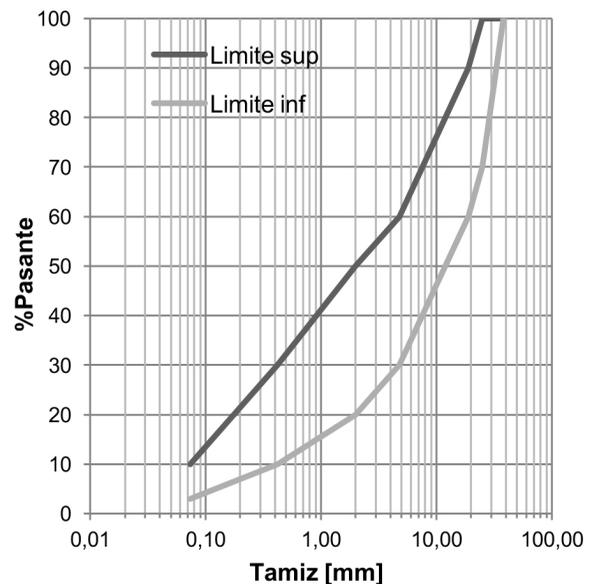


Fig. 6: Curva granulométrica para base de pedregullo de roca o grava.

Determinación de la densidad máxima seca y de la capacidad portante

Se realizó el ensayo de compactación de suelos según la Norma VN E5-93, con el fin de determinar la humedad óptima para la cual, mediante una energía de compactación estipulada, se obtiene la densidad seca máxima.

La realización de este ensayo presentó ciertas dificultades, debido a la importante presencia de material granular. El mayor inconveniente se produjo al momento de enrasar. De acuerdo a la norma de referencia, los huecos que quedan al ser arrancadas las piedras emergentes, deben ser rellenados con material fino y compactado con una espátula rígida. Al realizar lo descripto, los resultados obtenidos presentaban un comportamiento que se alejaba del previsto para el tipo de suelo. Se supuso que el movimiento de la espátula, además de compactar el suelo fino producía cierto reacomodamiento de las partículas especialmente notorio en los puntos que se encontraban del lado húmedo de la curva.

Por la situación expuesta anteriormente, se modificó la metodología de enrase, procediendo de la siguiente manera: se sacaron las piedras salientes, se pesó cada una de ellas y se ponderó visualmente el volumen de las mismas que se encontraba en el interior del cilindro, como se aprecia en la Figura 7. En este punto es importante indicar que, al considerar el peso del suelo húmedo en el interior de la probeta, se debe tener en cuenta el peso de las piedras extraídas y su respectiva ponderación, es decir, Suelo húmedo + % Interior de Piedras Húmedas. Esta modificación tiene influencia en la determinación del peso específico aparente húmedo y del peso específico aparente seco, de la forma que se indica en las Ecuaciones 1 y 2, pero no en la determinación de la humedad.

$$\frac{\text{Peso específico aparente húmedo}}{\text{Peso del Suelo húmedo}} = \frac{\text{Volumen del cilindro}}{\text{Volumen del cilindro}} \quad (1)$$

$$\frac{\text{Peso específico aparente seco}}{100 + \% \text{ Humedad}} = \frac{100 \times \text{Peso específico aparente húmedo}}{100 + \% \text{ Humedad}} \quad (2)$$

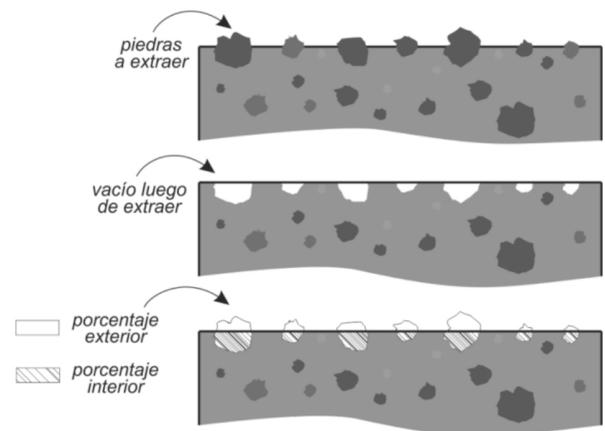


Fig. 7: Esquema de la metodología de enrase.

El ensayo se realizó según el Método V indicado en la Norma VN E5-93, con el molde de ensayo grande y elevada energía de compactación. Las características principales son las siguientes: diámetro del molde, 152,4 mm; peso del pisón, 4,53 kg; altura de caída, 45,7 cm; número de capas, 5; número de golpes por capa, 56.

El material retenido en el tamiz IRAM 19 mm (aproximadamente un 12%) fue compensado con material pasante por este mismo y retenido en el tamiz IRAM 4,75 mm, siguiendo la granulometría del material a ensayar.

La capacidad portante de un suelo no ligado se cuantifica mediante el VSR. Actualmente se encuentra en proceso la realización del ensayo de determinación del VSR e hinchamiento según la Norma de Ensayo VN E6-84.



Fig. 8: Ensayo del VSR.

El ensayo debe realizarse según el Método Dinámico N°1 (Simplificado) de la Norma VN E5-93. Para la ejecución del mismo, se moldean 2 probetas al 100% de la densidad máxima seca obtenida en el ensayo de compactación, mediante 5 capas con 56 golpes por capa, y luego de cuatro días de inmersión se realiza el ensayo mediante la penetración del pistón. Por las características de la mezcla se espera un valor de hinchamiento despreciable. En la Figura 8, del lado izquierdo se observa una probeta sumergida en un recipiente con el extensómetro para el control del hinchamiento y luego, en el lado derecho, la misma probeta en la prensa antes de ser evaluada su resistencia al corte mediante la penetración del pistón normalizado.

RESULTADOS

Clasificación HRB del suelo

La clasificación del suelo se realizó en función de la granulometría y los límites de consistencia. Se

presenta a continuación el resumen de resultados en la Tabla 2.

GRANULOMETRÍA			
%Pasante			
#200	#40	#10	#4
72,5	99,8	100,0	100,0
LÍMITES			
LL	LP	IP	
33	21	13	
HRB			
GRUPO		IG	
A6		8	

Tabla 2. Resultados de la clasificación del suelo.

Granulometría de los agregados

Las curvas granulométricas de los agregados resultaron compatibles con las denominaciones comerciales solicitadas. Las series de tamices elegidas en cada caso, se adoptaron en función a las especificaciones del DNV.

Para el agregado grueso se utilizaron los tamices IRAM: 25 mm, 19 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, mientras que para el agregado fino se utilizaron los tamices IRAM: 9,5 mm, 4,75 mm, 2 mm, 420 µm, 75 µm.

En la Figura 9 y la Figura 10 se observan las gráficas de las curvas granulométricas.

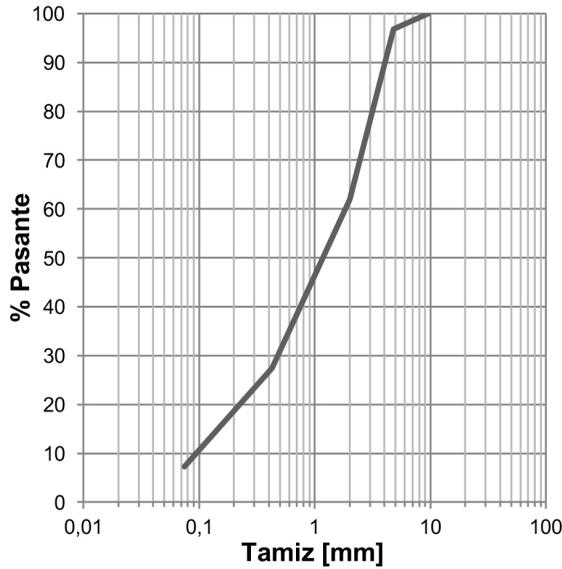


Fig. 9: Curva Granulométrica Piedra 0-6.

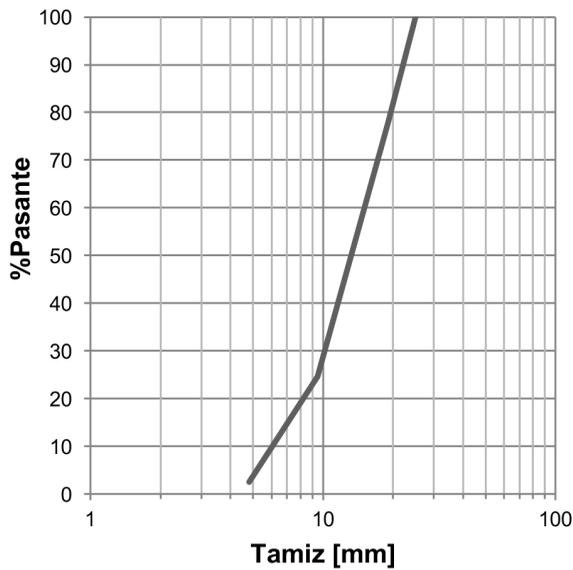


Fig. 10: Curva Granulométrica Piedra 6-19.

Construcción de la curva granulométrica

El estabilizado granular se conformó mediante un 52% de piedra 6-19, un 40% de piedra 0-6 y un 8% de suelo. En la Figura 11, se observa la gráfica de la curva granulométrica junto con los entornos superiores e inferiores especificados por DNV.

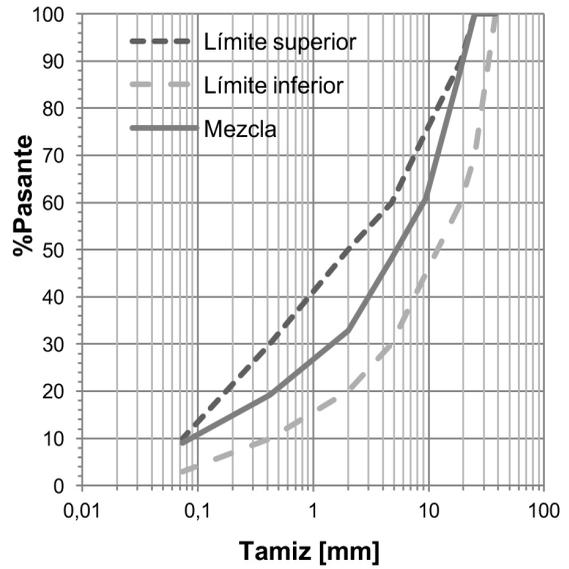


Fig. 11: Curva Granulométrica de la mezcla, con entorno superior e inferior.

Densidad seca máxima y humedad óptima

La humedad óptima de la mezcla fue del 4,5%, para la cual se obtuvo una densidad seca máxima de 2,36 g/cm³. En la Figura 12 se observa la gráfica de la curva Humedad vs. Densidad Seca Máxima, con la cual se obtuvieron los valores mencionados.

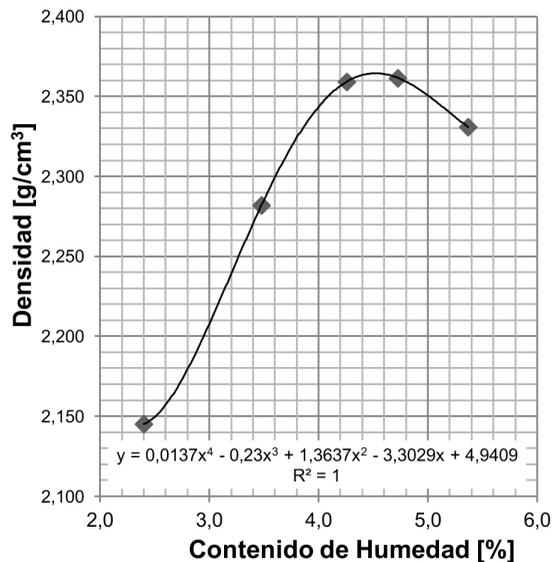


Fig. 12: Curva Humedad vs. Densidad Seca Máxima.

DISCUSIÓN

De acuerdo a la clasificación HRB, el suelo con el que se trabajó es un A-6 (8) compuesto por arcillas con moderada o despreciable cantidad de material grueso. Son suelos muy comunes, sobre todo en las zonas cercanas a la ciudad de Santa Fe. En estado plástico, con variada consistencia, absorben agua solo cuando son manipulados. Presentan grandes cambios volumétricos al variar la humedad y bajo valor soporte al humedecerse. Normalmente para suelos estabilizados con cemento se requiere un Índice Plástico menor a 10, motivo por el cual, los suelos que presentan valores mayores suelen tratarse con cal. Además, los requerimientos para la dosificación establecen una pérdida en peso en el ensayo de durabilidad menor al 7%, mientras que para un suelo A1, por ejemplo, el porcentaje es del 14%. Esto significa que, para el suelo A6, se necesitan porcentajes más altos de cemento.

En función del análisis granulométrico de los distintos materiales y de los parámetros establecidos por DNV, se llegó a la dosificación de la mezcla, la cual posee un elevado porcentaje de material granular en contraposición con la cantidad de suelo cohesivo, que tan solo representa un 8% de la mezcla. Esto se traduce en que la incidencia de las propiedades del suelo en el comportamiento de la mezcla será escasa.

En cuanto a la humedad óptima y la densidad seca máxima, a pesar de que surgieron problemas en el

proceso de la determinación, los valores finales fueron los esperables para el tipo de mezcla.

Una vez determinado el valor soporte relativo de la mezcla quedaría concluida la etapa de la conformación del estabilizado granular.

CONCLUSIONES

La conformación del estabilizado granular, solo representa la primera etapa del proyecto y su importancia reside en que es la base para la conformación del patrón con el que, en el futuro, se evaluarán la propiedades de la incorporación de emulsión asfáltica al estabilizado grava-cemento.

En cuanto al trabajo de laboratorio, es importante recalcar el gran volumen de materiales necesario para realizar los ensayos, el cual trajo aparejadas complicaciones en el manipuleo considerando que se trata de un laboratorio universitario. A su vez, algunas prácticas recomendadas en las normativas no fueron adecuadas para este caso, por lo que fue necesario establecer las propias para arribar a resultados aceptables.

AGRADECIMIENTOS

A Gonzalo Ciorciari, becario del CECovi, por su gran aporte durante el desarrollo de los ensayos de laboratorio llevados a cabo en el marco de este proyecto.

REFERENCIAS

- Dirección Nacional de Vialidad (1º Distrito Buenos Aires). Norma de ensayo VN-E1-65. Tamizado de suelos por vía húmeda. 4-5.*
- Dirección Nacional de Vialidad (1º Distrito Buenos Aires). Norma de ensayo VN-E2-65. Límite Líquido. 6-11.*
- Dirección Nacional de Vialidad (1º Distrito Buenos Aires). Norma de ensayo VN-E3-65. Límite plástico, índice de plasticidad. 12-14.*
- Dirección Nacional de Vialidad (1º Distrito Buenos Aires). Norma de ensayo VN-E7-65. Análisis mecánico de materiales granulares. 56-63.*
- Dirección Nacional de Vialidad (1º Distrito Buenos Aires). Norma de ensayo VN-E4-84. Clasificación de suelos. 15-23.*
- Dirección Nacional de Vialidad (1º Distrito Buenos Aires). Norma de ensayo VN-E6-84. Determinación del valor soporte e hinchamiento de suelos. 33-55.*
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación, IRAM 1509 (1987). Agregados para hormigones. Muestreo.*
- Dirección Nacional de Vialidad (1º Distrito Buenos Aires). Norma de ensayo VN-E5-93. Compactación de suelos. 24-32.*
- Dirección Nacional de Vialidad (1998). Pliego de Especificaciones Técnicas generales de la DNV.*
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación, IRam 1505 (2005). Análisis granulométrico. Agregados.*
- TomazRaz, R. y Gordillo Gracia, J., "Características mecánicas de las mezclas grava cemento emulsión. Influencia y composición". IV Congreso Nacional de Firmes, Reciclado de Firmes, 501-510, Junta de Castilla y Leon. Consejería de Fomento, Segovia, (1998).*
- Baghini M., Ismail A. and Bin Karim M., "Evaluation of cement-treated mixtures with slow setting bitumen emulsion as base course material for road pavements. Construction and Building Materials", 94, 323-336, (2015).*