

Uso de material granular reciclado provenientes de residuos de construcción y demolición (RCD) en bases y subbases para pavimento flexibles

Santiago Ocaranza¹; Ricardo M. Sánchez² y Hugo D. Anaya³

(1) *Laboratorio de Ensayo de Materiales. Facultad de ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán*
Santiago@hotmail.com

(2) *Laboratorio de Ensayo de Materiales. Facultad de ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán*
ricardo@hotmail.com

(3) *Departamento de Construcciones y Obras Civiles. Laboratorio de Ensayo de Materiales. Facultad de ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán*
danaya@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

Toda obra de ingeniería provoca un gran impacto en el medio ambiente en diferentes sentidos. La creciente exigencia de materias primas destinadas a la industria de la ingeniería y las posibilidades cada vez menores de disponibilidad de recursos naturales provocó, a nivel mundial, una progresiva concientización orientada hacia un retorno a la ingeniería sustentable.

En los últimos tiempos, la identificación de problemas ambientales originados por los depósitos de residuos de construcción y demolición (RCD) ha llevado a proponer el uso de estos como agregados artificiales, no sólo para la elaboración de nuevos hormigones, sino también como materiales constitutivos de bases y sub-bases de carreteras.

Entonces, surgió la necesidad de estudiar el comportamiento de estos residuos y demostrar que pueden presentar propiedades y características físicas adecuadas para ser utilizados como materiales en la construcción de obras viales.

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados obtenidos con el reemplazo de material granular del 20, 50, 75 y 100% por áridos provenientes de los RCD para la construcción de bases y sub-bases de pavimentos flexible, obteniendo resultados satisfactorios, y uso contribuirá a la reducción del impacto ambiental producido por las obras viales, evitando además el agotamiento de materias primas de origen natural

INTRODUCCIÓN

La construcción a nivel mundial, actividad que colabora en el crecimiento y en el desarrollo socioeconómico siempre se mantuvo en constante crecimiento al igual que la generación de sus residuos y la explotación de recursos naturales.

En la sociedad actual, la conciliación entre el desarrollo económico y el respeto al medio ambiente deben ser considerados a la hora de emprender, planificar, ejecutar y mantener una actuación o actividad. Es por eso que la correcta gestión de los residuos sólidos de la construcción y demolición (RCD) constituye una parte muy importante de la construcción sostenible, y lo que

se pretende es minimizar los costos ecológicos que suponen tanto la extracción de recursos minerales como el vertido incontrolado de los residuos. El reciclaje y la reutilización de sus productos es una solución para disminuir el impacto ambiental (López Gayarre 2008).

Mientras que en Argentina es prácticamente desconocido e ignorado este tema, en muchos países, sobre todos en los denominados del Primer Mundo, ya existen políticas y normativas regulatorias para el tratado de los RCD.

En países como Dinamarca, Países Bajos o Bélgica, donde empiezan a escasear los áridos naturales y los lugares para el vertido de los residuos, llegan a reciclar valores superiores al

75% de los RCD; en tanto que en países como Reino Unido o Austria, si bien siguen esta tendencia, solamente llegan a reciclar hasta el 40% de los mismos. En el resto de los países que conforman la Unión Europea, los valores de reciclado rondan el orden del 15% de los RCD (Asenjo 2008)

El problema de los residuos se agrava en países en desarrollo, donde todavía no se ha tomado conciencia suficiente acerca de la necesidad de preservar los recursos y cuidar el medio ambiente a través de la reducción, reutilización y reciclaje de residuos (Araujo, Rosa Soler 2011).

Los pavimentos están soportados por capas de material granular y mezclas adecuadas de materiales gruesos y finos, formando capas que transfieren las cargas del tránsito desde la superficie de rodamiento a los materiales subyacentes de soporte, a través del contacto de los agregados por el efecto friccionante de los materiales granulares y la cohesión de los materiales finos.

Cada una de estas capas, bases y subbases, tienen funciones, características diferentes cumpliendo con especificaciones y normativas para su construcción y éstas conforman los componentes estructurales de un pavimento.

Los requisitos de los materiales usados para su construcción se suelen especificar en términos de su granulometría, características plásticas y resistencia del conjunto de cada capa

OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo consiste en estudiar las posibilidades de utilización de áridos reciclados provenientes de los residuos de construcción y demolición (RCD) como materiales constitutivos de bases y sub-bases de pavimentos.

Para ello es necesario estudiar los siguientes aspectos:

- Determinación de las características físicas y mecánicas de áridos naturales que cumplan con las especificaciones exigidas a materiales para bases y sub-bases (muestra patrón).
- Determinación de las características físicas y mecánicas de materiales reciclados provenientes de RCD y análisis de aptitud como materiales granulares para bases y sub-bases.
- Determinación de las características físicas y mecánicas de mezclas con distintos porcentajes de reemplazo de áridos reciclados de RCD. En donde se explicará más adelante lo referido a reemplazo de árido reciclado
- Comparación de los resultados de los ensayos de control en mezclas con reemplazo de áridos reciclados con los obtenidos en la muestra patrón.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para la realización de este trabajo se elaboró una Muestra Patrón (MP) que cumpliera con las normativas vigentes de Vialidad Nacional, para su utilización en la construcción de calles.

Luego se fue reemplazando gradualmente, en esta MP, el material granular de tamaño superior al tamiz #4 en un 20, 50, 75 y 100%, por agregado triturado proveniente de hormigón reciclado; el cual fue obtenido de los desechos generados por la repavimentación de una calle de la ciudad de San Miguel de Tucumán.

DESARROLLO DEL TEMA

El Pavimento es una superficie de rodamiento para los distintos tipos de vehículos, formado por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Entre los materiales utilizados en la pavimentación urbana, industrial o vial están los suelos con mayor capacidad de soporte, los materiales rocosos, el hormigón y las mezclas asfálticas.

Los pavimentos pueden ser clasificados en dos tipos según su comportamiento ante la aplicación de cargas:

- Pavimentos Flexibles
- Pavimentos Rígidos

Para los pavimentos flexibles, en general, este tipo de estructura consiste en una superficie bituminosa soportada por una capa de material granular y una mezcla adecuada de materiales gruesos y finos, como se muestra en la figura 1.

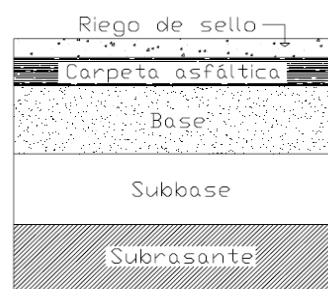


Figura 1 - Estructura de un Pavimento Flexible

Donde la subrasante es de material natural ubicado a lo largo del alineamiento horizontal del pavimento, y sirve como cimiento de la estructura del pavimento. La sub-base: inmediatamente por encima de la subrasante, se ubica el componente "sub-base", que consiste en material de una calidad superior a la que generalmente se usa en

la construcción de la subrasante. Los requisitos para materiales de sub-base se suelen especificar en términos de: granulometría, características plásticas y resistencia.

La base está ubicada encima de la sub-base y consiste en materiales granulares que deben cumplir con requisitos estrictos en comparación con los de la sub-base; en especial en lo concerniente a su plasticidad, granulometría y resistencia.

El material de la sub-base y de la base debe ser seleccionado y debe tener mayor capacidad que el terreno de fundación compactado. Puede ser arena, grava o granzón, escoria de los altos hornos y residuos de material de cantera.

Las capas y los materiales que la componen deben cumplir ciertos requerimientos asignados en los *Pliegos de Especificaciones* establecidos por el organismo al que le corresponda la jurisdicción del camino. Para el presente trabajo se siguieron los pliegos de especificaciones de la Dirección Nacional de Vialidad

realizar en las siguientes fases:

- Análisis y exigencia de la fracción gruesa (agregado pétreo)
- Análisis y exigencia de la fracción fina de la mezcla
- Análisis de la curva granulométrica.

Para la fracción gruesa se evalúa la resistencia al desgaste mediante el ensayo de Desgaste de los Ángeles. La forma y rugosidad del agregados, si las partículas redondeadas o angulosas donde se involucra la menor o mayor adherencia con el suelo fino. Peso específico y el tamaño del agregado.

En la fracción fina se evalúa la cohesión y plasticidad de los suelos, a través de su límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad (límites de Atterberg).

La curva granulométrica que deben cumplir cada unas de las capas siguen las especificaciones técnicas de la Dirección Nacional de Vialidad para bases y sub-bases según se indica en la tabla 1.

Calidad de los materiales a emplearse en bases y sub-bases

El análisis de calidad de materiales se puede

Tabla 1. Especificaciones técnicas para bases y sub bases DNV

Tamices IRAM	Porcentajes que pasan			
	Sub-Base	Base		
		Grava Natural	Mezcla de Pedregullo y Grava	Pedregullo de Roca y Grava
51 mm (2")	100	---	---	---
38 mm (1/2")	90-100	100	100	100
25 mm (1")	---	70-90	70-100	70-100
19 mm (3/4")	---	60-90	60-90	60-90
9,5 mm (3/8")	45-70	45-75	45-75	45-75
4,8 mm (N°4)	---	35-60	35-60	30-60
2 mm (N°10)	30-55	25-50	25-50	20-50
420 u (N°40)	---	15-30	15-30	10-30
74 u (N°200)	2-20	3-10	3-10	3-10
Lim. Líquido %	< 25	< 25	< 25	< 25
Índice Plástico %	< 6	< 4	< 4	< 4
Valor Soporte %	> 40	> 80	> 80	> 80
Sales Totales %	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5
Sulfatos %	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Desgaste %	< 40	< 35	< 35	< 35

Ensayo Granulométrico

Sirve para establecer la distribución porcentual de las partículas que componen un material granular, que se usara en la construcción de terraplenes, bases o sub-bases, en función de su tamaño y dibujar la curva representativa del mismo.

subbase y permiten clasificar los suelos, según la Highway Research Board (HRB) para las obras de ingeniería viales.

En la figura 3 y 4 se muestran los aparatos usados para determinar estos límites y en el gráfico n1 la determinación del límite líquido

Ensayos de plasticidad (Límites de Atterberg)

En los ensayos de plasticidad están involucrados el Límite líquido (LL), el límite plástico (LP) y el índice de plasticidad (IP), ellos caracterizan el suelo con que se realizan las capas de base y



Figura 3. Aparatos para la determinación del límite líquido 1. Laboratorio de Materiales Viales



Gráfico 1. Determinación del Límite Líquido



Figura 4. Aparatos para la determinación del límite líquido 2. Laboratorio de Materiales Viales.

Índice de plasticidad

El índice de plasticidad de un suelo es la diferencia numérica entre los valores del límite líquido y el límite plástico de un mismo suelo.

$$IP = LL - LP$$

Clasificación de Suelos

El sistema de clasificación de suelos del H.R.B, tabla 2, para obras de ingeniería, está basado en el comportamiento de los suelos utilizados en obras viales.

Tabla 2. Clasificación general de suelos según H.R.B.

CLASIFICACIÓN GENERAL	SUELOS GRANULARES Pasa tamiz IRAM 75 Micrones (N° 200) hasta el 35 %			SUELOS ARCILLO-LIMOSOS Pasa tamiz IRAM 75 Micrones (N° 200) más del 35 %			
	A-1	A-3 ⁽¹⁾	A-2	A-4	A-5	A-6	A-7
Ensayo de tamizado por vía húmeda. Porcentaje que pasa por:							
Tamiz IRAM de 2 mm. (N° 10)	-	-	-	-	-	-	-
Tamiz IRAM 425 micrones (N° 40)	Máx. 50	Mín. 51	-	-	-	-	-
Tamiz IRAM 75 micrones (N° 200)	Máx. 25	Máx. 10	Máx. 35	Mín. 36	Mín. 36	Mín. 36	Mín. 36
Características de la fracción que pasa el tamiz IRAM 425 micrones (N° 40):							
Límite Líquido (LL)				Máx. 40	Mín. 41	Máx. 40	Mín. 41
Índice Plástico (IP)	Máx. 6	Sin plast.	-	Máx. 10	Máx. 10	-	Mín. 11
COMPORTAMIENTO COMO SUBRASANTE	Excelente a bueno			Regular a pobre			

Ensayo de compactación de suelos

Permite establecer la Humedad óptima con la que se obtiene el mayor valor del peso unitario, llamado densidad seca máxima.



Figura 5. Ensayo de compactación. Molde reglamentario

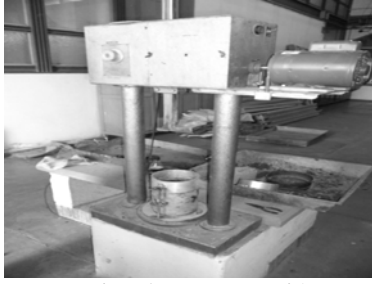


Figura 6. Máquina de compactación automática de la FACET

Ensayo de valor soporte

Valor Soporte Relativo (V.S.R.) de un suelo es la resistencia que ofrece al punzado una probeta del mismo, moldeada bajo ciertas condiciones de densificación y humedad, y ensayada bajo condiciones preestablecidas. Se la expresa como porcentaje respecto de la resistencia de un suelo tipo tomado como patrón.

MATERIALES UTILIZADOS

Agregados Naturales

Se utilizó un material natural, cedido por una empresa del medio local, que utiliza en la construcción de calles.

RESIDUO (RCD)

El residuo utilizado proviene de la demolición de un hormigón de la repavimentación de la calle Jujuy, altura 1200, de San Miguel de Tucumán, figura 7. y posteriormente, en las instalaciones del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la FACET, se volvió a triturar con un martillo, figura 8, y finalmente en una máquina trituradora de mandíbula, figura 9.



Figura 7. Residuos de repavimentación. Calle Jujuy altura 1200. S. M. de Tucumán



Figura 8. Triturado de Bloques de Hormigón con Martillo DeWalt de 30 kg.

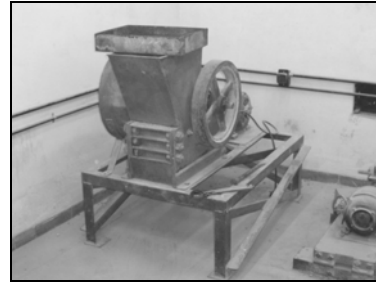


Figura 9. Máquina Trituradora. Lab. De Ensayos de Materiales, FACET.

Composición de las mezclas

Para la realización de este trabajo fue necesario crear una muestra patrón (MP) que cumpliera con las normativas vigentes de Vialidad Nacional.

Luego se fue reemplazando gradualmente, en la MP, el material granular de tamaño superior al tamiz #4 en un 20, 50, 75 y 100%, por agregado triturado proveniente de hormigón reciclado.

La granulometría de la muestra patrón, en base a los materiales disponibles, se adoptó una curva granulométrica que respete los límites establecidos por Vialidad Nacional, como se muestran en la tabla 3, gráfico 2.

Para conformar esta curva, fue necesario tamizar y almacenar en bolsas según cada fracción.

Tabla 3. Curva Granulométrica Adoptada

Tamices	% que Pasan
IRAM	
51 mm (2")	100
38 mm (1 1/2")	100
25 mm (1")	85
19 mm (3/4")	70
12,7mm (1/2")	60
9,5 mm (3/8")	50
4,8 mm (N°4)	40
2 mm (N°10)	33,6
420 u (N°40)	21,1
74 u (N°200)	10

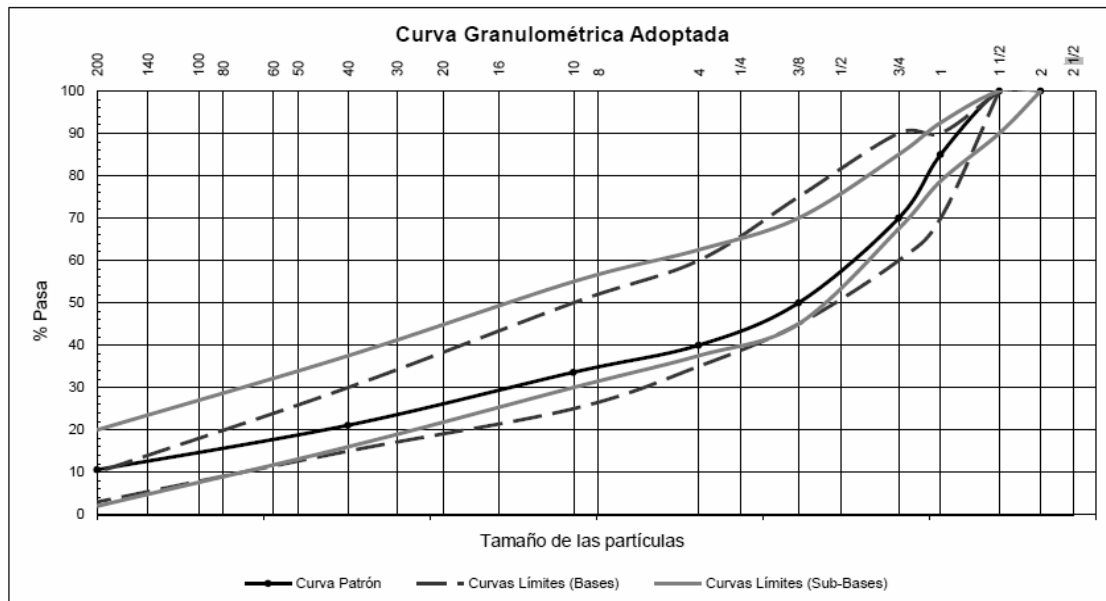


Gráfico 2. Curva granulométrica adoptada

Característica plástica

Se determinaron el límite líquido de la MP, gráfico 3.

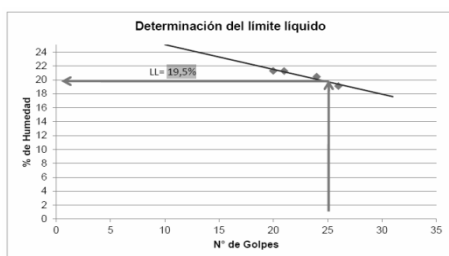


Gráfico 3. Determinación del límite líquido

LL = 19,5%

Luego el límite plástico LP:

LP = 16,30

Índice de Plasticidad (IP)

IP = LL - LP = 19,5 - 16,30 = 3,20

Con estos parámetros y la granulometría la muestra se pudo clasificar, según la clasificación de la HRB, como un suelo del grupo A-1, es decir, que es un suelo bien graduado, con un ligante no plástico o débilmente plástico; los suelos pertenecientes a este grupo suelen ser muy estables bajo la acción de las cargas transmitidas por las ruedas, independientemente de su contenido de humedad.

Est suelo puede usarse satisfactoriamente como bases para delgadas carpetas bituminosas. Los suelos de este grupo son adecuados para

superficies granulares de rodamiento.

Resistencia al desgaste

Se determinó la resistencia al desgaste para los casos límite, es decir, para la MP, que contiene en el 100% de los agregados naturales, y para una muestra conteniendo el 100% de hormigón triturado de reemplazo, obteniendo los siguientes resultados:

- % desgaste MP = 18%
- % desgaste Muestra 100% RCD de reemplazo = 30%

Resultados de los ensayos de Compactación y Valor Soporte

Una vez determinadas las características de las muestras, y verificado que cumplan con las especificaciones de la D.N.V., se hicieron los ensayos de compactación y valor soporte.

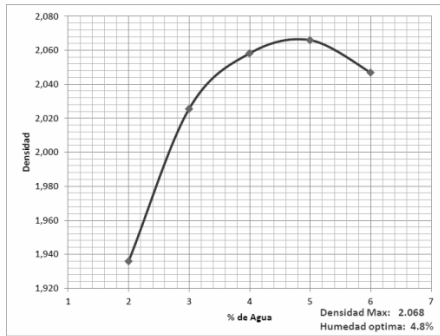
Se fue sustituyendo la cantidad de agregado natural retenido en el tamiz N° 4 por hormigón triturado, obteniendo los siguientes resultados:

Mezcla 1 (MP): 100% agregado natural - 0% RCD

A continuación, en la tabla 4 y en el gráfico 4 se dan los resultados de los ensayos de resistencia realizados a la muestra patrón MP y el gráfico 5 el resultado de ensayo de penetración y del valor soporte (gráfico 6) de esta muestra patrón.

Tabla 4. Ensayo de compactación (mezcla Patrón)

Humedad %	Peso del suelo + molde	Peso del molde	Peso del suelo húmedo	Vol. del molde	Densidad	
					Húmeda	Seca
2	7265	3075	4190	2122	1,975	1,936
3	7502	3075	4427	2122	2,086	2,025
4	7617	3075	4542	2122	2,140	2,058
5	7678	3075	4603	2122	2,169	2,066
6	7679	3075	4604	2122	2,170	2,047



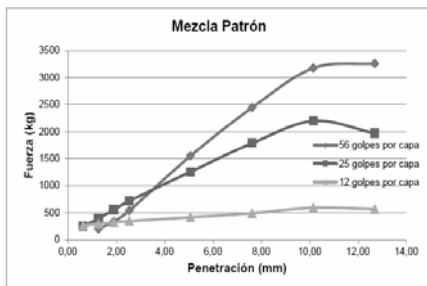
Gráf. 4. Resultado ensayo de compactación (MP)

Mezcla 5: 0% agregado natural – 100% RCD

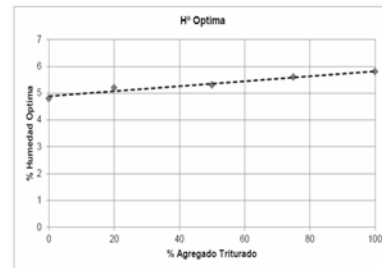
Análisis de resultados

Al finalizar los ensayos, se analizaron los resultados evaluando comparativamente las variaciones de valores de las diferentes Mezclas. En el gráfico 7 se observa que la humedad óptima sigue una tendencia lineal creciente con el porcentaje de reemplazo de RCD y ello se debe a que, a medida que se incrementa la cantidad de material triturado, aumenta la cantidad de pasta cementante, más porosa que el agregado natural y por lo tanto más ávida de agua.

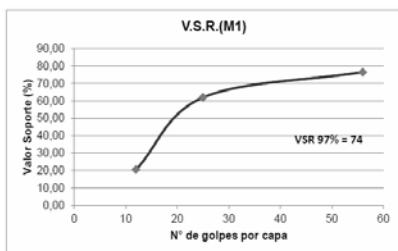
Ensayo de Valor Soporte



Gráf. 5. Resultado del ensayo de penetración



Gráf. 7. Variación de la humedad óptima en función de la cantidad de agregado triturado reemplazado



Gráf. 6. Resultado del ensayo de valor soporte

Los mismos estudios se hicieron para las siguientes mezclas

- Mezcla 2: 80% agregado natural – 20% RCD
- Mezcla 3: 50% agregado natural – 50% RCD
- Mezcla 4: 25% agregado natural – 75% RCD

En el gráfico 8 se muestra las variaciones de las densidades máximas.



Gráf. 8. Variación de la densidad máxima en función de la cantidad de agregado triturado reemplazado

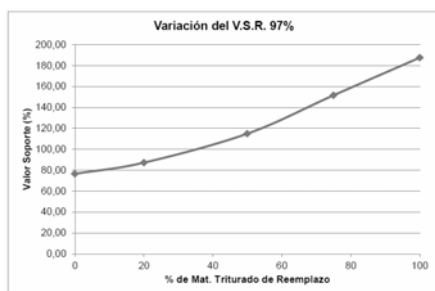
Según se observa en el gráfico 8, los valores de la densidad seca de todas las muestras con reemplazo de agregado triturado han resultado más elevados que el valor obtenido en la muestra patrón.

Además, las máximas densidades corresponden a mezclas que contienen aproximadamente entre un 20% y un 30% de material de reemplazo.

La razón del fenómeno observado podría estar relacionada con un proceso de ocupación de los vacíos entre partículas de agregado grueso natural por las partículas finas producidas por trituración del RCD durante la compactación, proceso que sería creciente hasta alcanzar, a dichos niveles de reemplazo, la total ocupación de los vacíos.

A mayores porcentajes de reemplazo de material triturado, se produce un acunamiento creciente entre partículas gruesas del mismo debido a las irregularidades que presentan sus caras, generándose así nuevos vacíos que reducen los valores de la densidad seca.

En el gráfico 9 las variaciones del valor soporte de las diferentes mezclas



Gráf 9. Variación del valor soporte en función de la cantidad de agregado triturado reemplazado

A su vez, el aumento de la fricción entre las partículas incrementa la capacidad portante de la mezcla, al oponer resistencia al efecto de punzonado que produce el corte, como queda representado en el gráfico 6.

CONCLUSIONES

Los estudios realizados sobre la utilización de hormigón triturado proveniente de residuos de construcción para bases y sub-bases, permiten concluir lo siguiente:

- Se produce un aumento de la humedad óptima de compactación a medida que aumenta la cantidad de hormigón triturado, debido a que a medida que se incrementa la cantidad de material triturado, aumenta la cantidad de pasta cementante, más porosa que el agregado natural y por lo tanto más ávida de agua. (Gráfico 7).

- A partir del valor de densidad máxima obtenido, que se da para las sustituciones entre un 25% y 30% de material triturado de reemplazo, se produce una disminución de la densidad que se genera por el aumento de vacíos en las mezclas con mayor cantidad de hormigón triturado (gráfico 8), esto podría generar deformaciones o asentamientos en los pavimentos debido al reacomodamiento de las partículas en condiciones de servicio.

- Teniendo en cuenta el pliego de especificaciones generales de la D.N.V. se cumplen los requerimientos de valor soporte para bases al sustituir aproximadamente un 30% del canto rodado natural por material triturado.

- Se pudo observar un incremento de la capacidad portante de las mezclas asociado a porcentajes crecientes de reemplazo de hormigón triturado (gráfico 9). Si bien la contribución a la resistencia mecánica que ofrece este material lo convierte en un agregado apto para la construcción de bases y sub-bases de pavimentos, no siempre es recomendable, en el ámbito práctico, la sustitución total o parcial mayor a un 30 %, porque dificulta la trabajabilidad (mezclar y compactar la mezcla en el menor tiempo posible) en obra.

- Además de la utilización de este material para bases y sub-bases, por las características que presenta el material, se podría aplicar para la construcción de banquetas, bases drenantes y mezclas drenantes.

REFERENCIAS

- Araujo, A. C. y Rosa Soler, L.M.. Diagnóstico de la situación actual del manejo, uso y vertido de los residuos de construcción y demolición en el municipio de San Miguel de Tucumán. San Miguel de Tucumán, FA.C.E.T - 2011
- Asenjo Dorado, M.A. Los residuos de construcción y demolición. Madrid (España) - 2008.
- Centro de estudios y experimentación de obras públicas. Residuos de construcción y demolición. Ministerio de fomento, España - 2009
- Coronado Iturbide, J., Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos. Guatemala - 2002
- López Gayarre, F.. Influencia de la variación de los parámetros de dosificación y fabricación de hormigón reciclado estructural sobre sus propiedades físicas y mecánicas. Universidad de Oviedo, Gijón, España - 2008
- Normas de Ensayo. Dirección Nacional de Vialidad
- Pliegos de especificaciones técnicas. Dirección Nacional de Vialidad.