

Características de los Procesos de Trituración Utilizados en Áridos Rodados y su influencia en las mezclas asfálticas en caliente

Oscar Raúl Rebollo, María José Correa, Cecilia J. Soengas, Gerardo Botasso

LEMaC Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina
+54-221-4890413, lemac@frlp.utn.edu.ar

RESUMEN

En muchas regiones de Argentina existe disponibilidad de áridos en depósitos aluvionales próximos a las obras de pavimentación, los cuales constituyen una buena alternativa siempre que presenten buena calidad físico-mecánica. Para generar áridos aptos es necesario utilizar a pie de obra procesos que involucren distintos grados de trituración favoreciendo la forma cúbica de los mismos.

Las exigencias habituales que se aplican para la fracción gruesa son que el 75 % de las partículas posea dos a más caras fracturadas, y el resto con al menos una, como así también valores de índice de lajas inferiores al 25 %. En muchas provincias, estas exigencias aun no se aplican y se diseñan mezclas asfálticas densas sin el cumplimiento de las mismas.

Se busca encontrar mezclas en donde se valore la incidencia del porcentaje de triturado utilizado y la características de forma de los mismos.

1 - INTRODUCCIÓN

El presente trabajo consistió en la realización de 6 mezclas asfálticas con diferentes proporciones de árido natural. La primera mezcla utiliza el 100 % de árido natural triturado, la segunda el 80 % de material triturado y así continuando hasta llegar a la sexta mezcla que cuenta con el 0 % de material triturado, es decir el 100 % de árido natural sin triturar, con esto se quiere variar el porcentaje de material triturado en un 20 % en cada una de las mezclas. Los ensayos que se le realizaron a las mezclas para evaluar su comportamiento fueron Marshall y el ensayo de rueda cargada (Wheel Tracking Test). La elección de estos ensayos tuvo como objetivo evidenciar qué sucede cuando se utiliza material sin triturar y cuando éstos tienen un proceso de trituración total o parcial.

Son muchas las regiones de Argentina donde se pueden obtener áridos de muy buena calidad en cuanto a su resistencia, desgaste y adecuada textura superficial, que se encuentran disponibles como áridos naturales. En la Foto 1 se puede observar áridos naturales de la región cordillerana de la provincia de Mendoza. La Cordillera de los Andes, dada su extensión y reciente formación, cuenta con una abundante presencia de gravas rodadas en quebradas y lechos de ríos en donde se acumulan sedimentos. Parte de ellos al no haber sido sometidos a un gran transporte, presentan dimensiones suficientes para ser considerados como posibles elementos a ser triturados para obras de pavimentación.



Foto 1 - Grava sin triturar

La utilización de estos áridos, brinda una disminución en el consumo de energía y reduce el impacto ambiental. El consumo de energía se ve disminuido al eliminar la actividad por voladuras, y el impacto ambiental se reduce al no producir cambios en los perfiles de los cordones montañosos. Todo esto configura, desde el punto de vista de la explotación, una gran ventaja siempre que la misma se realice en las zonas permitidas por la autoridad regulatoria provincial, con los correspondientes permisos de explotación minera.

Para poder utilizar gravas trituradas en fracciones que cumplan las exigencias de las mezclas asfálticas, las rocas de origen rodado natural deberán poseer un tamaño superior a los 0,8 metros. Este tamaño mínimo permite utilizar procesos de trituración con el fin de obtener parámetros óptimos de caras de fractura, cubicidad, desgaste Los Ángeles, índice de lajas y elongación, para las condiciones de tránsito y durabilidad requeridas.

Además se pretende compilar los distintos tipos y características de equipos de trituración móviles que existen actualmente a disposición de las empresas constructoras viales, con el fin de echar luz a las diferentes posibilidades de utilización a pie de obra.

Contexto actual

En base a la experiencia realizada en provincias cordilleranas como Mendoza, se ha podido observar una falta de inversión en la obtención de áridos triturados de buena calidad, obteniendo carpetas de rodamiento con prestaciones muy inferiores a las necesarias para el tipo de tránsito y crecimiento de la actividad económica regional.

Los principales problemas observados, están relacionados con la forma de los áridos gruesos y la proporción de áridos finos involucrados en la formulación de las mezclas asfálticas. Así se han observado en rutas nacionales y provinciales, utilización de fracciones gruesas con un máximo de triturado de un 20 %. Además, en algunos casos se han formulado mezclas con escasa o nula participación de áridos finos triturados.

La escasez de controles que verifiquen la utilización de áridos que cumplan con los requerimientos y proporciones adecuadas, hace que las empresas constructoras ahorren en este tipo de procedimientos.

El principal problema que se ha observado en relación con la falta de controles en cuanto a la forma de los áridos, es el ahuellamiento prematuro. En concordancia con este problema, se ve reducida la durabilidad de la obra, obligando a realizar inversiones mayores para reparar los daños producidos.

Sin embargo, se han registrado cambios en los últimos años en las empresas constructoras observando inversiones en la incorporación de tecnologías de trituración. El hecho que la empresa constructora vial posea su propio equipo de trituración permite generar un producto a la medida de las necesidades y demandas de las obras in situ.

2 – FUNDAMENTOS

Tecnologías de trituración

El término trituración, se define como la acción de reducir una granulometría desde un tamaño dado a otro más pequeño deseado, que puede ser como mínimo milimétrico.

Dependiendo del diseño y de cómo trabaje el sistema de trituración, la reducción del árido puede efectuarse por compresión, impacto ó percusión y abrasión o atrición. Al enfocarnos en este artículo a los sistemas de trituración móviles, sólo nos centraremos en la reducción por compresión e impacto.

Los sistemas de trituración por compresión son las denominadas trituradoras de mandíbulas, de cono y molinos de cilindros. Aquí el material es aprisionado para su reducción, entre dos superficies que se cierran. Se utilizan cuando los áridos son de mayor dureza.

Dentro de estas trituradoras, las denominadas de mandíbulas se utilizan para reducción primaria. Pueden contarse con trituradoras de boca grande, donde los fragmentos de roca, ingresan con dimensiones de 2,0 m por 1,5 m para dar tamaño de salida mínima de aproximadamente 0,2 m. Las de boca pequeña, ingresan con 0,8 m por 0,5 m para salir con 0,04 m. Es común la generación de partículas lajasas cuando la cámara de trituración no está completa, pero esto es de menor importancia ya que en general las trituradoras de mandíbulas son utilizadas como equipo de reducción primario. En la Foto 2 se puede apreciar una trituradora primaria móvil.



Foto 2 - Sistema de Trituración Móvil

Los sistemas de trituración por impacto son los molinos impactores y de martillos. Aquí el material es golpeado y proyectado contra otra superficie.

Independientemente del sistema de trituración que se utilice, ya sea compresión o impacto, siempre habrá una fuerza principal que es la predominante sobre las otras fuerzas actuantes.

Los procesos de trituración son necesarios no sólo porque reducen el tamaño de los áridos, sino porque además permiten obtener caras frescas de fracturas que mejoran la adherencia entre los áridos y el ligante, y permiten también alcanzar factores de forma que generan mayor trabazón del esqueleto mineral.

El esquema básico de trituración de una planta móvil que se recomienda considerar está compuesto por:

- Un alimentador
- Una trituradora primaria, en general de mandíbula.
- Un sistema de trituración secundario, compuesto por trituradoras de cono.
- Zarandas de clasificación.

Los diferentes equipos pueden estar unidos a través de cintas transportadoras, montados sobre chasis independientes, constituyendo una planta en sí misma y traccionados por un solo camión para cambiar su posición.

Estas “plantas móviles” pueden ser utilizadas en frentes de canteras, para permitir el transporte de material más pequeño hasta la planta de producción, utilizando equipos de carga de menor escala. También se los utiliza en proyectos donde es necesario procesar grandes volúmenes de material en poco tiempo, e incluso en aquellos casos en los que se deben recorrer grandes distancias entre la zona de extracción y la zona de aplicación del material.

La trituración secundaria requiere en general entre dos y tres trituradoras de cono, dependiendo del tamaño final del producto y las características del agregado.

El caso estudiado en el presente trabajo, dispone de la tecnología con sistema primario y secundario. En la Foto 3 se puede observar una trituradora de mandíbulas como parte de la trituración primaria y una trituradora móvil como sistema secundario. En esta oportunidad el tamaño del árido así lo requería, ya que en algunos casos superaba las 5 pulgadas del tamaño inicial.



Foto 3 - Sistema primario y secundario de trituración

Para la trituración secundaria resulta conveniente utilizar trituradoras de cono que permitan clasificar a los áridos por tamaño. En el caso de estudio, los sistemas de trituración secundarios toman una configuración como se observa en la Foto 4. Se muestran un caso de instalaciones de trituración secundaria por cono.



Foto 4 - Dos casos de trituración por cono (Foto tomada de Internet página sin referencia)

En la trituración secundaria de cono, la ruptura de la roca se produce en el espacio comprendido entre dos conos truncados. El cono exterior es fijo y el interior móvil. El movimiento que se genera es de rodadura sobre la superficie interior del cono fijo. El eje de movimiento puede ser centrado o excéntrico. La distancia mínima entre ambos conos corresponde al tamaño de partículas que se desea obtener.

A veces, en algunos casos particulares, se adiciona otro tipo de equipo denominado "impactor dual". Éste se utiliza en aquellos casos en que la roca a ser triturada se parte en agregados con forma de lascas o elongados. Al hacer pasar los fragmentos de roca por el impactor se evita estas formas indeseadas del agregado y se obtienen formas cúbicas que cumplen con los requisitos de las normativas existentes.

En los casos estudiados, se ha incorporado al proceso esta tecnología, con el fin de lograr los índices de lajosidad o elongación necesarios para cumplir con las especificaciones vigentes. Se puede observar lo antes descrito, en la Foto 5.



Foto 5 - Impactor vertical (Foto tomada de Internet página sin referencia)

La producción de los molinos verticales va desde las 50 Tn/h hasta las 100 Tn/h. Son ideales para las etapas de trituración secundaria y terciaria, y como correctores de forma, debido a la perfecta cubricidad que proporciona la trituración por impactos. Las trituradoras verticales, están disponibles en dos versiones: la estándar, en la que la trituración se produce por el choque del material contra el propio material, obteniendo árido de cantos redondeados con un reducido porcentaje de grano fino, y la versión con placas de impacto, en la que el árido impacta contra unas masas de fundición produciendo material triturado de cantos afilados y un contenido mayor de grano fino.

En el Figura 1 se puede observar un esquema de la trituración autógena "roca sobre roca", frente a trituración con placas de impacto "roca sobre placas"

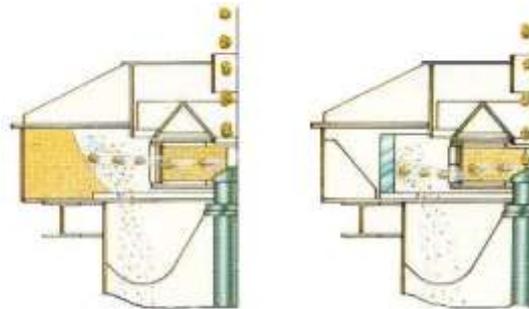


Figura 1 - Esquema de "roca sobre roca" o "rocas sobre placas" (Figura tomada de Internet página sin referencia)

El sistema de trituración básico está compuesto en general por una etapa de trituración primaria y una secundaria. En trabajos anteriores realizados por el LEMaC, "Primeras observaciones que relacionan las tecnologías de trituración y los tipos litológicos de algunas canteras productoras de áridos en las Sierras Septentrionales, provincia de Buenos Aires" (Correa et al., 2011) se ha observado que el resultado de la trituración depende casi fundamentalmente del tipo de roca a triturar, su composición mineralógica, el tamaño de grano, como así también la textura de la roca. Esto hace que ante un mismo sistema de trituración, las variaciones composicionales o texturales que se presentan a medida que avanza el frente de explotación (de una cantera) se obtengan áridos con más o menos elongación, lajosidad o rugosidad de sus caras fracturadas. Muchas veces la obtención de productos que cumplan con las condiciones requeridas por las diferentes obras depende de la experiencia del técnico a cargo, ya que modificando algunos parámetros tales como velocidad de trituración, incorporación de sistemas de impactores o utilización de trituradoras terciarias, etc. logran obtener partículas de formas y distribución granulométrica muy cercanas a las ideales.

3 – METODOLOGÍA DE TRABAJO

Como el presente trabajo pretende mostrar los cambios que se producen cuando al árido se lo somete a un adecuado proceso de trituración, resulta irrelevante declarar el lugar exacto de utilización de los mismos. Se trata de casos en los que la tecnología de trituración citada fue utilizada en la provincia de Mendoza.

En la Foto 6 se puede observar las fracciones sin triturar y trituradas.



Foto 6 - Paso de un canto rodado de 4 pulgadas a árido 6:20 y arena de trituración 0:6 con el sistema descripto

De acuerdo a la norma IRAM 1517/88, los agregados presentes en la muestra, pueden clasificarse petrográficamente como rocas ígneas volcánicas y plutónicas. Las rocas ígneas volcánicas, son aquellas formadas a partir de un magma que salió a la superficie tanto en forma de lava como en forma de explosiones volcánicas. Mientras que las rocas ígneas plutónicas, son originadas por enfriamiento del magma en el interior de la corteza terrestre. Dentro de cada grupo puede existir una amplia variación en la composición química de las mismas (ácidas, intermedias o básicas) pero la diferencia fundamental entre ambos grupos radica en la “textura” de la roca. Este término se refiere al tamaño, forma y relación que presentan los minerales entre sí y permite diferenciar rápidamente entre rocas volcánicas y plutónicas.

En este trabajo se llevó a cabo el estudio petrográfico de los áridos sin triturar y triturados en una primera etapa bajo lupa binocular y luego en secciones delgadas utilizando un microscopio de fluorescencia.

En la primera instancia se distinguieron los agregados de textura volcánica y los de textura plutónica (Tabla 1). Una vez separados ambos grupos se realizaron secciones delgadas para poder apreciar con mayor precisión los componentes mineralógicos y de esta manera realizar una clasificación composicional.

Agregados con texturas volcánicas	78,5 %
Agregados con texturas plutónicas	21,5 %

Tabla 1 - Proporción de agregados volcánicos y plutónicos

Luego de realizar esta primera evaluación se confeccionaron cortes delgados para observar al microscopio los componentes mineralógicos de los agregados.

Dentro del grupo de los agregados con textura volcánica se pudieron distinguir andesitas y basaltos (composiciones básicas) y riolitas (composiciones ácidas). También se distinguieron tobas y escoria volcánica, las cuales corresponden al grupo de productos de explosiones volcánicas. Por su parte en el grupo de agregados con texturas plutónicas se diferenciaron granodioritas y tonalitas (granitoides en general).

En la Tabla 2 se pueden observar las proporciones obtenidas según el análisis mineralógico.

Andesitas/Basaltos	Riolitas	Tobas	Escoria volcánica	Granitoides
44 %	15 %	18 %	2 %	21 %

Tabla 2 - Clasificación composicional de los agregados

La Foto 7, muestra una sección delgada de andesita en donde se observan cristales de mayor tamaño de piroxeno (Px) en una matriz de grano muy fino formada principalmente por plagioclasas (Pg).

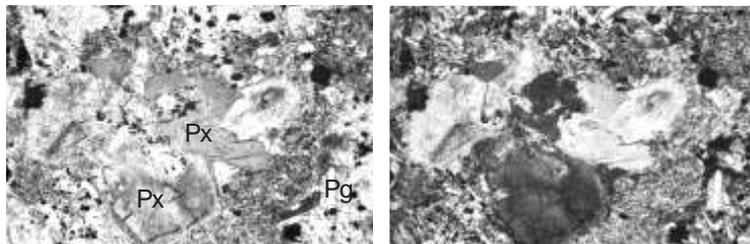


Foto 7 - Fotomicrografía con Nicoles paralelos y cruzados respectivamente, Aum 5X.

La Foto 8 muestra la misma sección con nicoles paralelos y cruzados de un fragmento de basalto. En la imagen puede observarse un gran cristal de piroxeno (Px) intensamente fracturado en una matriz de cristales de menor tamaño de plagioclasas (Pg) y piroxeno. Como minerales accesorios se observaron apatita y abundantes minerales opacos, posiblemente pirita.

En el sector izquierdo de la fotografía, se observa una cavidad o amígdala tapizada por pequeños cristales de piroxeno.

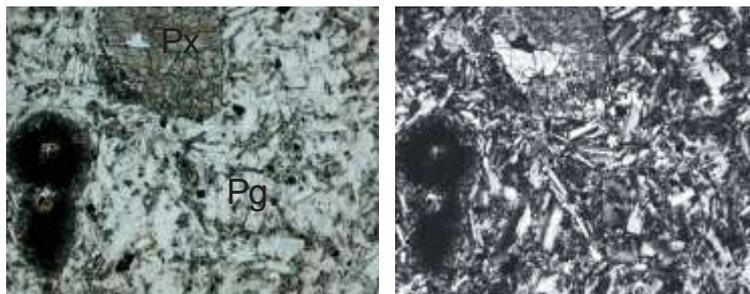


Foto 8 - Fotomicrografía con Nicoles paralelos y cruzados respectivamente, Aum 5X.

El grupo de las granodioritas – tonalitas se caracterizan por presentar texturas de grano medio a fino, levemente porfíricas, donde se destacan cristales de feldespato de gran tamaño, en una matriz de cristales de cuarzo de tamaño de grano mucho menor.

En la Foto 9 se pueden observar cristales de feldespato (F) fuertemente argilizados (alteración a arcillas tipo caolín de color grisáceo) y un mosaico granular de grano más fino de cristales de cuarzo (Qz). También se observa la presencia de anfíbol tipo hornblenda (Hb) que puede verse en la parte inferior de la fotografía.

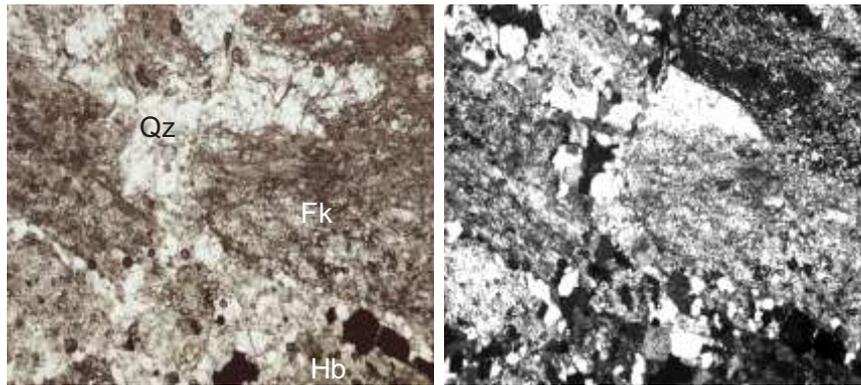


Foto 9 - Fotomicrografía con nicoles paralelos y cruzados, Aum 5X.

En cuanto a las tobas se puede citar que estas rocas pertenecen al grupo de las rocas volcánicas efusivas o extrusivas. Se forman a partir de cenizas volcánicas de tamaño de grano muy fino y su composición es principalmente silícea. Se caracterizan por presentar color blanquecino a gris claro y texturas muy homogéneas, algo porosas dependiendo del grado de compactación sufrido durante su depósito. En la Foto 10a, puede observarse (bajo lupa binocular) un fragmento de toba compuesto por sílice de grano muy fino y un moteado de color marrón verdoso a negro formado por biotita.

La escoria volcánica, ilustrada en la Foto 10b, corresponde a un producto que se caracteriza por un importante grado de porosidad.

Éstas suelen presentar color pardo rojizo muy oscuro y negro. En este caso la composición de la misma es de carácter básico y puede observarse cómo sus cavidades se encuentran parcialmente rellenas por óxidos de hierro, provenientes de la descomposición de los minerales que la componen.

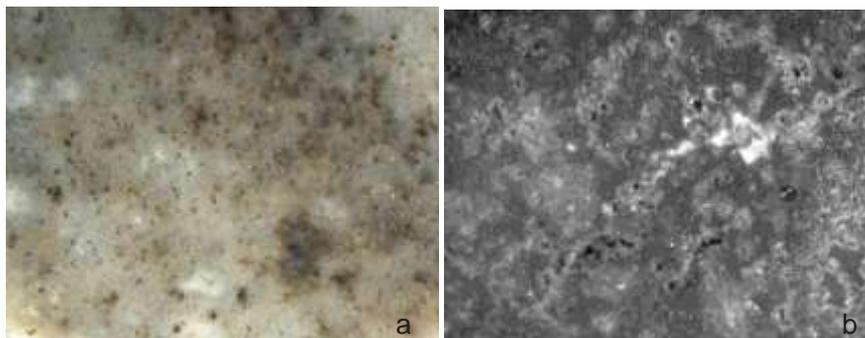


Foto 10 - Toba (a) y escoria volcánica (b) secciones pulidas observadas bajo lupa binocular.

A. Caracterización física de los áridos

Los agregados deben cumplir con los valores de tolerancia que establecen los Pliegos de Licitación. Los ensayos más requeridos son granulometría, desgaste con la máquina de Los Ángeles, lajosidad y elongación, dos o más caras de fractura, peso específico, equivalente de arena, polvo adherido. En la tabla 3 se muestran los valores de exigencia de los pliegos y los valores que se obtuvieron en los ensayos correspondientes a los áridos gruesos triturados. En la Tabla 4 se muestran los valores obtenidos de los ensayos realizados al material fino natural y de trituración respectivamente.

ÁRIDO GRUESO TRITURADO			
Parámetro	Norma	Exigencia	Valor (%)
Peso específico (g/cm ³)	IRAM 1533	No tiene	2,70
Absorción (%)	IRAM 1533	0,5 %	0,4
Desgaste Los Ángeles (%)	IRAM 1532	> 20 %	20
Índice de lajas (%)	IRAM 1687 Parte 1	> 25 %	25
Índice de agujas (%)	IRAM 1687 Parte 2	> 25 %	11
Polvo Adherido (%)	VN-E68-75	1,0	0,1

Tabla 3 - Parámetros exigidos y resultados de ensayos a los áridos gruesos triturados.

ÁRIDO FINO				
Parámetro	Norma	Exigencia	Natural	Triturado
Peso específico (g/cm ³)	IRAM1520	No tiene	2,64	2,63
Equivalente de arena (%)	IRAM 1582	>50 %	68,0	64,0

Tabla 4 - Ensayos al árido fino natural y triturado.

B. Composición de las mezclas

Las mezclas fueron realizadas componiendo los agregados triturados con los agregados naturales sin triturar, previamente en función de la cantidad de agregado triturado que se incorpora a la misma. En las Tablas 5 a 10 se muestran las dosificaciones en porcentajes con que se confeccionó cada una de las mezclas.

Mezcla Nº	Tamaño de agregado	% Triturado	% Sin triturar Zarandeado	Mezcla %
1	6:19	100	0	39,5
	0:6	100	0	53,5
	Cal	0	0	2
	CA-30	0	0	5
	Total (%)			

Tabla 5 - Mezcla 1 compuesta por el 100 % de árido natural triturado.

Mezcla N°	Tamaño de agregado	% Triturado	% Sin triturar Zarandeado	Mezcla %
2	6:19	31,6	7,9	39,5
	0:6	42,8	10,7	53,5
	Cal	0	0	2
	CA-30	0	0	5
	Total (%)			100

Tabla 6- Mezcla 2 compuesta por un 80 % de árido natural triturado y 20 % de árido natural.

Mezcla N°	Tamaño de agregado	% Triturado	% Sin triturar Zarandeado	Mezcla %
3	6:19	23,7	15,8	39,5
	0:6	32,1	21,4	53,5
	Cal	0	0	2
	CA-30	0	0	5
	Total (%)			100

Tabla 7- Mezcla 3 compuesta por un 60 % de árido natural triturado y 40 % de árido natural.

Mezcla N°	Tamaño de agregado	% Triturado	% Sin triturar Zarandeado	Mezcla %
4	6:19	15,8	23,7	39,5
	0:6	21,4	32,1	53,5
	Cal	0	0	2
	CA-30	0	0	5
	Total (%)			100

Tabla 8 - Mezcla 4 compuesta por un 40 % de árido natural triturado y 60 % de árido natural.

Mezcla N°	Tamaño de agregado	% Triturado	% Sin triturar Zarandeado	Mezcla %
5	6:19	7,9	31,6	39,5
	0:6	10,7	42,8	53,5
	Cal	0	0	2
	CA-30	0	0	5
	Total (%)			100

Tabla 9 - Mezcla 5 compuesta por un 20 % de árido natural triturado y 80 % de árido natural.

Mezcla N°	Tamaño de agregado	% Triturado	% Sin triturar Zarandeado	Mezcla %
6	6:19	0	39,5	39,5
	0:6	0	53,5	53,5
	Cal	0	0	2
	CA-30	0	0	5
	Total (%)			100

Tabla 10 - Mezcla 6 compuesta por un 100 % de árido natural.

4 – ANÁLISIS DE RESULTADOS

El ensayo Marshall se realizó con 75 golpes por cara, siguiendo la norma de Vialidad Nacional VN - E9, en la Tabla 11 se muestran los valores obtenidos.

Mezcla N°	Densidad Marshall D_M (gr/cm ³)	Estabilidad (Kg)	Fluencia (mm) (Kg/cm)	Relación Estab/Fluencia	Rice (gr/cm ³)	Vacíos (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	2,267	1021	2,6	3927	2,381	4,8	16,1	70,3
2	2,268	1001	2,9	3452	2,381	4,7	16,1	70,5
3	2,287	935	3,2	2922	2,385	4,1	15,5	73,6
4	2,294	902	3,8	2374	2,389	4,0	15,4	74,3
5	2,313	875	4,5	1944	2,385	3,0	14,6	79,3
6	2,323	802	5,1	1573	2,388	2,7	14,3	81,0

Tabla 11 - Parámetros Marshall

Como se observa en la Tabla 11 los valores de las estabilidades disminuyen, mientras que las fluencias aumentan, esto es debido a la estructura de la mezcla. A medida que disminuyen los porcentajes de contenido de árido natural triturado se pierde capacidad estructural en la mezcla, pero a su vez genera una mejor trabajabilidad y se cierran los vacíos de la mezcla.

Los resultados del ensayo de rueda cargada se muestran en la Tabla 12 y en el Gráfico 1

Mezcla	Índice de Compactación $IC = D_M/D_P$	Vacíos Probeta WTT	Pendiente de ahuellamiento WTS_{AIRE}	Profundidad de huella RD_{AIRE}	Porcentaje de Profundidad media de la huella PRD_{AIRE}
Nº	(%)	(%)	($mm/10^{-3}$ ciclos de carga)	(0,1mm)	(%)
1	100	5,9	0,272	4,5	9,0
2	99,6	5,5	0,366	6,6	13,1
3	100	3,8	0,385	7,3	14,6
4	100	3,8	0,252	7,9	15,8
5	100	3,0	0,344	11,1	22,1
6	99,9	2,6	0,344	12,9	25,7

Tabla 12 - Ensayo de rueda cargada

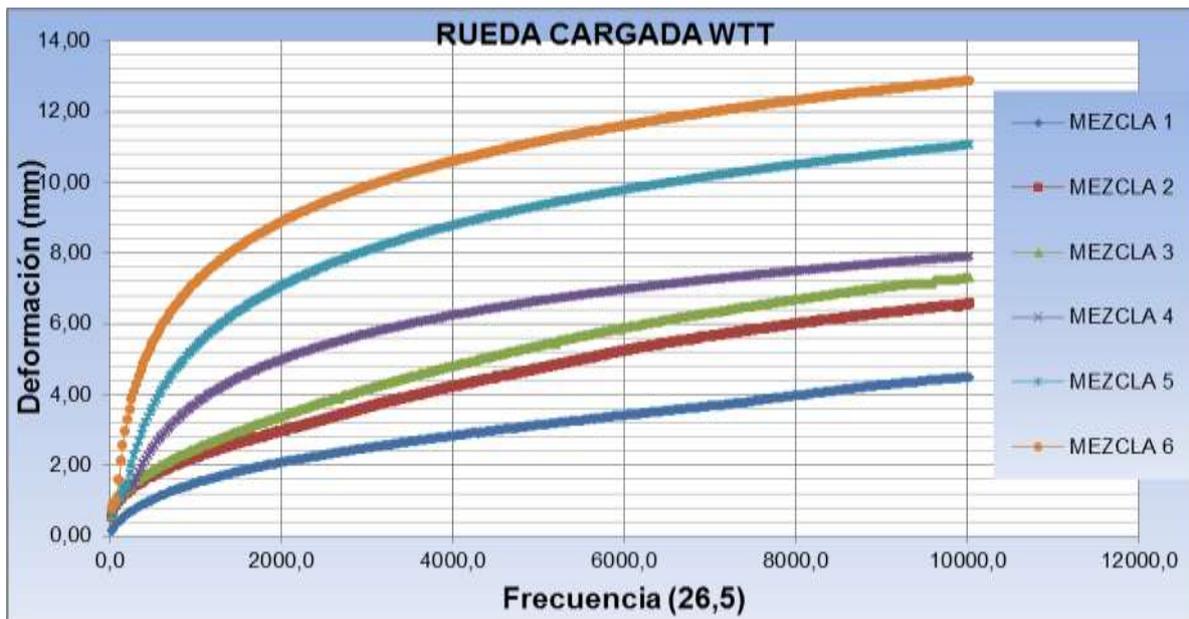


Gráfico 1 - Curvas de deformación y frecuencia

Las probetas fueron moldeadas según la norma UNE-EN-12697-33, y el ensayo de rueda cargada se realizó bajo la norma UNE-EN-12697-22. Los resultados obtenidos muestran cómo se va deformando la mezcla a medida que disminuye la cantidad de agregado triturado, obteniéndose mayor profundidad de huella a medida que disminuye la cantidad de canto rodado triturado, y por lo tanto la profundidad de huella proporcional.

5 – CONCLUSIONES

- ❖ Cuando utilizamos mayor porcentaje de árido triturado, se ve que mejoran los parámetros Marshall.
- ❖ También cuando se utiliza mayor cantidad de árido natural triturado las pendientes de ahuellamiento (WTS_{AIRE}) son menores y por lo tanto baja la huella proporcional (PRD_{AIRE})
- ❖ Se recomienda utilizar el máximo posible de árido triturado, dado que con este tipo de material se garantiza la obtención de una mezcla asfáltica confiable y duradera en el tiempo.

6 – BIBLIOGRAFÍA

- 6.1. Correa María J., Rebollo Oscar R., Botasso Hugo G., Soengas Cecilia J., Relación entre las características petrográficas y geotécnicas de agregados de la provincia de Buenos Aires, 2011.
- 6.2. Durán López A. y Fueyo Casado L. Selección Práctica y Aplicaciones de los Equipos de trituración. Fueyo Editores. Madrid, 2007.
- 6.3. Correa María J., Rebollo Oscar R., Botasso Hugo G., Soengas Cecilia J. Primeras observaciones que relacionan las tecnologías de trituración y los tipos litológicos de algunas canteras productoras de áridos en las Sierras Septentrionales, provincia de Buenos Aires. XXXVI Reunión del Asfalto, Buenos Aires, Noviembre de 2010.
- 6.4. Norma Española UNE – EN 12697-22: 2008+A1. Mezclas Bituminosas. Método de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 22: Ensayo de rodadura.
- 6.5. Norma Española UNE – EN 12697-33: 2006+A1. Mezclas Bituminosas. Método de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 33: Elaboración de probetas con compactador de placa.
- 6.6. Norma IRAM 1517/88. Agregados. Clasificación y descripción de las Rocas más Comunes y de sus Minerales Constituyentes.
- 6.7. Pliego de Especificaciones técnicas generales para mezclas asfálticas en caliente gruesas. Versión 2010