

# TRITURACION DE ARIDOS NATURALES RODADOS Y SU USO EN MEZCLAS ASFALTICAS DENSAS. EFECTO EN LA ADHERENCIA ARIDO LIGANTE

**Gerardo Botasso, Cecilia Soengas, Oscar Rebollo y María José Correa**

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

## RESUMEN

En regiones del país en donde la disponibilidad de áridos se da en yacimientos próximos a la obra, los cuales constituyen una buena alternativa por su calidad físico-mecánica, es muy común proceder a su trituración. Este proceso involucra trituración primaria, secundaria y también, en caso de ser necesario, procesos de impacto para regular la angularidad de los mismos.

La exigencia habitual en las mezclas asfálticas en la fracción gruesa, es que el 75 % de las partículas posea dos a más caras fracturadas, y el resto al menos una, como así también valores de índice de lajas inferiores al 25 %.

En muchas provincias argentinas estas exigencias aún no se aplican y se diseñan concretos densos.

En el presente trabajo se pretende mostrar la incidencia de los procesos de trituración en las fracciones gruesas y finas, en las propiedades de cohesión de la mezcla asfáltica.

En este caso se ha utilizado la metodología del Test de Lottman modificado y el test del hervido como parte de la valoración de las fuerzas de cohesión y de adherencia de la mezcla asfáltica, utilizando promotores de adhesión, a fin de cuantificar la adherencia pasiva, puesta en riesgo por la acción del agua a diferentes temperaturas especificadas en los métodos.

Se pretende poder sumar otro factor de cuantificación a la hora de valorar la incidencia del proceso de trituración en la calidad de las mezclas asfálticas en regiones del país donde estas discusiones se hacen presentes en forma cotidiana.

## 1. Introducción

Son muchas las regiones del país en donde se pueden obtener áridos de muy buena calidad en cuanto a su resistencia y desgaste. Los Ángeles, como así también con un adecuado coeficiente de pulimento acelerado, que se encuentran disponibles como áridos naturales rodados. La cordillera de los Andes dada su extensión y reciente formación, genera una gran presencia de gravas rodadas de gran tamaño en quebradas, ríos, estuarios, valles, en donde se depositan formaciones de gran extensión de áridos rodados, los cuales al no haberse visto sometidos a grandes recorridos de arrastre del agua o de los vientos imperantes, presentan grandes tamaños, ideales para ser considerados como posibles elementos a ser triturados para obras de infraestructura. Brindando además una disminución en el consumo de energía para adecuarlos a las condiciones que la obra exija. El punto de partida elimina la actividad de voladuras por diferentes métodos, la disminución del impacto ambiental al no producir explotaciones que produzcan un cambio en los perfiles de los cordones montañosos, y en general generan la posibilidad de liberar los cursos de quebradas y ríos de depósitos que se generan por el arrastre aluvional de los mismos. 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.

Por otro lado las regiones del país que presentan esta potencialidad son amplias, se pueden citar la totalidad de las provincias cordilleranas, sumándose San Luis, Córdoba, Tucumán por poseer también yacimientos de este tipo.

En general se puede decir que para llegar a poder utilizar un proceso de trituración que permita obtener gravas trituradas en fracciones que cumplan con las exigencias actuales de las mezclas asfálticas de altas prestaciones, como lo son las CAC D20 en el caso de las mezclas densas, o por ejemplo un MAC F10 o un Microaglomerado en frío, las rocas de origen rodado natural deberán poseer un tamaño superior a las 3 pulgadas.

Esto permitirá utilizar un proceso de trituración que involucre las tecnologías habituales en estos procesos, generando parámetros de caras de fractura, índice de lascas, elongación, cubicidad y desgaste Los Ángeles adecuados a las exigencias que permitan alcanzar valores volumétricos y mecánicos de diseño, óptimos para las condiciones de tránsito y durabilidad actuales.

El principal problema que se ha registrado en la actualidad es la baja exigencia observada en muchas reparticiones de esas regiones en cuanto a la calidad de los procesos de trituración, o el bajo porcentaje de áridos triturados que se han utilizado, considerando que el proceso de trituración era un factor que encarecía la obra, que se requerían de inversiones de altos costos o que no se observaba como necesario incorporar criterios de control de calidad a ese tipo de industria de la construcción. Lo cierto es que la realidad y la experiencia parecen decir todo lo contrario. Es que las obras construidas en esas regiones con bajos porcentajes de áridos triturados han demostrado poseer prestaciones muy inferiores a las necesarias para el tipo de tránsito y crecimiento de la actividad económica de las economías regionales.

Así se han observado en rutas nacionales y provinciales utilización de fracciones gruesas con un máximo de triturado de un 20 %, como así también en las fracciones finas, en cuyo caso el porcentajes de finos triturados en muchas formulaciones ha sido nulo.

En estas condiciones, en donde lo único que se ha ahorrado fue el proceso de trituración, se han observado como principales fallas dos tipos que se destacan por encima de las otras:

- Ahuellamientos prematuros
- Desintegración por falta de cohesión

En contraposición a ellos la durabilidad de las obras realizada se ha observado como muy baja, siendo a posteriori las inversiones de mucho mayor monto al que podría involucrar la inversión en los procesos de trituración.

Sin embargo se han registrado cambios en los últimos años tanto en las reparticiones viales, como en las empresas constructoras. En el caso de estas últimas se han observado inversiones en la incorporación de tecnologías de trituración. Esto se ve como algo muy favorable dada la heterogeneidad de los yacimientos, tanto en su origen geológico como en su composición de tamaño. El hecho de 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. Por otro lado las empresas constructoras asociadas al ámbito vial poseen una visión en general más acabada de las especificaciones, en relación a una empresa de trituración en donde los clientes pueden ser de diferentes sectores de la construcciones con controles de calidad de insumos menos estrictos o mas diversos.

En este caso particular se presentan los avances y mejoras registrados en la adherencia entre el árido y el ligante considerando la incidencia de la trituración sobre los mismos como única variable de comparación.

## **2. Las tecnologías de trituración utilizadas**

El sistema de trituración básico está compuesto en general por una trituración primaria y una secundaria. En trabajos expuestos en otras oportunidades por el LEMaC se ha descrito que la

elección del sistema de trituración depende en primera instancia del tipo de roca a triturar, su composición mineralógica, el tamaño del grano de la mismas como así también su textura. Si bien es cierto que no se cambia el sistema de trituración para cada tipo de roca, lo que sí se observa es que son productos diferentes para un mismo sistema de trituración. Por ello se pueden observar que muchas veces un árido puede salir del sistema con más o menos angularidad, lajosidad o rugosidad de sus caras fracturadas.

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

- Una trituradora primaria en general de mandíbula
- Un sistema de trituración secundario compuesto por trituradoras de cono
- Cintas transportadoras
- Zarandas de clasificación

La trituración secundaria requiere en general entre dos y tres trituradoras de cono, dependiendo el tamaño final del producto y las características del agregado. En la Figura 1 se puede observar un detalle de un esquema general de trituración.

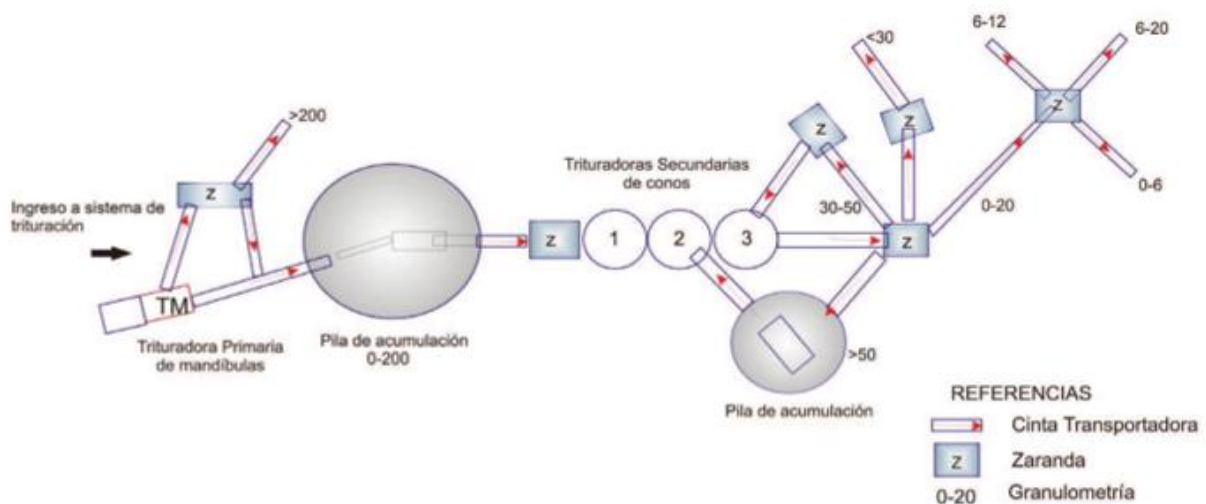


Figura 1. Esquema general de trituración

El caso que se presenta en este trabajo, se puede mostrar la tecnología disponible como sistema primario y secundario. En la franja superior de la Foto 1 se puede observar una trituradora de mandíbulas como parte de la trituración primaria. En esta oportunidad el tamaño del árido así lo requería, ya que en algunos casos superaba las 5 pulgadas de tamaño inicial. Si no se puede comenzar en forma primaria también con una trituradora de cono móvil.

Para la trituración secundaria resulta conveniente utilizar trituradoras de cono que permitan clasificar a los áridos por tamaño. Se pueden citar que existen casos en las que se utilizan trituradoras de conos, en las cuales 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.

En ocasiones resulta necesario para elevar la calidad del producto final, en cuanto su forma cumpliendo con las necesidades expresadas en las especificaciones, la instalación de un

impactor. En algunos casos se adiciona otro tipo de equipo denominado “impactor dual”. Éstos se utilizan en aquellos casos en que la roca al ser triturada se parte en agregados con forma de lascas. Al hacer pasar los fragmentos de roca por el impactor se evita esta forma indeseada del agregado y se obtienen formas cúbicas que cumplen con los requisitos de las normativas existentes. En los casos estudiados para el presente trabajo se ha incorporado al proceso esta tecnología con el fin de lograr los índices de lajosidad necesarios para cumplir con las especificaciones vigentes.

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 cubicidad 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.

### 3. Los áridos utilizados

Como el presente trabajo pretende mostrar los cambios que se producen en la adherencia árido ligante cuando al árido se lo somete a un adecuado proceso de trituración, no resulta relevante declarar el lugar exacto de utilización de los mismos. Sí, como se ha mencionado se trata de dos casos en los que la tecnología de trituración citada fue utilizada en la provincia de Mendoza.

En la foto N° 1 se puede observar las fracciones sin triturar y las fracciones trituradas



Foto N° 1: Paso de un canto rodado de 4 pulgadas a árido 6:20 y arena de trituración 0:6 con el sistema descrito

De acuerdo a la norma IRAM 1517/1988 “Agregados. Clasificación y descripción de las Rocas más Comunes y de sus Minerales Constituyentes” los agregados presentes en la muestra, pueden clasificarse petrográficamente como:

Rocas ígneas volcánicas: es decir productos formados a partir de un magma que salió a la superficie tanto en forma de lava como en forma de explosiones volcánicas. Al primer grupo corresponden las andesitas y los basaltos (composiciones básicas), y las riolitas (composiciones ácidas). Al grupo de los productos de explosiones volcánicas corresponden las tobas y escoria volcánica.

Rocas ígneas plutónicas: son las rocas formadas por enfriamiento del magma en el interior de la corteza. A este grupo corresponden las granodioritas y tonalitas (granitoides en general).

En la Tabla N° 1 se pueden observar la composición según el tipo de roca del cual provienen, en base a los minerales detectados.

Existen dos indicadores fundamentales del contenido de partículas con formas indeseables que son el índice de lajas y el índice de elongación, los cuales están regidos en nuestro país por las normas IRAM 1687, parte 1 y 2 que definen estos parámetros.

- Índice de Lajosidad: Se refiere a la forma achatada o plana que puede tener un agregado, cuando dos de sus dimensiones son mayores con respecto a la tercera. IRAM 1687–Parte 1.

- Índice de elongación: Está referido a la forma alargada del agregado, en la que uno de los ejes es mucho mayor que los otros dos. IRAM 1687 – Parte 2.

De acuerdo con las observaciones realizadas hasta el momento (Tabla N° 1), es posible indicar que las propiedades físicas de la roca, representa un elemento que condiciona la forma en que se fragmentarán las partículas.

Rocas ígneas volcánicas	78,5 %
Rocas ígneas plutónicas	21,5 %
Determinación	Valores
Índice de Lajas (1687 - 1) %	21
Índice de elongación (1687 - 2) %	24
Caras con dos o mas caras fracturadas %	80

Tabla N° 1: Valores obtenidos para índice de lajas y elongación

#### **4. El uso de los promotores de adhesión para mejorar las fuerzas de cohesión**

Es un sistema complejo, debido a la cantidad de variables que encierran los procesos de caracterización de cada uno de sus componentes, entre las cuales se pueden citar el cemento asfáltico y los áridos.

Los mejoradores de adherencia son productos tensioactivos, llamados también surfactantes, que constituyen especies químicas de naturaleza o estructura polar - no polar, que se adsorben preferentemente en la superficie de un líquido, en la interfase entre dos líquidos inmiscibles o bien entre un líquido y un sólido, formando generalmente una capa monomolecular; éstos poseen la propiedad de disminuir la tensión interfacial favoreciendo el contacto entre las diferentes fases.

De acuerdo a trabajos presentados por los autores se puede decir que los mismos actúan favoreciendo la adherencia activa y pasiva dentro de los mecanismos de desprendimiento tales como:

- *Emulsificación espontánea*
- *Rotura de película*

- *Presión de poros*
- *Decapado hidráulico*
- *Osmosis*
- *El mecanismo de retroceso*
- *pH del sistema*
- *Condiciones ambientales*

Dado el grado de pulimento que los áridos naturales presentan, y dado que además se observan fragmentos redondeados en al menos una cara no fracturada, se decide utilizar porcentajes de un mejorador de adherencia que ha demostrado generar los cambios necesarios en la cargas eléctricas del asfalto y del árido provocando la unión más íntima entre este sustrato y el ligante asfáltico. El promotor es del grupo amínico siendo uno de los más eficientes en el mercado.

### **5. Diseño de la mezcla, variables y test de medición de la adherencia**

Se decide realizar dos tipos de mezclas. Por un lado una mezcla con 100 % de árido natural y por otro una mezclas con 100 % de árido triturado:

- **Mezcla 1: 100 % árido natural + 0 % + 0,5 % y + 0,8 % de Promotor de adhesión**
- **Mezcla 2: 100 % árido triturado + 0% + 0,5 % y + 0,8 % de Promotor de adhesión**

Las fracciones de áridos en la mezcla triturada fueron dos: 6:19 y 0:6. En el caso del árido natural, se fueron confeccionando las muestras con fracciones pequeñas de áridos que no entraban en los procesos de trituración y que habitualmente son tolerados en las obras. En este caso se usó un único árido clasificado como 0:19 que se obtuvo tal cual estaba dispuesto en el yacimiento.

Las curvas granulométricas obtenidas, cumplen con los limites especificado en el pliego de condiciones.

Las dos mezclas diseñadas cumplieron con los valores del ensayo Marshall exigido para una mezcla del tipo CAC D20, tanto los parámetros volumétricos como los mecánicos.

Con esto se puede decir que el ensayo Marshall para ambos casos ajustandos las proporciones de grueso, finos y de cemento asfáltico CA - 30, cumplieron con la exigencia habitual.

A partir de allí y de acuerdo a los trabajos publicados por el LEMaC, se decide utilizar el TEST de LOTTMAN Modificado para la comparación cuantitativa de la permanencia de la adherencia pasiva frente a ciclos de congelamiento y deshielo, y de humedecimiento y secado. Esto ciclos son provocados en las proporciones que fija la Norma AASHTO T - 283.

En la Tabla N° 2 se pueden observar los valores obtenidos

Tipo de mezcla	Tensión en Seco Kg/cm <sup>2</sup>	Tensión en Húmedo Kg/cm <sup>2</sup>	TSR Resistencia conservada %
0 % promotor de adhesión			
Mezcla 1	4,3	2.2	51
Mezcla 2	5,9	4.1	69
0,5 % promotor de adhesión			
Mezcla 1	5,3	3,1	59
Mezcla 2	7,3	6,5	89
0,8 % promotor de adhesión			
Mezcla 1	5,8	3,7	64
Mezcla 2	8,3	8,2	99

Tabla N° 2 Valores obtenidos en el TEST de LOTTOMAN

## 6. Análisis de resultados y conclusiones

- Se pueden realizar mezclas que cumplan con las exigencias de curvas, análisis volumétrico y mecánico del Método Marshall con áridos 100 % naturales y 100 % triturados.
- Su cumplimiento no garantiza el buen comportamiento de la mezcla, por lo cual utilizar esos parámetros como exclusivos, resulta inadecuado.
- En el presente trabajo se ha estudiado el comportamiento de la cohesión interna de la mezcla por medio del Test de Lottman. En este aspecto se observan fuerte déficit de las mezclas realizadas con áridos 100 % naturales.
- Los procesos de trituración descriptos permiten en aquellos áridos que superen las 4 pulgadas, la obtención de áridos con más del 75 % de 2 o más caras fracturadas y un adecuado valor de lajosidad y elongación.
- El uso de un promotor de adhesión no ha logrado optimizar en las dosis más habituales a los áridos naturales. Se observa en todos los casos que el uso de promotores de primeras marcas eleva la resistencia a tracción indirecta tanto húmeda como seca, realizado el ensayo a 25 °C.
- En los áridos triturados los valores de la tracción indirecta húmeda y seca, son siempre superiores a los arrojados en la mezcla 1 con áridos naturales. Los valores que se

observan en el TSR que relaciones ambas condiciones se observan como óptimos a partir de una incorporación del 0,5 %.

- En trabajos complementarios, se presentarán los resultados obtenidos en el comportamiento de estos dos tipos de mezclas en el ensayo de Wheel tracking test.
- Se recomienda incorporar en las especificaciones regionales el uso del 100 % de áridos triturados considerando las tecnologías y recomendaciones descriptas en el presente trabajo.

## **7. Bibliografía**

- 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. Autores Dra. María J. Correa, Mgt. Ing. H. Gerardo Botasso, Ing. Cecilia J. Soengas, Sr. Oscar R. Rebollo, Srta. Luciana, García Eiler. Trabajo presentado en la XXXVI Reunión del Asfalto, Buenos Aires, Noviembre de 2010.
- Norma AASHTO T - 283 "Resistencia de Mezclas Bituminosas Compactadas Para Daños por Humedad Inducidos"
- Norma IRAM 1517/1988 "Agregados. Clasificación y descripción de las Rocas más Comunes y de sus Minerales Constituyentes"
- Norma IRAM 1687 – Parte 1: Agregados. Método de determinación del índice de lajicidad y Parte – 2: Determinación del índice de elongación.
- Metodología para la evaluación en la incorporación de promotores de adherencia en cementos asfálticos. Autores: H. Gerardo Botasso, Oscar R. Rebollo, Cecilia J. Soengas, Marcela Balige, Alejandro Bisio, Alejandro Berardo. Trabajo presentado en el XVI CILA Río de Janeiro, noviembre de 2011.