

XVII CONGRESO ARGENTINO DE VIALIDAD Y TRÁNSITO

**INFLUENCIA DE LA FORMA DE LOS ÁRIDOS GRUESOS EN EL DISEÑO,
FORMULACIÓN Y COSTOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE**

Autores: Andrés Pugliesi⁽¹⁾, Nicolás Poncino⁽¹⁾, Paulo Galván⁽²⁾

⁽¹⁾ ITYAC S.A.
Riobamba 230 – 2000 Rosario, Argentina
a.pugliesi@ityac.com.ar
n.poncino@ityac.com.ar
Tel: 0341-4820531

⁽²⁾ JOSE CARTELLONE CONSTRUCCIONES CIVILES S.A.
Intersección RN N° 18 y RP N° 32, Viale, Entre Ríos, Argentina
pgalvan@cartellone.com.ar
Tel: +343 47252355

Resumen:

La primera etapa para la formulación de una mezcla asfáltica consiste en la elección del tipo de materiales a emplear en su elaboración: ligante asfáltico, áridos gruesos, finos y relleno mineral en caso de utilizarse.

Si bien cada uno de estos materiales y la mezcla resultante, deben cumplir con las condiciones impuestas en las especificaciones técnicas del proyecto, es de prever que para la elaboración de la mezcla asfáltica se opte por la combinación de aquellos que signifiquen una reducción en los costos de obra.

El presente trabajo se enfoca particularmente en la elección de los áridos gruesos para el diseño y formulación de una mezcla asfáltica. Más específicamente, se estudia la influencia de la forma de los mismos (a través del índice de lajas), no solo en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica resultante, sino también, en los costos del producto final, tomando como parámetro más significativo la variación en el contenido óptimo de ligante.

Bajo esta premisa y para este estudio, se seleccionó una mezcla del tipo densa convencional. La determinación del contenido óptimo de ligante, así como el resto de los parámetros se efectuó a través de la metodología Marshall variando, en cada caso, el índice de forma de los áridos gruesos.

Finalmente, se analizan los resultados obtenidos en laboratorio y se efectúa un breve análisis económico representativo de los ahorros reales en obra que puede significar una adecuada selección de agregados.

1 INTRODUCCION

La primera etapa para la formulación de una mezcla asfáltica consiste en la elección del tipo de materiales a emplear en su elaboración: ligante asfáltico, áridos gruesos, finos, relleno mineral y eventualmente, aditivos.

En las mezclas asfálticas convencionales, alrededor del 94% en peso se conforma por agregados pétreos. El comportamiento mecánico de las mismas depende, en gran parte, de las características de estos áridos gruesos y finos que conforman un esqueleto granular organizado [Tourenq, C. (1975)[1]].

Por estas razones y dado la incidencia en la calidad final de las mezclas asfálticas, las propiedades físicas de los áridos son y deberían ser uno de los mayores focos de atención al momento de diseñar una mezcla.

En líneas generales, las características de los áridos se pueden dividir en dos (2) grandes grupos:

- Aquellas que dependen de sus propiedades intrínsecas u orígenes de la roca: composición mineralógica, textura, porosidad, grado de alteración, etc.
- Las que surgen del proceso de elaboración o explotación de la cantera: granulometría, **forma**, limpieza y textura.

De los parámetros mencionados, una de las propiedades más significativas es la **forma de los áridos a utilizar en la mezcla a diseñar**. Este parámetro se caracteriza, básicamente, por sus tres (3) dimensiones y la relación entre ellas (FIGURA 1):



FIGURA 1. Dimensiones del agregado.

En este sentido, en Argentina las Normas de Vialidad Nacional contemplan dos (2) ensayos para la caracterización de la forma de los agregados pétreos:

- Determinación de la Lajosidad y elongación en agregados (VN E38-86)
- Determinación del factor de cubicidad (VN E16-67)

Por otra parte, gran parte de las bibliografías internacionales, clasifican la forma de los áridos según tres o cuatro clases que se identifican a través de los diagramas de Zingg [Zingg, T. (1935)[2]] y Sneed & Folk [Sneed et al. (1958)[3]] como se aprecia en las FIGURAS 2 y 3 respectivamente.

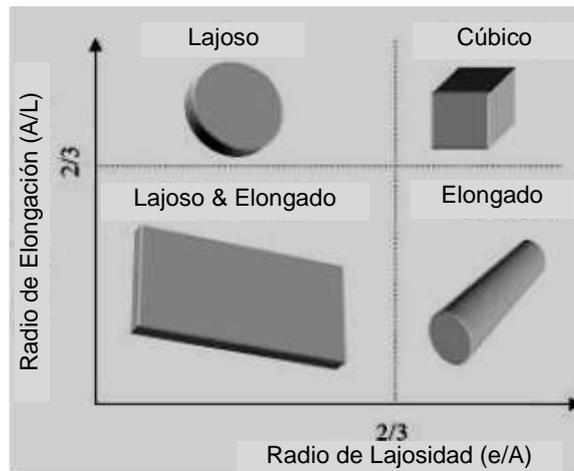


FIGURA 2. Categorización del agregado a partir de su forma, diagrama de Zingg (1935).

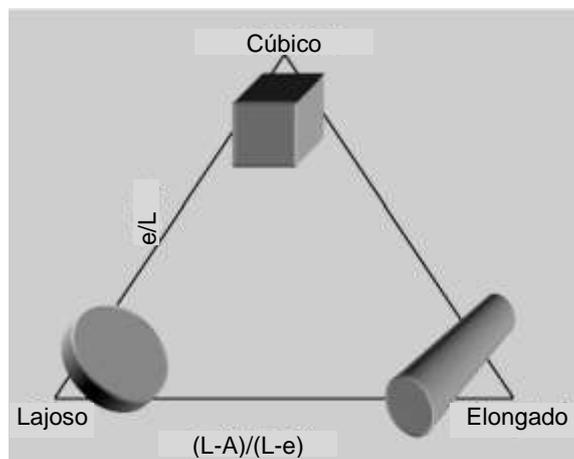


FIGURA 3. Categorización del agregado a partir de su forma, diagrama de Sneed & Folk (1958).

Es de conocimiento común las desventajas de utilizar agregados pétreos muy lajosos y/o elongados en función del pobre comportamiento mecánico que demuestran las mezclas asfálticas con este tipo de áridos.

Esto se debe fundamentalmente a que los áridos lajosos o elongados tienden a quebrarse bajo la acción de las cargas actuantes durante la compactación de la mezcla, o bien, en servicio como consecuencia del tránsito pesado (FIGURA 4).

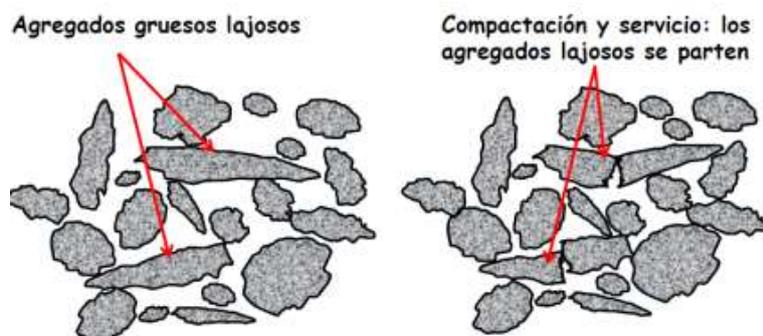


FIGURA 4. Comportamiento de agregados lajosos durante la compactación y servicio.

En ese sentido, se valoran las ventajas técnicas de incorporar en la mezcla áridos con los menores índices de forma posible (lajas y agujas).

Las especificaciones técnicas para mezclas asfálticas consideran, en consecuencia, la limitación del contenido de agregados pétreos lajosos (índice de lajas) y elongados (índice de elongación), determinados en nuestro país de acuerdo a la Norma de Ensayo de Vialidad Nacional VN-E37-86 (FIGURA 5).



FIGURA 5. Calibres para determinación de índices de lajas y agujas.

Por lo general, se establecen límites en función del tipo de mezcla, su rol o función dentro de la estructura del pavimento y de la exigencia del tránsito al que será sometida. En la siguiente tabla y a modo de referencia se presentan algunos de los mismos:

Mezclas	Índice de Lajas (%)	
	TMDA > 200 veh./día	TMDA < 200 veh./día
Densas	< 30	< 35
Drenantes	< 25	< 25
Delgadas	F	< 30
	M	< 20

TABLA 1. Contenido de Lajas exigido en función del tipo de mezcla y tránsito.

De esta manera, es común que la elección de los áridos al momento de la formulación, se limite casi exclusivamente al cumplimiento de lo establecido en las especificaciones técnicas y a los costos de este material, sin efectuar una evaluación técnica-económica del producto final, en este caso, la mezcla asfáltica.

2 OBJETO

En base a los conceptos descriptos, el presente trabajo pretende no solo ponderar y ratificar las ventajas técnicas de mezclas asfálticas con **áridos de buen coeficiente de forma**, sino también, analizar su incidencia en el costo del producto final, considerando como parámetro más significativo la **variación en el contenido óptimo de ligante**.

3 ALCANCES

A fines de del objetivo planteado, el estudio consiste en las siguientes dos etapas:

- Búsqueda de trabajos de investigación relacionados a la temática planteada: análisis de material bibliográfico vinculado a la influencia de la forma de los agregados pétreos en el diseño y formulación de mezclas asfálticas.
- Fase experimental a través de ensayos en laboratorio: procedimiento Marshall para el moldeo de probetas asfálticas elaboradas con índice de lajas de 10%, 20%, 30% y 40% y posteriores ensayos para la determinación de parámetros mecánicos y volumétricos (Vacíos, Estabilidad, Fluencia, relación betún-vacíos, etc.).

4 ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO

Existen varias publicaciones donde se presenta el estudio de la influencia de la forma del agregado pétreo en el comportamiento de la mezcla asfáltica [Hamzah M. et al. (2010)[4], [Ganapatinaidu P. et al. (2011)[5]].

En los siguientes puntos se presentan algunas de las publicaciones más destacadas y relacionadas con el presente estudio.

4.1 Seracettin, A., Año 2010: “Correlación entre las Propiedades Mecánicas del Concreto Asfáltico y la Forma del Agregado Pétreo”

Este trabajo elaborado por el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Ataturk, Turquía y publicado en el año 2010 [Seracettin, A. et al. (2010)[6]], presenta los resultados de la influencia de la forma del agregado pétreo sobre la respuesta mecánica del concreto asfáltico.

Además, el artículo destaca las bondades del Procesamiento Digital de Imágenes DIP (por sus siglas en inglés Digital Image Processing) para caracterizar la forma del agregado de manera automática.

En el estudio se efectúa la categorización del agregado siguiendo el diagrama de Zingg, anteriormente descrito en el punto 1. A su vez, esta puede ser resumida en los denominados Índice de Forma y Cubicidad.

A través del artículo se presentan los resultados obtenidos en los parámetros Marshall de estabilidad, fluencia y su relación con la utilización de las distintas formas de los agregados, que fueron las siguientes: M1 (Lajoso); M2 (Elongado); M3 (Cúbico); M4 (Mezcla).

Mientras que la FIGURA 6 presenta los resultados de estabilidad, las FIGURAS 7 y 8 representan los resultados de fluencia y relación estabilidad – fluencia respectivamente.

Claramente se puede apreciar las ventajas de la utilización de agregados cúbicos en lo referido a comportamiento mecánico del concreto asfáltico. Este tipo de material proporciona los valores más altos de estabilidad, más bajos de fluencia y su consecuente mayor relación estabilidad fluencia.

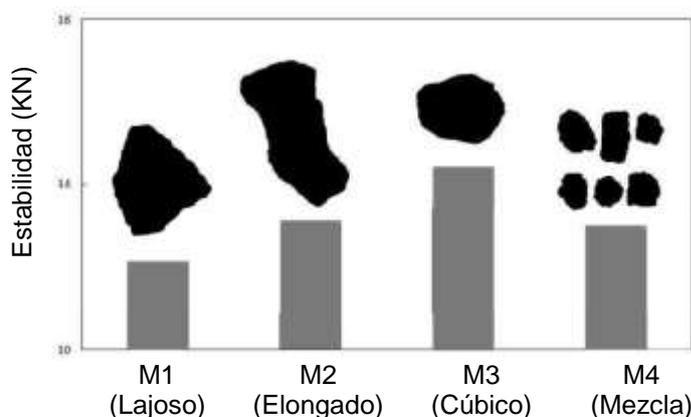


FIGURA 6. Estabilidad Marshall para mezclas asfálticas con agregado pétreo de distintas formas.

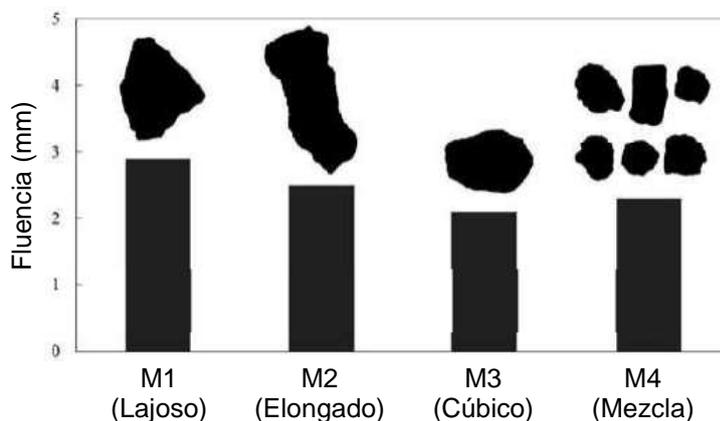


FIGURA 7. Fluencia Marshall para mezclas asfálticas con agregado pétreo de distintas formas.

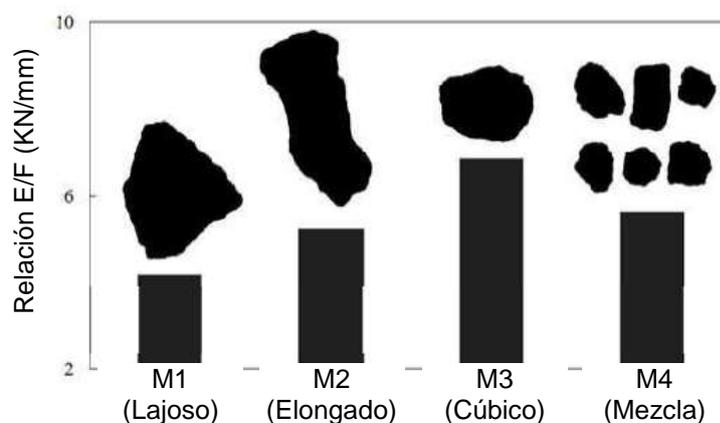


FIGURA 8. Relación E/F para mezclas asfálticas con agregado pétreo de distintas formas.

Las conclusiones del artículo, más allá de destacar los beneficios de la utilización de la tecnología DIP, remarca los beneficios en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica, mediante la utilización de agregado pétreo de buena forma.

4.2 Vaniyapurackal, J., Año 2015: *“Influencia de la Forma del Agregado Grueso en las Mezclas Asfálticas Densas”*

Este breve y conciso trabajo publicado por el Departamento de Ingeniería de Infraestructura de la Universidad de Gujarat, India, en el año 2015 [Vaniyapurackal, J. (2015)[7]], expone los resultados de la influencia de la forma del agregado pétreo grueso sobre la respuesta mecánica de una mezcla asfáltica densa, acentuando también el impacto sobre el contenido de ligante.

A diferencia del trabajo anteriormente descrito, esta publicación utiliza la categorización propuesta por Sneed & Folk con 3 tipos de formas en lugar de 4.

Nuevamente este estudio indica a través de resultados de laboratorio, la influencia de la forma del agregado sobre el comportamiento mecánico de la mezcla mediante Estabilidad, Fluencia Marshall y el contenido óptimo de ligante.

Asimismo se analizan los resultados obtenidos para las distintas formas respecto a vacíos de aire y vacíos de agregado mineral (VAM).

A continuación, en las siguientes figuras se presentan dichos resultados.

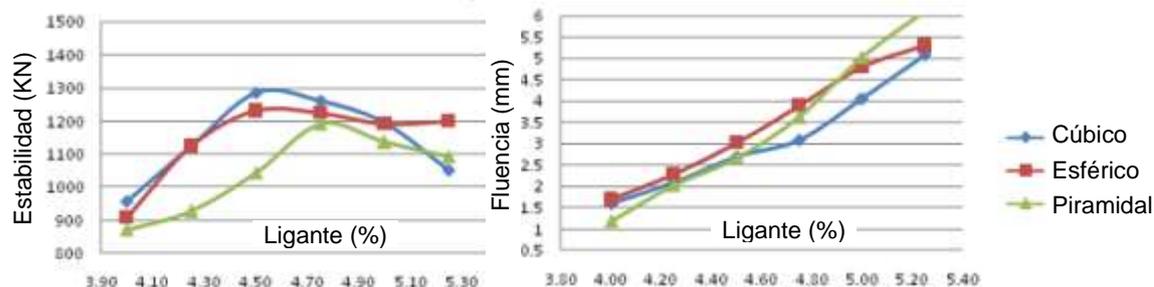


FIGURA 9. Resultados de estabilidad y fluencia Marshall para mezclas asfálticas con agregado pétreo de distintas formas y contenido de ligante asfáltico.

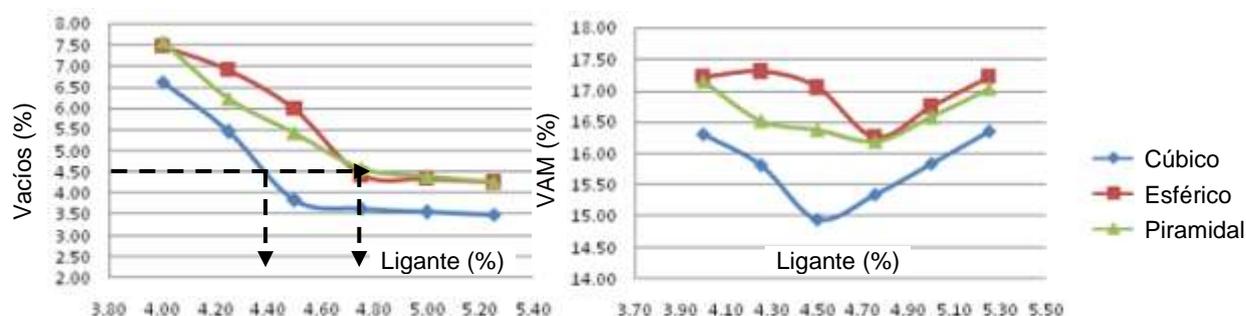


FIGURA 10. Resultados de contenidos de vacíos y VAM para mezclas asfálticas con agregado pétreo de distintas formas y contenido de ligante asfáltico.

Como puede observarse, las mezclas con agregado pétreo grueso de forma cúbica, arrojan los mejores comportamientos mecánicos en términos de estabilidad y fluencia Marshall.

Asimismo, en la FIGURA 10 se aprecia que, el Contenido Óptimo de Ligante que surge de entrar a la curva con un contenido de vacíos entre 4 y 4,5% (de acuerdo al procedimiento Marshall), arroja valores considerablemente menores para las mezclas elaboradas con agregado de mejor forma.

Esto representa, sin lugar a dudas, un ahorro significativo en los costos del concreto asfáltico.

4.3 Mahmud, M.Z.H., Año 2014: “Investigación de Laboratorio acerca del efecto de los agregados lajosos en el Módulo Dinámico de Creep y el Modulo Resiliente de las Mezclas Asfálticas”

Esta investigación fue llevada a cabo por el Departamento de Vialidad y Transporte de la Universidad Tecnológica de Malasia, Facultad de Ingeniería Civil de Johor Bahru, Malasia y publicado en el año 2014 [Mahmud, M. et al. (2014)[8]].

El trabajo tiene como objetivo evaluar la influencia de los agregados lajosos en el módulo dinámico y resiliente de las mezclas asfálticas. Se exponen y analizan además, los resultados de los procedimientos Marshall con los que diseñaron las mezclas estudiadas.

En este sentido, la experiencia consistió en la elaboración de mezclas variando la proporción de agregados lajosos con contenidos de 10%, 20% y 30% del peso total de la mezcla. De acuerdo a la publicación, se define como áridos lajosos aquellos en que el espesor es menor al 60% de su dimensión principal o máxima.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados en esta investigación y que se relacionan directamente con los objetivos del presente trabajo.

Párametro	Contenido de Agregados lajosos en la mezcla (%)		
	10%	20%	30%
Estabilidad (Kg)	1.307	1.244	1.243
Fluencia (mm)	3,96	3,88	4,08
Relac. Estab./Fluencia (Kg/mm)	330	320	304
Vacíos (%)	4,0	3,8	3,5
Vacíos agregado mineral (%)	76,0	78,5	83,0
Contenido óptimo de ligante (%)	5,6	5,7	5,8

TABLA 2. Resultados de parámetros Marshall para distintos contenidos de lajas

Como se desprende de la tabla y así como también lo remarcan las conclusiones del estudio, el menor contenido de lajas tiende a disminuir el contenido óptimo de ligante. Del mismo modo, se destaca también el aumento que se logra en la Estabilidad.

5 EXPERIENCIA DE LABORATORIO

5.1 Generalidades

La experiencia de laboratorio de este trabajo tiene como objetivo principal el de ratificar la influencia de la forma del agregado pétreo sobre el contenido óptimo de ligante en una mezcla asfáltica densa. A través de la misma se intenta corroborar que, una mejor forma del agregado disminuye el contenido óptimo de ligante.

Para la caracterización de las distintas formas de los áridos analizados, se utilizan los parámetros vigentes en las especificaciones técnicas argentinas: Índices de lajas y elongación determinados de acuerdo a la Norma VN E38-86.

Asimismo, se busca ratificar las conclusiones más destacadas del análisis bibliográfico, en lo referido al reconocido beneficio sobre el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica elaborada con agregado pétreo de buena forma.

En este contexto, la fase experimental del estudio se desarrolló en un laboratorio de obra, aprovechando la disponibilidad de material acopiado y la familiarización con la utilización del mismo.

De esta manera se intentó determinar la influencia del IL (Índice de Lajas) en el contenido óptimo de una mezcla asfáltica densa. Se propuso el análisis mediante la ejecución de

dosificaciones, variando dicho índice en 10, 20, 30 y 40% respectivamente. El IL del corte granulométrico 6-19 procedente de cantera resultó ser del orden de 21%.

La mezcla asfáltica seleccionada para la experiencia, responde tanto a las exigencias de las especificaciones técnicas de la DNV, como de la CPA, indicada como CAC D19 CA30 (concreto asfáltico convencional denso, tamaño máximo de agregado 19 mm (3/4")).

Por su parte la composición de áridos de la mezcla de referencia fue la siguiente:

- Arena Silíceas: 7%
- Corte 0-6: 57%
- Corte 6-19: 36%

En todas las mezclas elaboradas para el presente estudio comparativo, se respetó la granulometría de la mezcla asfáltica de referencia.

Como se menciona más arriba el ligante utilizado fue un cemento asfáltico convencional CA30 según Norma IRAM 6835.

5.2 Material Pétreo Grueso

Exceptuando la arena silíceas, el resto de los cortes es de origen basáltico, producto de la trituración de roca virgen, tratándose de un producto comercial que verifica lo exigido en el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de la DNV (ed. 1998), incluido en lo que respecta al ensayo de desgaste Los Ángeles (LA<25%), entre otros.

A continuación, en las TABLA 2, se resumen las principales características de los agregados gruesos.

Ensayo	Norma	Corte 6-19	Límite DNV
Densidad	DNV E13-67	2,84 g/cm ³	-
Absorción	DNV E13-67	0,80%	-
Los Angeles	IRAM 1532	14%	< 25%
Lajas	DNV E38-86	21%	< 30%
Agujas	DNV E38-86	12%	-

TABLA 3. Principales características físicas de los agregados pétreos gruesos.



FOTO 1. Vista de uno de los cortes utilizados para las dosificaciones.

Consideramos importante destacar también la influencia de la forma del agregado sobre los resultados del ensayo de Desgaste de Los Ángeles. [Ruiz et al. (1998)[9]]

Esta incidencia también se demuestra en una experiencia presentada en la XXXI Reunión Anual del Asfalto [Poncino et al. (2000)[10]], en la que se determinaron los coeficientes de Los Ángeles para áridos de distintas formas y cortes granulométricos. En la FIGURA 11 se muestran estos resultados en los que A, B y C representan los cortes granulométricos (siendo A el de mayor tamaño y C el de menor tamaño), mientras que las “pilas” de colores permiten identificar la forma de los áridos.

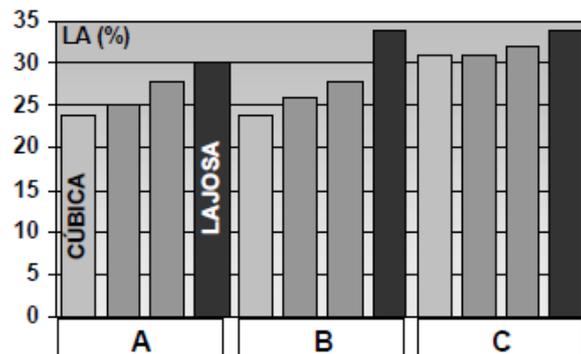


FIGURA 11. Influencia de la forma de las partículas en los resultados del Ensayo de Desgaste de Los Ángeles.

5.3 Generación de Muestras a partir del Material de Acopio

A partir del material comercial de acopio, con IL en el orden de 21%, se procedió a generar muestras de agregados gruesos con IL de 10, 20, 30 y 40%.

Se efectuó, en consecuencia, un minucioso trabajo de selección manual de áridos de manera de alcanzar los mencionados índices. Para la confección de cada uno de los distintos juegos de probetas, se seleccionó una importante cantidad material 6-19 “manipulado”.

En la FOTO 2, se puede apreciar alguno de los resultados de este proceso de selección manual de agregado.



FOTO 2. Generación de muestras a partir del manipuleo del material.

5.4 Moldeos Marshall

Para cada uno de los índices seleccionados, se propusieron 3 tenores de contenido asfáltico y para cada uno de estos, la confección de probetas, tratando de respetar la cantidad de moldeo indicado en la Norma VN E9-86 Ensayo de estabilidad y fluencia por el método Marshall.

Utilizando como referencia el contenido óptimo de ligante determinado para la fórmula de obra (concreto asfáltico, 4,2% de ligante óptimo e IL 21%), se proponen una serie de contenidos que aseguren la determinación del óptimo con una mezcla de 4% de vacíos. De esta manera, se moldearon 36 probetas (FOTO 3), con la siguiente variación en el contenido de ligante asfáltico:

- IL 10% 3,2% - 3,7% - 4,2%
- IL 20% 3,7% - 4,2% - 4,7%
- IL 30% 4,2% - 4,7% - 5,2%
- IL 40% 4,7% - 5,2% - 5,7%



FOTO 3. Moldeos de probetas.

Posteriormente, a partir de los moldeos efectuados, se determinaron los siguientes parámetros mecánicos y volumétricos de cada uno de ellos:

- Estabilidad
- Fluencia
- Vacíos (pesos unitario y densidad Rice)
- Vacíos del Agregado Mineral (VAM)

5.5 Resultados Obtenidos

Una vez efectuados los procesos mencionados, según Normas de Ensayo DNV correspondientes, se procedió a analizar los resultados obtenidos.

Tal como se esperaba, el comportamiento mecánico de la mezcla se ve influenciado por la forma del agregado utilizado en su elaboración, esto se ve reflejado en los resultados de estabilidad y fluencia Marshall. A modo de ejemplo se presentan los resultados obtenidos para el pastón moldeado con un índice de lajas de 30%. (FIGURAS 12 y 13)

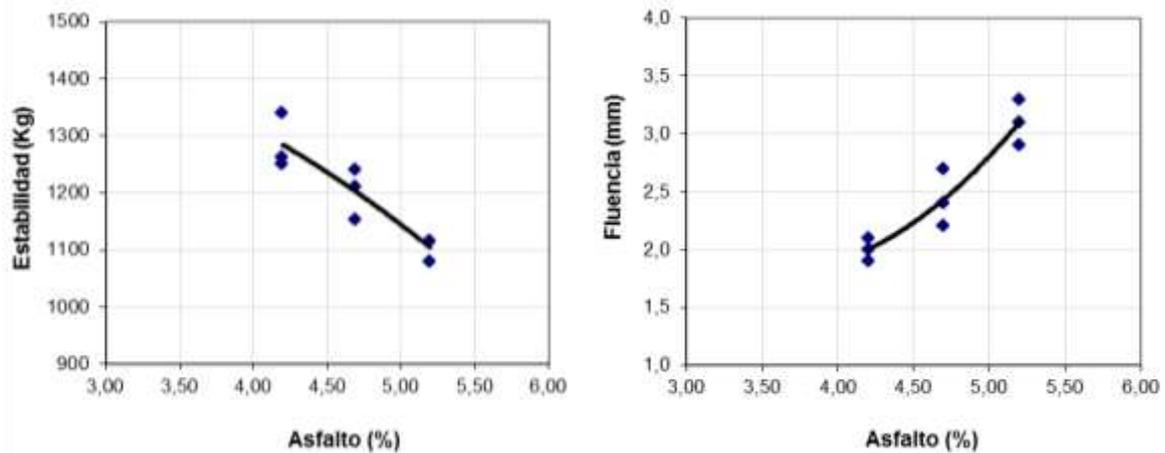


FIGURA 12. Resultados de Estabilidad y Fluencia Marshall para moldeos efectuados con agregado pétreo con índice de Lajas igual a 30%.

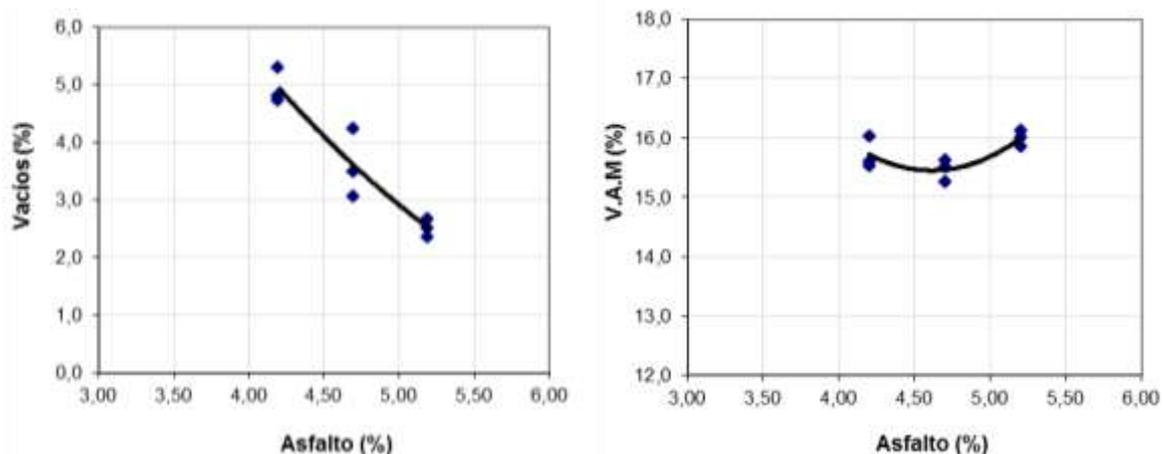


FIGURA 13. Resultados de vacíos y vacíos de agregado mineral (VAM) para moldeos efectuados con agregado pétreo con índice de Lajas igual a 30%.

Tal como se sugiere en el procedimiento de diseño Marshall, una primera aproximación del contenido óptimo de ligante, es aquel que se encuentra asociado a un 4% de vacíos de acuerdo a la curva % *asfalto* vs % *vacíos* (FIGURA 13).

De tal forma fue que se estableció el contenido óptimo de ligante para cada una de las mezclas con las distintas proporciones de agregados lajosos.

Los resultados obtenidos, expresados en porcentaje ponderal referido al peso total de la mezcla, se observan en la FIGURA 14 y TABLA 3.

Se ratifica en este análisis, una tendencia de disminución del contenido óptimo de ligante en función de una mejor "**forma**" del agregado.

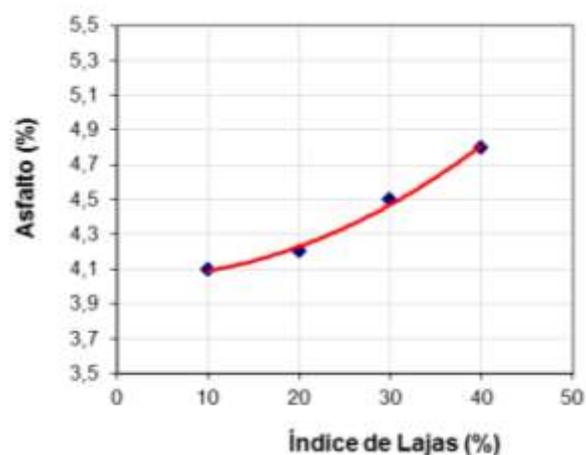


FIGURA 14. Resultados de contenido óptimo de ligante frente a la variación del índice de Lajas del agregado pétreo.

Índice de Lajas (%)	Ligante asfáltico (%)
10	4,1
20	4,2
30	4,5
40	4,8

TABLA 4. Contenido óptimo de ligante frente a la variación del índice de Lajas.

Como puede observarse, la sensibilidad del contenido óptimo de ligante respecto a la forma del agregado disminuye para valores por debajo de 20%, mientras que se vuelve relevante para índices superiores a 25 o 30%.

Si bien las especificaciones manejan entornos del índice de Lajas máximos del orden de 25, 30%, dependiendo del tipo de mezcla asfáltica, resultó interesante para el análisis plantear un entorno entre 10 y 40% a fines de corroborar la tendencia hallada en los 3 primeros puntos.

A fines de evaluar la sensibilidad de algunos de los parámetros Marshall al contenido de Lajas, se graficaron dichos resultados adoptando como valores de referencia aquellos que surgen de adoptar un contenido de vacíos de aire del 4% (FIGURA 15).

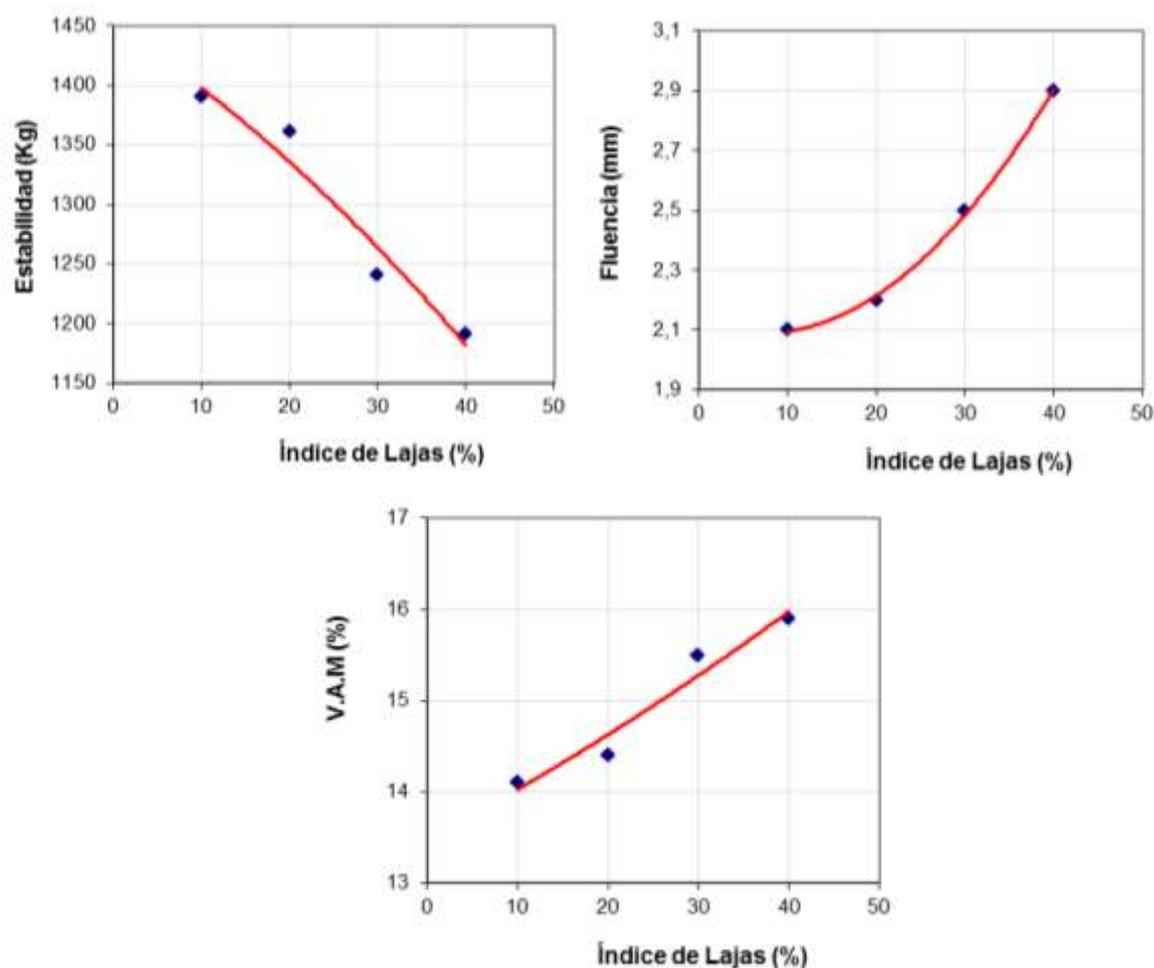


FIGURA 15. Resultados de laboratorio para mezclas asfálticas con 4% de vacíos y agregado pétreo con índice de lajas variable.

6 ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS

Considerando los resultados en el diseño y formulación de las mezclas con contenidos de índices lajas variados, se procede a realizar un análisis comparativo de costos de las mezclas asfálticas estudiadas.

En el análisis realizado se ha tenido en cuenta, por un lado, la reducción del contenido óptimo de ligante en función de la incorporación de áridos con mejor índice de forma; y por otro, el incremento del costo de producción de estos áridos con mejores índices de forma.

En el análisis de precios se han considerado los rubros Equipos, Mano de Obra y Materiales. Dentro de éste último, se utilizaron los contenidos óptimos de ligante que se informan en la TABLA 3.

Asimismo y a los efectos del análisis de costos y en lo que respecta a materiales se han considerado las siguientes distancias de transporte: ligante asfáltico, 560 Km; agregados pétreos, 360 Km.

Para el análisis comparativo se toma como referencia el de la mezcla con mayor porcentaje de áridos lajosos (IL=40%) y un contenido de ligante de 4,9% (en peso). FIGURA 16.

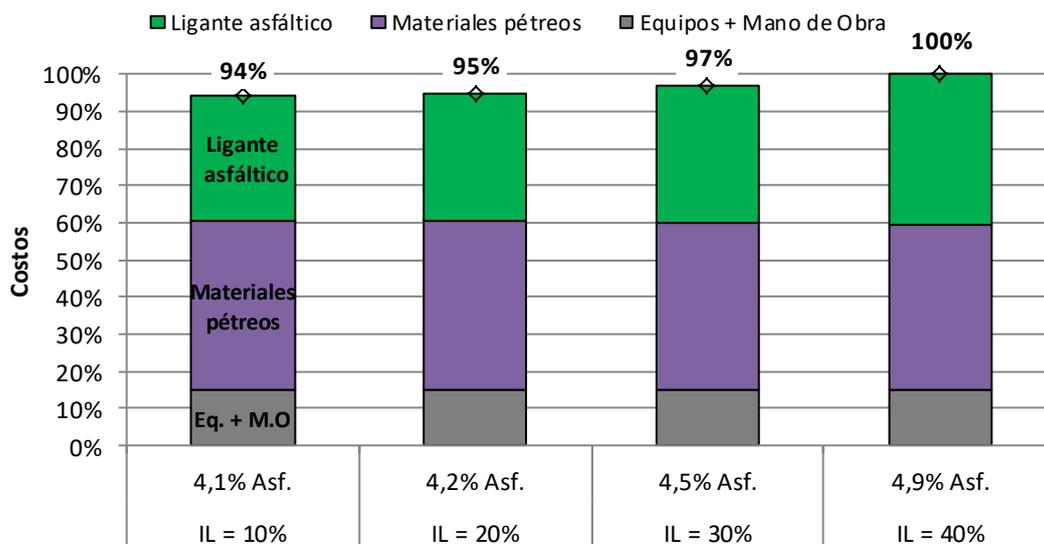


FIGURA 16. Análisis comparativo de costos de elaboración de mezcla asfáltica con variación de forma del agregado pétreo grueso.

7 CONCLUSIONES

La temática de la incidencia de la forma de los áridos gruesos en el comportamiento mecánico y costos de un concreto asfáltico se ha abordado mediante una recopilación bibliográfica y estudios propios de laboratorio.

Del estudio realizado es factible: ratificar, para el caso de las referencias bibliográficas, o deducir, del trabajo experimental propio, las siguientes conclusiones:

- La forma del árido tiene incidencia importante en la resistencia mecánica del árido involucrado. A menor porcentaje de partículas lajasas, menor porcentaje de Desgaste Los Ángeles.
- La forma del árido tiene gran incidencia en los parámetros mecánicos y volumétricos de las mezclas asfálticas.
- Los parámetros mecánicos, obtenidos por el procedimiento Marshall, muestran que una mejora en la forma del árido (reducción de los índices de lajas y agujas) provoca aumento de la Estabilidad, disminución de la Fluencia y en consecuencia incremento de la relación Estabilidad/Fluencia.
- En lo que respecta a los parámetros volumétricos, la disminución de partículas lajasas o elongadas, a igualdad granulométrica, induce a menores valores de Vacíos del Agregado Mineral (VAM) y en consecuencia tendencia decreciente de los Vacíos de Aire y/o contenido de ligante.
- Para las cuatro mezclas estudiadas, con IL que varían entre un 10 y 40% e igualdad granulométrica, el contenido de ligante óptimo, determinado para un contenido de vacíos de 4%, disminuye con la reducción del IL.
- El gráfico de la FIGURA 16 demuestra que, al menos para el ámbito geográfico en el que se desarrolla este estudio, el aumento del costo inicial del árido provocado por el

mayor costo de producción que implica elaborar áridos con menor IL es compensado y/o disminuido por la menor necesidad de ligante asfáltico.

- Queda, quizás para una segunda etapa de este estudio, demostrar experimentalmente a escala natural una ventaja adicional de los áridos con menor IL, referida a una mejora de la trabajabilidad de la mezcla asfáltica íntegra. En consecuencia, una disminución de la energía de compactación necesaria para lograr la densidad requerida.
- Como resumen a los puntos abordados en este trabajo se concluye:
 - los áridos con menor IL provocan demostradas mejoras en el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas que integran.
 - los áridos con menor IL provocan una disminución del contenido de ligante necesario de la mezcla.
 - el análisis de costo demuestra que una disminución del IL del árido a utilizar puede provocar una reducción del costo final de la mezcla a elaborar.

Agradecimientos

A la empresa José Cartellone Construcciones Civiles S.A., al Ingeniero José Luis Sumbaino y a los Técnicos Juan Escudero y Mario Almirón por el interés y apoyo brindado para la realización de este trabajo.

8 REFERENCIAS

1. Tourenq C. (1975). "Role des granulats sur les caractéristiques antidérapantes des chaussées". Supplement au N° 80 de Bulletin des L.C.P.C.
2. Zingg T. (1935). "Bietrahe zur Schotteranalyse", Schweiz Mineral Petrography, Vol. 15, 1935, p. 139-140.
3. Sneed E.D., Folk R.L. (1958). "Pebbles in the Lower Colorado River, Texas: a study in particle morphogenesis", J Geol, 66, 1958, p. 114-150.
4. Hamzah M., Puzi M., Azizli K. (2010). "Properties of Geometrically Cubical Aggregates and its Mixture Design", Malasia.
5. Ganapatinaidu P., Adishesu S. (2011). "Influence of Coarse Aggregate Shape Factors on Bituminous Mixtures", International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), Vol. 1, Issue 4, pp. 2013-2024.
6. Seracettin A., Engin Y., Fatih H., Sinan H. y Suat A. (2010). "Correlation between Shape of Aggregate and Mechanical Properties of Asphalt Concrete". Road Materials and Pavement Design, 12:2, 239-262.
7. Vaniyapurackal J.J. (2015) "To Determine Impact of Shape of Course Aggregate on DBM Mix". International Journal of Engineering Research Volume No.4, Issue No.4, pp: 203-205.

8. Mahmuda H, Yaacobb H, Jayab R, Hassan N (2014) "Laboratory Investigation on the Effects of Flaky Aggregates on Dynamic Creep and Resilient Modulus of Asphalt Mixtures", Jurnal Teknologi, Malasia.
9. Ruiz M., Areu A., Tcharin W. y Tello R. (1998). "Ensayo de Desgaste Los Ángeles. Propiedades a tener en cuenta sobre el comportamiento de los agregados pétreos", XXX Reunión del Asfalto.
10. Poncino H., Pagola M., Benzaquen M., Andreoni R., Tello R., Tcharin W. y Ruiz M. (2000). "Valoración de Agregados Pétreos Argentinos para su utilización en mezclas asfálticas", XXXI Reunión Anual del Asfalto, Córdoba, Argentina, noviembre 2000. Páginas 695 a 708, Tomo II.