



Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional La Plata

“UTILIZACIÓN DE AGREGADOS PROVENIENTES DE DESECHO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS”.

Centro de investigaciones Viales LEMaC
Área: MATERIALES VIALES
Becario: Lisandro Sagasti
Director Tesis: Oscar Rebollo

UTILIZACIÓN DE AGREGADOS PROVENIENTES DE DESECHO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS

LEMaC

Centro de Investigaciones Viales

Área materiales viales

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional La Plata

Calle 60 y 124. La Plata (1900). Buenos Aires. Argentina.

Tel-fax: 0054-221-4890413

Email: lemac@frlp.utn.edu.ar pág.: www.frlp.utn.edu.ar/lemac

1. Resumen

La existencia de residuos de agregados en los procesos de refulado y triturado para la obtención de agregados naturales que serán utilizados en hormigones de cemento Pórtland y mezclas asfálticas, en grandes volúmenes y la demanda creciente de áridos, lleva a la necesidad de estudiar la posibilidad del uso de estos materiales, a fin de disminuir el impacto en el medio ambiente y lograr establecer especificaciones para su uso.

El presente trabajo valora la posibilidad de inclusión de dos arenas de refulado y un subproducto de cantera de piedra partida, en mezclas asfálticas en caliente.

Por un lado las dos arenas naturales provienen de desecho de refulado del lavado de canteras de canto rodado, material utilizado habitualmente en la dosificación de hormigones en la ciudad de Concepción del Uruguay, provincia de Entre Ríos.

El segundo es un subproducto de piedra partida, “el tamaño del agregado está comprendido entre 0 a 20 mm”, denominada comercialmente como 0:20. Este material proviene de las canteras de la ciudad de Olavarría, provincia de Buenos Aires.

A tal fin se propone trabajar inicialmente con una mezcla asfáltica del tipo densa como mezcla patrón, con agregado triturado, 0:6 y 6:20, arena Argentina de uso corriente en esta zona, la cual proviene del río Paraná, y la incorporación de un ligante asfáltico convencional.

Luego se procede a realizar sustituciones de las fracciones trituradas y de las fracciones naturales de la siguiente forma:

- a. Se reemplaza la arena natural por la arena 1 de refulado, se mantiene el agregado triturado.
- b. Se reemplaza la arena natural por la arena 2 de refulado, se mantiene el agregado triturado.
- c. Se reemplaza la arena de trituración 0:6 y la piedra partida 6:20: por el subproducto de piedra partida 0:20, se mantiene la arena Argentina.

- d. Se reemplaza la arena natural por la arena 1 de refulado, se mantiene el subproducto de piedra partida 0:20 por las dos fracciones de piedra partida
- e. Se reemplaza la arena natural por la arena 2 de refulado, se mantiene el subproducto de piedra partida 0:20 por las dos fracciones de piedra partida.

La valoración de la factibilidad de inclusión de estos residuos y subproducto se realizará considerando en esta primer etapa:

- a. La valoración de los parámetros volumétricos y mecánicos con la metodología Marshall.
- b. Valoración de la acción del agua sobre la estabilidad mediante el ensayo de estabilidad remanente.
- c. Valoración de la fuerza de cohesión mediante el test de Lottman Modificado AASHTO 283.

Con estos ensayos se busca poner en evidencia el comportamiento de los nuevos áridos en los aspectos concernientes a la cohesión y durabilidad.

2. Introducción

El trabajo comprende dos temáticas contenidas en el aprovechamiento integral de los recursos naturales, contemplando la problemática ambiental de su progresivo agotamiento, específicamente en lo referente a recursos minerales para materiales de construcción: El desecho de arenas en los lavaderos de canto rodado (residuo de proceso) y los subproductos de canteras de piedra partida.

La caracterización y los estudios comprenden los departamentos de Colón y Concepción del Uruguay en la Provincia de entre Ríos, para las arenas naturales refuladas y la región de Olavarría en la Provincia de Buenos Aires, para el subproducto de piedra partida.

La problemática de las arenas desechadas se ubica dentro de los residuos de procesos, en estos casos es un proceso productivo, las arenas resultan del lavado de canto rodado para la producción de agregados gruesos para hormigones. Actualmente existe prácticamente un consenso entre los constructores locales en que este tipo de arenas no es utilizable tal como se encuentra en los acopios, como agregado fino para hormigones ni para mezclas asfálticas. Ello representa actualmente aproximadamente el 50 % del total del material explotado. Puntualmente se utilizan arenas relavadas con ese destino, aunque sin una aceptación generalizada del material. Distintos trabajos entre los que se encuentra el realizado por la UTN Facultad Regional de Concepción del Uruguay⁽¹⁾ que demuestra que el material es aprovechable mediante un nuevo lavado, principalmente teniendo en cuenta la sustentabilidad del recurso. La toma de muestras de las arenas se realiza de depósitos similares a acopios, constituyendo dos arenas provenientes del mismo lavadero pero una es más limpia que la otra. Dado que esto depende

del lugar o nivel de la cantera de ripio (canto rodado) de la que se extrae, en nuestro caso son de la cantera González.

a. Denominamos como arena 1, a la proveniente del acopio sur.

b. Denominamos como arena 2, a la proveniente del acopio norte.

Estas dos tipologías de arenas mantienen uniformes sus propiedades, además sus características son representativas de todo el material de desecho que se acopia.

El otro material es un subproducto que se obtiene en las canteras de piedra partida, esto le permite entregar a las canteras un material de menor costo, debido a que tiene un menor control de uniformidad de producción, no se selecciona el tamaño, como comúnmente se realiza cuando se solicita 0:6 y 6:20, para realizar una mezcla asfáltica. Se denomina un subproducto debido a que no es de uso común, y al estar compuestas por el rechazo de las zarandas en la trituración, la cantera la comercializa por pedido u oferta.

- a) **Arena Natural:** Le confiere a la mezcla trabajabilidad en el proceso de mezclado y colabora en la deformabilidad (fluencia), esto se debe a que la forma de sus granos es redondeada. En las mezclas pueden utilizarse hasta un 10% de este material, siempre que los valores obtenidos sean adecuados desde el punto de vista mecánico.
- b) **Piedra Partida:** Son elementos de naturaleza pétreo. Los porcentajes que intervienen están en función de la aplicación a que se las destine, siendo en general superior al 90 % en peso y al 80 % en volumen. Aunque los agregados se suelen considerar como un conjunto de partículas discretas y de naturaleza inerte, hay que tener en cuenta que se pueden producir reacciones en contacto con el agua, con el ligante y conglomerantes. Los agregados en las capas asfálticas aportan fundamentalmente la componente de resistencia debido a su rozamiento interno. En este sentido es habitual hacer referencia al esqueleto mineral que solo puede considerarse que existe con un rozamiento interno efectivo. Los grandes volúmenes necesarios de agregados, así como su importancia técnica y económica en las capas asfálticas, hacen imprescindibles los estudios de los materiales en el laboratorio. Hay que determinar cuáles son los que cumplen las características exigidas por los pliegos de prescripciones técnicas y que al mismo tiempo tengan un costo adecuado y no ocasionen problemas medioambientales. Los áridos se clasifican en finos y gruesos, definiendo como: Agregado fino a aquel que pasa el 95% o más por el tamiz 4,8 mm (Nº 4) y Agregado grueso aquel donde el porcentaje retenido en el tamiz 4,8 mm sea el mayor.
- c) **Cemento Asfáltico:** Actúa como ligante entre los distintos agregados y contribuye con la resistencia estructural de la mezcla.
- d) **Aire:** Los vacíos, en las mezclas asfálticas densas, están comprendidos entre el 3 y 5 %. Estos límites se deben a considerar cuestiones de rigidez y durabilidad respectivamente.

2. MATERIALES

2.1. Ligante asfáltico

Para la elección del ligante, se optó por uno de los de mayor consumo en la región. La caracterización del mismo, conforme a la Normativa Argentina IRAM Asfaltos para uso vial, requisitos: IRAM 6604: Clasificación por penetración e IRAM – IAPG A 3835: Clasificación por Viscosidad, se resume en la Tabla N° 1.

Características del Ligante Asfáltico							
Ensayo	Unidad	Norma IRAM	Valor	Límites IRAM 6604 TIPO III		Límites IRAM – IAPG A 3835 CA - 20	
				Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Ensayos sobre el cemento asfáltico							
Penetración (25 °C; 100g; 5s)	0,1mm	6576	90	70	100	70	100
Punto de ablandamiento	°C	6841	46,3	---	---	---	---
Índice de Penetración	---	6604	-0,7	-1,5	0,5	-1,5	0,5
Viscosidad Brookfield a 60°C	cP	6837	1820			1600	2400
Ductilidad a 25°C; 5cm/min	cm	6579	>100	100	----		----
Oliensis		6594	negativo	negativo		negativo	
Punto de Inflamación	°C	6555	234	230	----	230	----
Solubilidad en tricloroetileno	g/100g	6585	99.2	99	----	99	----

Tabla N° 1

2.2. Agregados 0:6 y 6:20

Los agregados denominados piedra partida de coloración gris, provienen de canteras ubicadas en Olavarría, Provincia de Buenos Aires. En las Tablas N° 2 y 3, se muestran sus parámetros, divididos en agregado grueso y agregado fino, en las tablas 4 y 5 se muestran las granulometrías de la piedra partida 0:6 y 6:20.

AGREGADO GRUESO	
Parámetro	Valor
Peso específico (g/cm ³)	2.68
Absorción (%)	0,4
Desgaste Los Ángeles (%)	20
Índice de lascas	25
Índice de agujas	11
Partículas con dos ó más caras de fractura	100

Tabla N° 2

AGREGADO FINO	
Parámetro	Valor
Peso específico (g/cm ³)	2.66
Equivalente de arena (%)	65

Tabla N° 3

GRANULOMETRÍA PIEDRA PARTIDA 0:6							
Abertura de tamiz en μm	74	177	430	2000	4760	12700	19100
% que pasa	6,9	13,4	24,5	59,4	86,0	100	100

Tabla N° 4

GRANULOMETRÍA PIEDRA PARTIDA 6:20							
Abertura de tamiz en μm	74	177	430	2000	4760	12700	19100
% que pasa	0,3	1,0	1,3	1,7	5,2	61,5	100

Tabla N° 5

2.3. Agregados 0:20 Subproducto de Piedra Partida de Olavarria

Este agregado es un subproducto, de coloración gris, proveniente de canteras ubicadas en Olavarría, Provincia de Buenos Aires. En las Tablas N° 6 y 7 se muestran sus parámetros, divididos en agregado grueso y agregado fino y en la Tabla N° 8 la granulometría

AGREGADO FRACCIÓN GRUESA	
Parámetro	Valor
Peso específico (g/cm^3)	2.68
Absorción (%)	0,3
Desgaste Los Ángeles (%)	21
Índice de lajas	24
Índice de agujas	12
Partículas con dos ó más caras de fractura	100

TABLA N° 6

AGREGADO FINO	
Parámetro	Valor
Peso específico (g/cm^3)	2.67
Equivalente de arena (%)	70

TABLA N° 7

GRANULOMETRÍA PIEDRA PARTIDA 0:6							
Abertura de tamiz en μm	74	177	430	2000	4760	12700	19100
% que pasa	5,2	7,6	12,3	27,4	52,5	96,1	100

TABLA N° 8

2.4. Arena Silíceea

Este material proviene del río Paraná obtenido por medio de dragas, las cuales luego se refulan. Estas arenas tienen un contenido del 96 % de sílice y el resto es una mezcla de carbonatos y otros minerales. En la Tabla N° 9 se muestran sus parámetros, y en la Tabla N° 10 la granulometría

ARENA ARGENTINA	
Parámetro	Valor
Peso específico (g/cm ³)	2,62
Equivalente de arena (%)	71

Tabla N° 9

GRANULOMETRÍA DE ARENA ARGENTINA						
Abertura de tamiz en μm	74	177	430	2000	4760	12700
% que pasa	0,2	6,4	87,5	99,8	99	100

Tabla N° 10

2.5. Arenas Refuladas de Concepción del Uruguay

Estas arenas se obtienen del lavado de las gravas arenosas (ripió, canto rodado) proveniente de la explotación de canteras. El material extraído es acarreado y volcado en tolvas que mediante chorros de agua es dirigido a un cilindro rotatorio de malla metálica de diferentes aberturas que, también mediante chorros de agua lava el material, separando granulometrías de agregados gruesos (piedra) que es el producto buscado, y arena fina que es arrastrada por el agua del proceso y luego trasladada a acopios o acumulada por refulado en las cercanías. El porcentaje (como en casi todas las explotaciones de minerales) ha caído respecto a los primeros yacimientos o canteras, desde un 70 % inicial a un actual 30 % del material buscado, que es el material grueso, por lo que la arena pasó a ser más del 50 %. ⁽¹⁾

Petrográficamente son iguales a las arenas del río Paraná y por lo tanto similares químicamente, se evalúa si pueden reemplazar a las arenas del río Paraná. Se debe hacer mención que su principal diferencia con las del río es la menor rugosidad del grano, por lo cual se teme que el grano no tenga un buen recubrimiento de cemento asfáltico con la consiguiente pérdida de adherencia, para salvar este hecho se utiliza un mejorador de adherencia en el ligante asfáltico. En La Tabla N° 11 se observan los parámetros de estas arenas, y en las tablas N° 12 y N° 13 las granulometrías de las mismas.

ARENA 1		ARENA 2	
Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Peso específico (g/cm ³)	2,63	Peso específico (g/cm ³)	2,60
Equivalente de arena (%)	62,0	Equivalente de arena (%)	76,5
PUV (g/cm ³)	1,52	PUV (g/cm ³)	1,45

Tabla N° 11

GRANULOMETRÍA DE ARENA 1						
Abertura de tamiz en μm	74	177	430	2000	4760	12700
% que pasa	1	6	86	96,9	99	100

TABLA N° 12

GRANULOMETRÍA DE ARENA 2						
Abertura de tamiz en μm	74	177	430	2000	4760	12700
% que pasa	0.7	2.5	57.8	93.9	99.4	100

TABLA N° 13

Mineralogía de las arenas muestreadas:

- Son arenas silíceas en un 99%
- Minerales del grupo de la Sílice. A continuación se describen en orden de participación porcentual:
 - *Cuarzo* (SiO_2): Es el principal constituyente de las arenas, de gran estabilidad química y resistencia. Tiene dureza 7 en la escala de Mohs la cual se divide del 1 al 10 siendo este último es más duro, por lo cual las hace resistentes al desgaste, aunque son frágiles al impacto. Posee estructura cristalina bien desarrollada por lo que son estables al ataque de los álcalis liberados durante el fraguado del hormigón.
 - *Calcedonia* (SiO_2): Es una variedad macrocristalina del anterior. Tiene similares características de dureza que el cuarzo. Levemente susceptible a la reacción álcalis - agregado, aunque esto pierde relevancia para uso en mezclas asfálticas.
 - *Ópalo* ($\text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$): Es una variedad amorfa (no posee estructura cristalina) e hidratada. Tiene dureza 6 en la escala de Mohs (levemente inferior al cuarzo). Considerado un mineral reactivo a la reacción álcalis - agregado. Vale la misma aclaración que para el caso anterior (no en mezclas asfálticas) y además se encuentra en porcentajes muy bajos.

- Características texturales: La superficie del grano es lisa y redondeada debido al transporte y que al ser monominerálica el desgaste, es pareja o uniforme, por lo que tiene menor rugosidad en cuanto a capacidad de adherencia.
- El peso específico de los sólidos en el grupo del cuarzo es de 2,65 gr/cm³ excepto el ópalo que es de 2,5 gr/cm³
- Minerales pesados: Hay magnetita como mineral accesorio en la fracción arena. La oxidación de este mineral confiere a los granos una tonalidad amarillenta. Además en cantera el óxido de hierro recubre con un pátina removible a los granos de arena, lo cual puede debilitar la adherencia si no es lavado convenientemente. Sin embargo debemos tener en cuenta que esto es seguramente más gravitante en su uso con cementos tipo Pórtland que en ligante asfáltico. El porcentaje de magnetita es del 0.7 %, su composición química es Fe₃ O₄ y el peso específico es aproximadamente 5 gr/cm³

2.6. Aditivo Mejorador de Adherencia

Estos productos son agentes de superficie (tenso activos) que incorporados al ligante asfáltico, mejoran la adherencia orientando las moléculas más polares del ligante hacia el árido para neutralizar las cargas electrostáticas de la superficie mineral. Reaccionan sobre los agregados minerales, de manera que modifican su superficie y las vuelven “más mojables” por los ligantes asfálticos que por el agua. Los productos que confieren tal efecto son muy diversos al igual que lo será su modo de acción. El mejorador de adherencia utilizado es comercialmente denominado MAGNABOND 2912, de la empresa AKZO NOBEL, es un aditivo anti-desprendimiento de consistencia líquida para mezclas en caliente, posee un olor amínico tenue, además cumple con los requerimientos de estabilidad al calor de laboratorios de prueba de autopistas estatales. Es un producto concentrado y por ende de bajo nivel de uso, las dosis recomendadas son de 0.25 a 0.75 % por peso de ligante asfáltico. Es preferentemente añadido al ligante asfáltico en la planta de mezclado en caliente, por medio de un sistema de inyección especialmente diseñado. La Tabla N° 14 muestra sus propiedades físicas.

Propiedades Físicas				
Apariencia a 25 °C	Líquido café			
Punto de fluidez, °C	5			
Punto de inflamación, °C	> 200			
	Temperatura °C			
	10	20	30	40
Viscosidad mPa.s (cP)	1850	1300	590	230
Densidad, g/cc	1,00	0,99	0,98	0,98

Tabla N° 14

3. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS

3.1. Susceptibilidad al agua a través de la Estabilidad Marshall Remanente

Este ensayo consiste en colocar las probetas moldeadas con la metodología Marshall, en un baño de agua a 60 °C durante 24 horas, luego se ensayan en la prensa Lottman, donde se obtiene la estabilidad remanente (ER) y la deformación (fluencia), como si fuera un Marshall normal. El cálculo se realiza de la siguiente forma:

$$ER = E_{24}/E_1*100$$

Donde:

E_{24} = Es la estabilidad luego de 24 horas en baño de agua a 60 °C

E_1 = Es la estabilidad luego de 1 hora en baño de agua a 60 °C

ER = Es la estabilidad remanente en Porcentaje

El valor de aceptación debe ser mayor al 80 %: $ER > 80\%$

3.2. La Tracción Indirecta y El Test de Lottman

El procedimiento consta de los siguientes pasos: Tres (3) ejemplares son ensayados en seco y los restantes se ensayan luego de la saturación parcial y en condiciones húmedas. El subgrupo seco se almacena a temperatura ambiente hasta el ensayo. Estos especímenes deben envolverse en un film o bien en bolsas impermeables. Los mismos se colocan en un baño de agua a 25 °C durante un mínimo de 2 horas para luego ser ensayados.

El subgrupo restante se acondiciona de la siguiente manera:

- Se colocan las probetas dentro del recipiente de vacío apoyado sobre espaciadores.
- Se llena el recipiente de vacío con agua destilada a temperatura ambiente de manera que los especímenes tengan, al menos, 25 mm de agua sobre su superficie.
- Se aplica vacío de 13 - 67 kPa de presión absoluta durante 5 a 10 minutos. El operador debe controlar el barómetro constantemente a los efectos de no superar los valores indicados.
- Luego se elimina el vacío y se deja a las probetas sumergidas otros 5 a 10 minutos.
- Se determina el peso específico de las muestras según la norma AASHTO T166 (peso específico de mezclas bituminosas compactadas).
- Los especímenes saturados se deben comparar con los del subgrupo seco para determinar el volumen de agua absorbido. Con este dato y el volumen de vacíos (determinado según norma ASSHTO T 269) se determina el grado de saturación. Si el volumen de agua esta comprendido entre el 55 % y el 80 % (*), los especímenes están aptos para continuar con el ensayo. Si es menor al 55 %, se debe repetir el ensayo utilizando más vacío y/o más tiempo. Si supera el 80 % se

considera que el espécimen en ensayo está dañado y debe ser descartado.

- Una vez que se cuenta con el subgrupo (*) se prosigue con los pasos del acondicionamiento:
 - Se cubren los especímenes con un film plástico y cada uno de ellos en una bolsa plástica de dimensiones acordes, que contendrá 10 ml de agua.
 - La misma se colocará en freezer a $- 18\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante un mínimo de 16 horas.
 - Luego del proceso de congelación se colocan las probetas de ensayo en un baño a $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ por espacio de 24 horas ± 1 hora.
 - A continuación se los coloca en otro baño a $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 2 horas agregando hielo al agua, de ser necesario, para lograr mantener la temperatura indicada.

El siguiente paso es ensayar los especímenes. Se debe determinar el esfuerzo de tracción indirecta de ambas muestras (seca y acondicionada) respetando las reglas de la norma ASSTHO T 283 - 89.

Los índices numéricos obtenidos, se computan como datos del ensayo obtenido de los dos subconjuntos: seco y acondicionado

$$\text{TSR} = (\text{Rh} / \text{Rs}) * 100 \geq 80 \%$$

Donde:

Rs = promedio de la resistencia seca

Rh = promedio de la resistencia húmeda

Con los datos obtenidos del ensayo, se procede al cálculo a tracción indirecta mediante la siguiente expresión:

$$T = 2P / (H * D * \pi)$$

Donde:

T = resistencia a la tracción indirecta [Kg / cm²]

P = carga de falla de la probeta

H = altura de la probeta [mm]

D = diámetro de la probeta [mm]

4. Preparación de las mezclas y resultados

En la mezcla patrón del trabajo se utiliza el ligante asfáltico descrito, con el cual se moldean probetas con la metodología Marshall para cada uno de los ensayos (Marshall, estabilidad remante y test de Lottman). Luego se le incorpora al ligante asfáltico un 0,7 % de mejorador de adherencia respecto al peso del ligante asfáltico base. Esta adicción se realiza en forma manual, agitando con una varilla metálica.

La denominación de las mezclas asfálticas elaboradas en estudio son:

Mezcal N° 1

Mezcla Patrón

Mezcla N° 2	Mezcla con arena N° 1, 0:6 y 6:20, ligante asfáltico con y sin mejorador de adherencia.
Mezcla N° 3	Mezcla con arena N° 2, 0:6 y 6:20, ligante asfáltico con y sin mejorador de adherencia.
Mezcla N° 4	Mezcla con arena de río y 0:20, ligante asfáltico con y sin mejorador de adherencia.
Mezcla N° 5	Mezcla con arena N° 1 y 0:20, ligante asfáltico con y sin mejorador de adherencia.
Mezcla N° 6	Mezcla con arena N° 2 y 0:20, ligante asfáltico con y sin mejorador de adherencia.

4.1. Mezcla N° 1

Como se mencionó anteriormente, se optó para el desarrollo del presente, una mezcla asfáltica tipo denso de uso corriente en nuestra zona.

El huso granulométrico de referencia de la mezcla patrón y la curva que resulta de la combinación de los materiales se observan en la tabla N° 15, mientras que en la tabla N° 16 se detalla el porcentaje resultante de la combinación de fracciones adoptadas en esta oportunidad. El porcentaje de ligante óptimo, determinado mediante la metodología Marshall, fue del 5,1 % respecto del total de la muestra, utilizando para la dosificación una energía de compactación de 50 golpes por cara. En la tabla N° 17 se muestran los valores obtenidos de la muestra patrón con el ensayo Marshall y Marshall remanente, en la tabla N° 18 se muestran los valores obtenidos con el test de Lottman.

MEZCLA DE ARIDOS				
Tamiz	Abert.	C. Mín.	Mezcla	C. Máx.
1	25400	100	100,0	100
¾	19100	100	100,0	100
½	12700	85	89,9	100
4	4760	53	66,2	80
10	2000	35	48,4	60
40	430	20	25,0	40
80	177	10	11,8	30
200	74	3	4,5	10

Tabla N° 15

Nomenclatura	%	Dosificación de Áridos (%)
6:20	25,0	26,3
0:6	60,0	63,2
Arena Silíceo	9,9	10,4
70 - 100	5,1	
	100,0	100,0

Tabla N° 16

Material	Densidad Marshall (g/cm ³)	Vacíos (%)	Estabilidad (Kg)	Fluencia (mm)	VAM (%)	RBV (%)	Estabilidad Marshall Remanente (%)
Mezcla patrón con ligante asfáltico sin mejorador de adherencia	2,344	4,6	799	3,2	17	73	28
Mezcla patrón con ligante asfáltico con mejorador de adherencia	2,346	4,5	801	3,3	17	73	92

Tabla N° 17

Tipo de Ensayo	Promedio de la Resistencia Seca	Promedio de la Resistencia Húmeda	Cálculo	MEZCLA N° 1
			TSR = RH/RS*100	
	R_S (gr/cm ³)	R_H (gr/cm ³)	%	Con ligante asfáltico sin mejorador de adherencia
Sin Acondicionar	10		100	
Acondicionadas		3	28	
Acondicionadas		8	84	Con ligante asfáltico con mejorador de adherencia

Tabla N° 18

4.2. Mezcla N° 2, con arena N° 1, 0:6, 6:20 y ligante asfáltico con y sin mejorador de adherencia

En este paso se procede a reemplazar la arena argentina por la arena 1 en la mezcla asfáltica. Dado que las granulometrías son muy similares (Ver Tablas N° 12 y 13), se mantiene el mismo porcentaje de arena que interviene en la mezcla, en la Tabla N° 19 se muestra la curva de los áridos intervinientes, y en la tabla N° 20 se muestran como combinan los porcentajes de los distintos áridos que componen esta mezcla.

MEZCLA DE ARIDOS				
Tamiz	Abert.	C. Mín.	Mezcla	C. Máx.
1	25400	100	100,0	100
¾	19100	100	100,0	100
½	12700	85	89,9	100
4	4760	53	66,1	80
10	2000	35	48,1	60
40	430	20	24,8	40
80	177	10	11,6	30
200	74	3	4,5	10

Tabla N° 19

Nomenclatura	%	Dosificación de Áridos (%)
6:20	25,0	26,3
0:6	60,0	63,2
Arena 1	9,9	10,4
70 - 100	5,1	
	100,0	100,0

Tabla N° 20

En la Tabla N° 21 se muestran los valores obtenidos con el ensayo Marshall, tanto para la mezcla con la arena 1 como la mezcla con la misma arena y con la incorporación del mejorador de adherencia. Como se puede apreciar son muy similares a los obtenidos con la mezcla patrón, exceptuando al ensayo Marshall remanente para la mezcla sin la incorporación del mejorador de adherencia, en donde se evidencia claramente la falta de cohesión de la mezcla, dado que luego de 24 horas sumergidas en agua a 60 °C, las probetas se disgregan, notándose la falta de recubrimiento del ligante asfáltico en los agregados, cuando incorporamos el mejorador de adherencia en la mezcla, estas cumplen con la exigencia del ensayo Marshall remanente.

En el test de Lottman sucede lo mismo con las probetas acondicionadas, luego de las 24 horas a 60 °C, estas se disgregan por completo, donde también se observa la falta de recubrimiento. En cambio cuando se moldean las probetas con el 0.7 % de mejorador de adherencia, y se acondicionan, éstas se pudieron ensayar, obteniéndose valores que cumplen con lo especificado por el test, el cual debe ser mayor al 80 %, estos se muestran en la Tabla N° 22.

Material	Densidad Marshall (g/cm ³)	Vacíos (%)	Estabilidad (Kg)	Fluencia (mm)	VAM (%)	RBV (%)	Estabilidad Marshall Remanente (%)
Mezcla con Arena 1	2,353	4,5	842	3	17	71	0
Mezcla con Arena 1 + 0,7 % Mejorador de Adherencia	2.350	4.3	900	3.3	16.5	74	85

Tabla N° 21

Tipo de Ensayo	Promedio de la Resistencia Seca	Promedio de la Resistencia Húmeda	Cálculo TSR = RH/RS*100	MEZCLA N° 2
	R_S (gr/cm ³)	R_H (gr/cm ³)	%	Con ligante asfáltico sin mejorador de adherencia
Sin Acondicionar	11		100	
Acondicionadas	Probetas disgregadas			Con ligante asfáltico con mejorador de adherencia
Acondicionadas		9	82	

Tabla N° 22

4.3. Mezcla N° 3, con arena N° 2, 0:6 y 6:20, ligante asfáltico con y sin mejorador de adherencia.

Aquí, como se hizo con la arena 1, se reemplaza la arena Argentina en la mezcla asfáltica por la arena 2. Al igual que la anterior, la granulometría de esta es similar a la arena Argentina, aunque hay una pequeña diferencia en los tamices N° 40 y N° 80, pero esto no modifica las proporciones de la mezcla asfáltica, por lo que se mantienen los porcentajes de la mezcla asfáltica inicial. En la Tabla N° 23 se muestra la curva granulométrica de los áridos y en la Tabla N° 24 la dosificación.

MEZCLA DE ARIDOS				
Tamiz	Abert.	C. Mín.	Mezcla	C. Máx.
1	25400	100	100,0	100
¾	19100	100	100,0	100
½	12700	85	89,9	100
4	4760	53	66,1	80
10	2000	35	47,8	60
40	430	20	21,6	40
80	177	10	10,0	30
200	74	3	4,5	10

Tabla Nº 23

Nomenclatura	%	Dosificación de Áridos (%)
6:20	25,0	26,3
0:6	60,0	63,2
Arena 2	9,9	10,4
70 – 100	5,1	
	100,0	100,0

Tabla Nº 24

Como con la arena 1, los valores del ensayo Marshall, coinciden con los de la mezcla patrón, pero con este material se logra realizar el ensayo de estabilidad remanente, aunque no alcance el valor de aceptación, es decir RE > 80 %, los cuales podemos ver en la Tabla Nº 25, en la misma Tabla podemos observar que con la adición de del 07% de mejorador cumple con los valores de aceptación.

Material	Densidad Marshall (g/cm ³)	Vacíos (%)	Estabilidad (Kg)	Fluencia (mm)	VAM (%)	RBV (%)	Estabilidad Marshall Remanente (%)
Mezcla con Arena 2	2,335	5.0	813	2.9	17	70	39
Mezcla con Arena 2 + 0,7 % Mejorador de Adherencia	2.339	4.7	845	3.1	16.9	72	81

Tabla Nº 25

En la Tabla Nº 26 se muestran los resultados obtenidos en el test de Lottman, donde se observa que la mezcla sin mejorador de adherencia no cumple con el mínimo establecido (80 %), en cambio con la incorporación del mejorador cumple con esta exigencia.

Tipo de Ensayo	Promedio de la Resistencia Seca	Promedio de la Resistencia Húmeda	Cálculo TSR = RH/RS*100	MEZCLA Nº 3
	R _S (gr/cm ³)	R _H (gr/cm ³)	%	Con ligante asfáltico sin mejorador de adherencia
Sin Acondicionar	10		100	
Acondionadas		3	30	
Acondionadas		8	80	Con ligante asfáltico con mejorador de adherencia

Tabla Nº 26

4.4. Mezcla Nº 4, con arena de río y 0:20, ligante asfáltico con y sin mejorador de adherencia

En este paso se reemplazan los agregados 0:6 y 6:20 por el agregado 0:20, manteniendo la arena del río Paraná. Se realiza la granulometría y la dosificación de este material, siguiendo las reglas del método Marshall. En la Tabla Nº 27 se muestra la curva resultante de los agregados, y las curvas límites del huso granulométrico de referencia. Los resultados de la dosificación según el porcentaje en peso que intervienen, se muestran en la Tabla Nº 28.

MEZCLA DE ÁRIDOS				
Tamiz	Abert.	C. Mín	Mezcla 0:20	C. Máx.
1	25400	100	100,0	100
3/4	19100	100	100,0	100
1/2	12700	85	96,5	100
4	4760	53	58,0	80
10	2000	35	35,7	60
40	430	20	20,9	40
80	177	10	13,0	30
200	74	3	4,6	10

Tabla Nº 27

Nomenclatura	%	Dosificación de los áridos (%)
0:20	84,0	88,5
Arena de río	10,9	11,5
70 - 100	5,1	
	100	100

Tabla Nº 28

El porcentaje de ligante asfáltico se diseña con el 5,1 % siguiendo la metodología Marshall. Los resultados obtenidos en los ensayos se muestran en la Tabla Nº 29, donde se observa que la estabilidad remanente es baja, no alcanzando el mínimo establecido, pero como con la mezcla anterior, al incorporarle el 0,7% de mejorador de adherencia, el valor de la estabilidad remanente es mayor a 80%.

Material	Densidad Marshall (g/cm ³)	Vacíos (%)	Estabilidad (Kg)	Fluencia (mm)	VAM (%)	RBV (%)	Estabilidad Marshall Remanente (%)
Mezcla con el agregado 0:20	2,340	4,4	791	2,6	16	73	36
Mezcla con agregado 0:20 + 0,7 % Mejorador de Adherencia	2.345	4.3	830	3.0	16.5	73.9	94

Tabla Nº 29

En la Tabla Nº 30 se muestran los resultados obtenidos en el test Lottman, donde se valora que la mezcla sin mejorador de adherencia no cumple con el mínimo que establece la norma (> 80 %), en cambio con la incorporación del mejorador nuevamente se observa que cumple con dicha exigencia.

Tipo de Ensayo	Promedio de la Resistencia Seca	Promedio de la Resistencia Húmeda	Cálculo TSR = R_H/R_S*100	MEZCLA N° 4
	R_S (gr/cm ³)	R_H (gr/cm ³)	%	Con ligante asfáltico sin mejorador de adherencia
Sin Acondicionar	9		100	
Acondionadas		3	33	Con ligante asfáltico con mejorador de adherencia
Acondionadas		8	89	

Tabla N° 30

4.5 Mezcla N° 5, con arena 1 y 0:20, ligante asfáltico con y sin mejorador de adherencia

En este paso reemplazamos la arena del río Paraná por la arena 1. Como en los casos anteriores se utiliza el mismo porcentaje de ligante asfáltico 5,1 %, con el cual se moldean los especímenes para los distintos ensayos. En las Tablas N° 31 y 32 se pueden apreciar la curva granulométrica y la dosificación respectivamente.

MEZCLA DE ÁRIDOS				
Tamiz	Abert.	C. Mín	Mezcla 0:20	C. Máx.
1	25400	100	100,0	100
3/4	19100	100	100,0	100
1/2	12700	85	96,5	100
4	4760	53	58,0	80
10	2000	35	35,7	60
40	430	20	20,9	40
80	177	10	13,0	30
200	74	3	4,6	10

Tabla N° 31

Nomenclatura	%	Dosificación de los áridos (%)
0:20	84,0	88,5
Arena 1	10,9	11,5
70 - 100	5,1	
	100	100

Tabla N° 32

En la Tabla N° 33 se aprecian los resultados obtenidos en los ensayos Marshall y Marshall remanente. Este caso tampoco cumple la mezcla sin aditivar con el mínimo requerido para el ensayo Marshall remanente, pero si cumple con el ligante aditivazo.

Material	Densidad Marshall (g/cm ³)	Vacíos (%)	Estabilidad (Kg)	Fluencia (mm)	VAM (%)	RBV (%)	Estabilidad Marshall Remanente (%)
Mezcla con arena 1 Y agregado 0:20	2,341	4,4	820	3,1	16	73	39
Mezcla con arena 1 Y agregado 0:20 + 0,7 % Mejorador de Adherencia	2.339	4.6	810	2.9	16.5	72	93

Tabla N° 33

En el ensayo del test de Lottman, vemos que tampoco cumple con el mínimo (> 80 %) pero sí cumple con el agregado de mejorador de adherencia como se muestra en la Tabla N° 34.

Tipo de Ensayo	Promedio de la Resistencia Seca	Promedio de la Resistencia Húmeda	Cálculo TSR = $\frac{RH}{RS} \cdot 100$	MEZCLA N° 5
	R_S (gr/cm ³)	R_H (gr/cm ³)	%	Con ligante asfáltico sin mejorador de adherencia
Sin Acondicionar	10		100	
Acondionadas		2	20	Con ligante asfáltico con mejorador de adherencia
Acondionadas		8	89	

TABLA N° 34

4.6 Mezcla 6, con arena 2 y 0:20, ligante asfáltico con y sin mejorador de adherencia

Siguiendo el procedimiento en este paso se reemplaza la arena del río Paraná por la arena 2, se mantiene el porcentaje de ligante asfáltico 5,1 %. En las Tablas N° 35 y 36 se pueden apreciar la granulometría y la dosificación respectivamente.

MEZCLA DE AGREGADOS				
Tamiz	Abert.	C. Mín	0:20	C. Máx.
1	25400	100	100,0	100
3/4	19100	100	100,0	100
1/2	12700	85	96,5	100
4	4760	53	58,0	80
10	2000	35	35,7	60
40	430	20	20,9	40
80	177	10	7,5	30
200	74	3	4,6	10

Tabla N° 35

Nomenclatura	%	Dosificación de los áridos (%)
0:20	84,0	88,5
Arena 2	10,9	11,5
70 – 100	5,1	
	100	100

Tabla N° 36

En la Tabla N° 37 se muestran los resultados obtenidos con los ensayos Marshall y estabilidad remanente. Como se puede apreciar, sigue sin cumplir con el ensayo estabilidad remanente, al igual que las anteriores mezclas, pero también cumplen como las anteriores con el agregado de mejorador de adherencia

Material	Densidad Marshall (g/cm ³)	Vacíos (%)	Estabilidad (Kg)	Fluencia (mm)	VAM (%)	RBV (%)	Estabilidad Marshall Remanente (%)
Mezcla con arena 2 Y agregado 0:20	2,312	4,9	800	3,2	17	71	40
Mezcla con arena 1 Y agregado 0:20 + 0,7 % Mejorador de Adherencia	2.320	4.3	870	3.1	16	74	97

Tabla N° 37

El test de Lottman realizado a la mezcla sin mejorador, no alcanza a cumplir con la exigencia pero sí con la incorporación del mejorador, como lo muestra la Tabla N° 38.

Tipo de Ensayo	Promedio de la Resistencia Seca	Promedio de la Resistencia Húmeda	Cálculo TSR = $R_H/R_S \cdot 100$	MEZCLA N° 6
	R_S (gr/cm ³)	R_H (gr/cm ³)	%	
Sin Acondicionar	10		100	Con ligante asfáltico sin mejorador de adherencia
Acondionadas		3	30	
Acondionadas		9	90	Con ligante asfáltico con mejorador de adherencia

Tabla N° 38

5. CONCLUSIONES

Dado el origen mineralógico de los residuos (arenas refuladas y subproducto de piedra partida) la intención del trabajo consiste no solo en poner en evidencia la resistencia mecánica de las mezclas asfálticas utilizadas con estos productos, sino también la respuesta ante la acción del agua y temperatura.

De acuerdo al ensayo Marshall realizado a las mezclas con las arenas refuladas (arena 1 y 2 respectivamente) se han obtenido valores que se encuentran dentro de los límites estándar para este tipo de mezclas.

El ensayo de estabilidad remanente realizado a las mezclas con ligante asfáltico base, no cumplen con los valores mínimos establecidos. Es evidente que al agregar mejorador de adherencia, la estabilidad remanente cumple perfectamente con los valores mínimos de exigencia.

De la lectura de los resultados, se observa que todas las mezclas realizadas con ligante asfáltico base tienen problemas de cohesión y adherencia, no cumplen con los mínimos que exigen los ensayos de estabilidad remanente y el test de Lottman, que es del 80 %, pero esto se puede revertir con la adición de un mejorador de adherencia como se observa en los resultados obtenidos con los ensayos realizados.

De todos los resultados logrados se desprende que las arenas refuladas se comportan de igual manera que las arenas del río Paraná en las mezclas asfálticas, cumplen perfectamente con las exigencias para este tipo de mezclas. Se puede recomendar su utilización sin ningún inconveniente, siempre que se utilice un mejorador de adherencia en el ligante asfáltico al igual que las arenas provenientes del río Paraná.

El subproducto de piedra partida 0:20, puede ser utilizado en mezclas asfálticas con arenas del río Paraná y refuladas, reemplazando a los agregados 0:6 y 6:20 sin ningún problema ya que cumple con las exigencias para este tipo de mezclas.

6. Bibliografía

- (1) Relevamiento de RCD en la ciudad de Concepción del Uruguay y de RP en los departamentos de Colon y de Uruguay: el caso de las arenas de canto rodado. 4º PROCQMA San Rafael Mendoza Autores Luis Muños y otros.
- Norma ASSHTO 283 – 89 Resistencia de mezclas bituminosas compactadas para daños por humedad inducidos
- Nueva metodología para la valoración de la adherencia árido ligante
Autores: Rebollo Oscar, Gerardo Botasso, Alejandro Bisio - LEMaC - UTN – FRLP
- Susceptibilidad a la humedad de mezclas asfálticas empleando resistencia a tracción indirecta
Autores: Carlos Wahr, Rodrigo Díaz Flores - Universidad Tec. Federico Santa Maria