



Recepción: 20 / 04 / 2017

Aceptación: 20 / 05 / 2017

Publicación: 15 / 06 / 2017



Ciencias de la Construcción

Artículo de Investigación

## Aprovechamiento del hormigón reciclado en obras viales

### *Use of recycled concrete in road works*

### *Uso de concreto reciclado em obras rodoviárias*

Gino F. Flor-Chavez <sup>I</sup>  
[ginoflorch@ug.edu.ec](mailto:ginoflorch@ug.edu.ec)

Judith A. Chalen-Medina <sup>II</sup>  
[judith.chalenm@ug.edu.ec](mailto:judith.chalenm@ug.edu.ec)

Zoila L. Cevallos-Revelo <sup>III</sup>  
[zolila.cevallosre@ug.edu.ec](mailto:zolila.cevallosre@ug.edu.ec)

Correspondencia: [ginoflorch@ug.edu.ec](mailto:ginoflorch@ug.edu.ec)

- <sup>I.</sup> Economista con Mención en Gestión Empresarial (Especialización Marketing), Magister en Educación Superior, Especialista en Proyectos de Desarrollo Educativos y Sociales, Docente Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- <sup>II.</sup> Tecnólogo Pedagógico en Informática y Programación, Licenciado en Ciencias de la Educación Mención Informática y Programación, Profesor de Segunda Enseñanza Especialización Informática y Programación, Magister en Gerencia de Tecnologías de la Información, Docente Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- <sup>III.</sup> Ingeniero Tecnológico en Computación y Ciencias de la Informática, Profesora de Segunda Enseñanza Especialización Informática Educativa, Analista de Sistemas, Licenciada En Ciencias de la Educación en la Especialización de Informática Educativa, Magister en Informática Educativa y Multimedia Mención Desarrollo de Multimedia, Diploma Superior Las Nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación y su Aplicación en la Práctica Docente Ecuatoriana, Diploma Superior en Investigación de la Educación a Distancia, Magister En Docencia y Currículo, Diploma Superior en Diseño de Proyectos, Especialista en Liderazgo y Gerencia, Magister en Gerencia de Proyectos Educativos y Sociales, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

## Resumen

El empleo de agregados reciclados obtenidos de la demolición de las estructuras de hormigón es un tema prioritario en la mayoría de países para disminuir el consumo de recursos naturales, cubrir las necesidades crecientes de materia prima y minimizar espacios para la disposición de residuos protegiendo al medio ambiente. Se estudiaron alternativas de uso de los residuos de pavimentos urbanos, a partir del análisis de un caso específico en la zona del Gran La Plata (Provincia de Buenos Aires, Argentina), donde existen numerosos pavimentos que requieren reparación y reconstrucción. Se utilizaron las fracciones fina y gruesa de agregados reciclados obtenidos a partir de la trituración de losas que eran retiradas durante una repavimentación. Luego de caracterizar estos agregados se analizaron varias alternativas de uso entre las que se incluyeron hormigones de cemento portland, pavimentos asfálticos y bases granulares. En cada caso se realizaron estudios comparativos con mezclas similares elaboradas sólo con agregados naturales. Incorporando agregado reciclado (grueso y fino) en concreto asfáltico en caliente no se obtuvieron mezclas que cumplieran los requisitos establecidos para este material, al emplear sólo la fracción fina se alcanzaron los parámetros volumétricos requeridos pero con un gran incremento de la rigidez. En cuanto al uso en bases granulares al mezclar agregado reciclado grueso y fino en diferentes porcentajes se obtuvo un Valor Soporte inferior al requerido para bases pero mayor al exigido para subbases. Referente en hormigones, las mezclas usadas como base de apoyo (hormigón pobre) no influye el uso de agregados reciclados en las propiedades ya que muestran resistencias parecidas, en cambio las mezclas usadas como capa de rodaduras, estos hormigones con agregados reciclados presentan resistencias inferiores. También incluye un análisis de los costos de cada una de las alternativas estudiadas que demuestra que para la región el uso de agregado reciclado en la elaboración de pavimentos y bases granulares, además de los beneficios ambientales, da lugar a un ahorro económico considerable comparado con mezclas similares elaboradas con agregados naturales, principalmente en lo relacionado con el costo de los materiales y su transporte.

**Palabras clave:** Materiales y Medio ambiente.

## **Abstract**

The use of recycled aggregates obtained from the demolition of concrete structures is a priority issue in most countries to reduce the consumption of natural resources, to cover the increasing needs of raw materials and to minimize spaces for the disposal of waste, protecting the environment. We studied alternatives to the use of urban pavement residues, based on the analysis of a specific case in the Gran La Plata area (Province of Buenos Aires, Argentina), where there are numerous pavements that require repair and reconstruction. The fine and coarse fractions of recycled aggregates obtained from the crushing of slabs that were removed during repaving were used. After characterizing these aggregates, several alternatives of use were analyzed, including portland cement concretes, asphalt pavements and granular bases. In each case comparative studies were performed with similar mixtures made only with natural aggregates. Incorporating recycled aggregate (coarse and fine) in hot asphalt concrete did not obtain mixtures that fulfilled the requirements established for this material, when using only the fine fraction the required volumetric parameters were reached but with a great increase of the stiffness. As for the use in granular bases when mixing coarse and fine recycled aggregates in different percentages, a Support Value lower than the one required for bases was obtained, but greater than that required for subbases. In concrete, the mixtures used as a support base (poor concrete) does not influence the use of recycled aggregates in the properties since they show similar strengths, in contrast the mixtures used as a layer of rolling, these concrete with recycled aggregates have lower strengths. It also includes an analysis of the costs of each of the alternatives studied which shows that for the region the use of recycled aggregate in the development of pavements and granular bases, in addition to environmental benefits, leads to considerable economic savings compared to mixtures Similar products made with natural aggregates, mainly related to the cost of materials and their transportation.

**Key words:** Materials and Environment.

## Resumo

O uso de agregados reciclados obtidos a partir de demolição de estruturas de betão é uma prioridade na maioria dos países de reduzir o consumo de recursos naturais, satisfazer as prioridades na maioria de matérias-primas e os espaços para minimizar o descarte de resíduos para o meio ambiente protegido. Alternativas foram estudadas utilizando resíduos urbanos pavimentos, a partir da análise de um caso específico na Gran La Plata (província de Buenos Aires, Argentina), onde vários pavimentos que exigem reparação e reconstrução. Nós usamos as frações finas e grossas de agregados reciclados obtidos a partir de esmagamento lajes foram removidas durante uma resurfacing. Após a caracterização destes agregados foram analisados utilizando várias alternativas entre os quais estão incluídos betão de cimento Portland, pavimentos asfálticos e bases granulares. Em cada caso, estudos comparativos com misturas semelhantes, preparado com agregados naturais. Incorporando agregado reciclado (grossa e fina) em misturas asfáltica a quente não estavam reunidos os requisitos para este material, usando apenas a fração fina é atingido parâmetros volumétricos necessário, mas com um grande aumento na rigidez. Na utilização de bases granulares para mesclar adicionando grosseiro e fino reciclado em diferentes porcentagens obtido um valor abaixo do que seria necessário para suportar base, mas maior do que o necessário para a sub-base. Referência em concreto, o apoio mesclas com base utilizado (pobre concreto) não influencia o uso de agregados reciclados, uma vez que apresentam propriedades de resistência similar, enquanto que as misturas de revestimento utilizado como degraus, esses concretos de agregados reciclados têm menor resistência. Inclui uma análise dos custos de cada uma das alternativas consideradas para a região que mostra que o uso de agregados reciclados no fabrico de pavimento e as bases granulares, em adição aos benefícios ambientais, resultando em economia de custos em comparação com misturas consideráveis semelhantes, preparados com agregados naturais, principalmente relacionados com o custo de materiais e transporte.

**Palavras-chave:** Materiais e Ambiente.

## Introducción.

La industria del hormigón (Toirac, 2009) genera aproximadamente 1800 millones de toneladas de hormigón al año y una vez cumplido su ciclo de vida útil, el residuo tiene como destino los botaderos públicos o como material de relleno. En la actualidad, en muchos países del mundo se están generando normas para la reutilización de estos residuos (Domínguez, J; Martínez, E, 2007).

Debido a la cantidad de agregados que requieren las diferentes capas de la estructura de una vía, parece adecuado pensar en la reutilización de estos agregados. Existen en la actualidad diversos estudios que recomiendan el uso de los agregados reciclados (AR) (Martínez, I; Mendoza, C, 2006), sea para la elaboración de nuevos hormigones o como capas granulares y en menor medida el uso en mezclas asfálticas. (CEDEX, 2009).

## Materiales y métodos.

El hormigón de origen de los agregados reciclados (AR) fue obtenido a partir de losas fracturadas que eran retiradas dentro de un programa de bacheo (Figura 1) en la ciudad de La Plata. Dicho hormigón fue elaborado con agregados graníticos, muy frecuentes de la zona. Los agregados reciclados fueron obtenidos mediante el empleo de una trituradora de mandíbulas logrando dos fracciones de agregado grueso reciclado (AGR) y una de agregado fino reciclado (AFR).

La relación entre peso de losa y peso de AR generado es en general 1:1 y da lugar a un 80% de AGR y 20% de AFR aproximadamente.



Figura 1: Pedazos de losas de pavimento usados en la obtención de áridos

Se estudiaron como alternativas el uso de los agregados reciclados en mezclas asfálticas, en hormigones de cemento portland y en bases granulares. Se eligieron dos de los tipos de Concreto Asfáltico Convencional (CAC) más utilizados, uno de granulometría gruesa (G19) para capa de base y uno de granulometría densa (D19) para capa de rodadura. En principio se proyectó el uso de la totalidad del AR como agregado (Serie I), pero dado que al aplicar la metodología especificada en Argentina para el diseño y evaluación de CAC se presentaron altos porcentajes de AGR fracturado durante el mezclado y compactación (Pérez et al, 2007), en adelante se decidió usar solamente el AFR (Series II y III). En hormigones se analizó el uso como capa de rodamiento (tipo H-30) o como base (tipo H-13). La elaboración de hormigones se realizó usando solamente la fracción gruesa del agregado reciclado. Finalmente se elaboró una base granular combinando AGR y AFR.

Para el CAC el ligante utilizado fue un cemento asfáltico que cumple los requerimientos de un asfalto Tipo II de Penetración 50-60 de la norma argentina IRAM 6604. Para la elaboración de los hormigones se utilizó un cemento portland, agregado grueso natural y reciclado, superfluidificante, un aditivo reductor de agua y arena silíceo natural. Para elaborar la base granular y proporcionar cohesión se utilizó un suelo seleccionado que cumple con los requerimientos del tipo de suelo A4 según H.R.B. (Highway Research Board).

Las dos fracciones de AGR fueron identificadas como R38 y R19 tomando en cuenta el tamaño máximo. La fracción fina fue identificada como R0-6. Como agregados naturales se emplearon dos piedras graníticas trituradas (G19 y G25) y una arena de trituración 0-6 (G0-6) provenientes de la ciudad de Olavarría, Provincia de Buenos Aires. Dado a que en Argentina no existe una normativa o recomendación para uso y caracterización de AR se utilizaron las normas para agregados naturales tanto gruesos como finos. La Figura 2 permite apreciar que los agregados naturales y reciclados presentan granulometrías similares. En la Tabla 1 se comparan sus propiedades físicas y mecánicas y verifican que los agregados reciclados poseen menor densidad, e índices de lajas (IL) y agujas (IE) pero mayor desgaste y absorción que los agregados naturales.

En cuanto a los agregados finos reciclados presente igual equivalencia de arena que los agregados naturales.

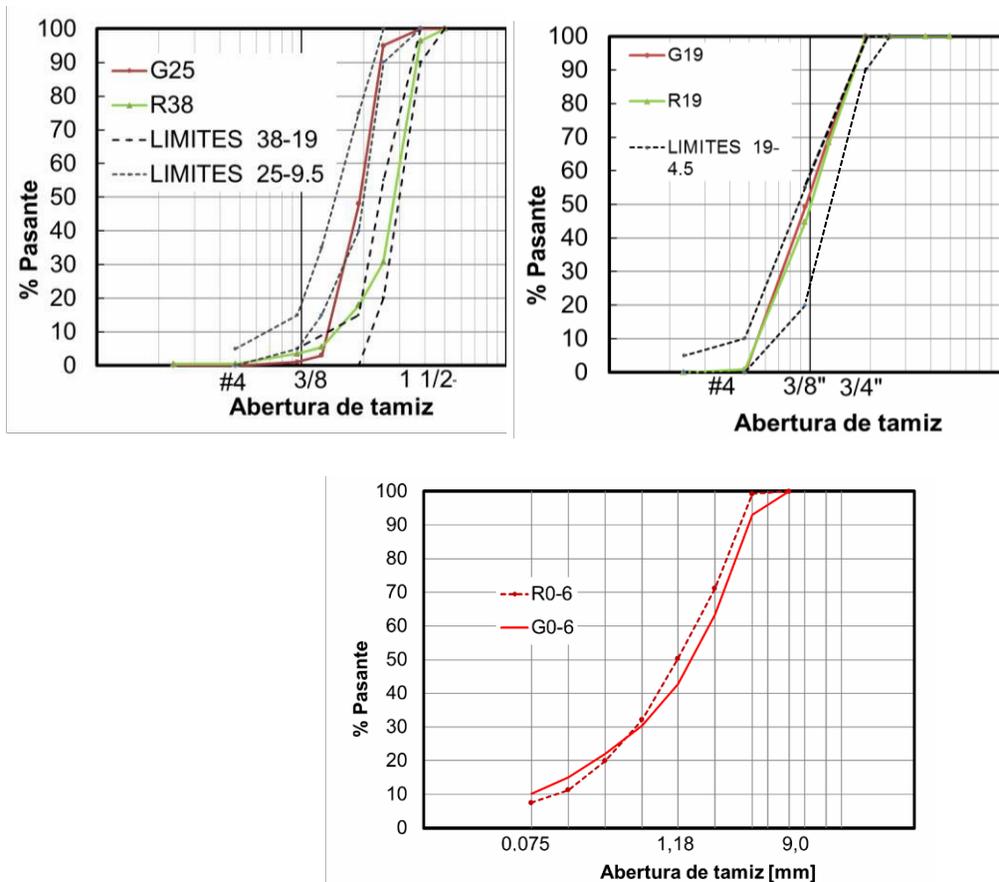


Figura 2: Curvas granulométricas de los agregados gruesos y finos

Fracción	G25	G19	R19	R38	G0-6	R0-6
Densidad real					2.735	2.542
Densidad sat sup seca	2.72	2.66	2.49	2.43		
Densidad seca	2.71	2.65	2.39	2.33	2.652	2.229
Absorción (%)	0.30	0.40	4.05	4.30	1.1	5.5
Desgaste " Los Ángeles" (%)	19.5	20.2	35.9	34.8		
Equivalencia de arena (%)					83.0	82.7
PUVs (kg/m <sup>3</sup> )	1452	1466	1318	1297		
IL (%)	17.0		8.4			
IE (%)	48.1		25.9			

Tabla 1: Propiedades de los agregados

## Resultados

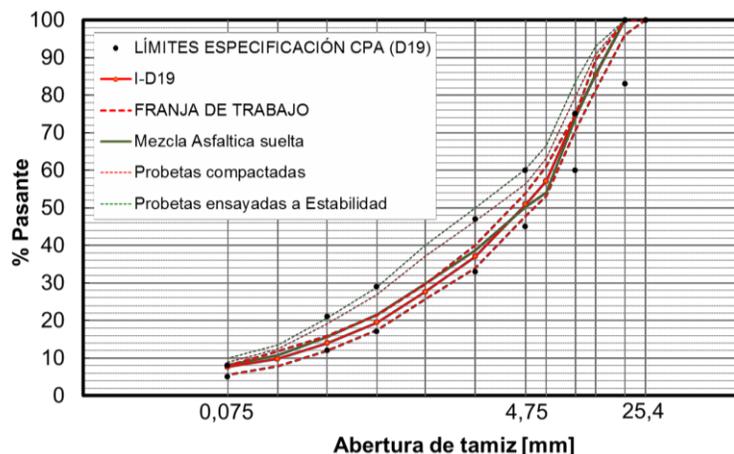
### *Diseño y caracterización de mezclas asfálticas con agregados reciclados*

En principio, se proyectó el uso de la totalidad del AR como agregado en las mezclas (Serie I). Sin embargo, al aplicar la metodología especificada en Argentina para el diseño y evaluación de los CAC, se presentaron altos porcentajes de AGR fracturado durante los procesos de mezclado y compactación, por lo que de allí en adelante se decidió usar solamente el AFR (Series II y III). Con cada mezcla se moldearon probetas con el compactador Marshall utilizando 5,50 % de asfalto y se determinaron sus propiedades volumétricas y mecánicas. Las probetas de I-D19 se compactaron aplicando 75 golpes por cara mientras que en el caso de I-G19 CS y I-G19 SS se empleó menor energía de compactación, 50 golpes por cara.

Mezcla	AGR	AFR	Filler calcáreo	Cal	Arena silícea
	%	%	%	%	%
I-D19	50	45	4	1	0
I-G19 SS	67	31	0	2	0
I-G19 CS	67	21	0	2	10

**Tabla 2: Serie I: CAC que incorporan la totalidad de AR.**

A partir de las recuperaciones por lavado de reflujo de solvente realizadas se observaron cambios significativos en las granulometrías debidos a la degradación del AGR durante la elaboración de las mezclas, este efecto es más importante en el proceso de compactación, pero la degradación se acentúa durante el ensayo de Estabilidad Marshall como se observa en la Figura 3. Dado que la interacción entre partículas de agregados gruesos constituye una contribución importante dentro del mecanismo resistente de un concreto asfáltico, la posibilidad de una fractura progresiva de dichas partículas resulta en principio inadmisibles (Cho et al, 2010). Por tal motivo se planteó como segunda alternativa explorar el uso del AFR (Serie II).



**Figura 3: Cambios granulométricos por degradación de la mezcla I-D19**

La serie II incluye 2 mezclas utilizando AGN y el AFR: un CAC D19 (II-D19) y un CAC G19 (II-G19), sus proporciones se indican en la Tabla 3. Para el diseño de la mezcla se utilizó el Método Marshall con un barrido de contenidos de asfalto de 4,5 %, 5,0 % y 5,5 %. Las probetas fueron moldeadas empleando 75 golpes/cara para la carpeta y 50 golpes/cara para la base.

Mezcla	AGR	AFR	Filler calcáreo	Cal	Arena silícea
	%	%	%	%	%
II-D19	50	35	4	1	10
II-G19	67	21	0	2	10

**Tabla 3: Serie II: CAC que incorporan la totalidad de AFR y AGN**

En cuanto a los parámetros mecánicos se encontraron resultados típicos de una mezcla poco flexible, que no fueron afectados significativamente por la variación del contenido de asfalto. En base a los datos obtenidos se adoptó el contenido óptimo de asfalto que más ajusta a los criterios de las recomendaciones de la CPA que se exponen en la Tabla 4.

Parámetros	Carpeta	Base	Criterio
	II-D19	II-G19	CPA
Contenido de asfalto adoptado, [%]	5,0	5,0	–
Energía de compactación	75 GPC	50 GPC	<b>75 ó 50 (decide la E.T.P.)</b>
Estabilidad Marshall, [N]	19630	14061	<b>E &gt; 9000</b>
Relación E/F, [N/mm]	8991	4687	<b>2500 &lt; E/F &lt; 4500</b>
Porcentaje de vacíos, [%]	2,7	3,8	<b>3 a 5</b>
Relación betún-vacíos, [%]	78,0	75,7	<b>68 a 78</b>
Vacíos del agregado mineral, [%]	14,5	15,8	<b>≥ 14</b>

**Tabla 4: Parámetros de las mezclas con el contenido óptimo de asfalto adoptado**

Dado que el porcentaje de vacíos para la capa de rodadura con 5 % de cemento asfáltico no cumplía con el mínimo requerido, se moldearon probetas con menor energía de compactación (50 golpes/cara) adoptando el criterio de diseño de mezclas de tránsito medio del Instituto del Asfalto de EEUU. Como se verá más adelante con menor energía de compactación se verifica que el porcentaje de vacíos está entre 3 y 5 %.

Los criterios para obtener el porcentaje óptimo de ligante están referidos a mezclas con agregados naturales, en el caso de las probetas con AFR se encontraron mezclas mucho más rígidas que las convencionales con AN, lo que pudo ser causado por la presencia de material cementíceo proveniente del hormigón original (Arm, 2001). Una posibilidad de reducir esta rigidez es a través del uso de asfaltos de menor consistencia, de esta manera la mezcla puede flexibilizarse sin cambiar significativamente los parámetros volumétricos. El estudio de esta alternativa excede el alcance del presente estudio. La Tabla 5 muestra las dosificaciones finales de las mezclas.

Mezclas	II-D19		II-G19	
	% árido	% en mezcla	% árido	% en mezcla
G6-20	50	47,5	67	63,7
R0-6	35	33,3	21	20,0
Arena silícea	10	9,5	10	9,5
Cal	1	1,0	2	1,9
Filler	4	3,8	–	–
Asfalto	–	5,0	–	5,0

**Tabla 5: Dosificación definitiva de las mezclas de la serie II**

En la serie III se prepararon un CAC tipo D19 (III-D19) y un CAC G19 (III-G19). Se moldearon seis probetas, cada una de ellas con los correspondientes contenidos óptimos de asfalto aplicando 50 golpes por cara. Además de los parámetros Marshall se evaluaron el módulo de rigidez, la resistencia a tracción y daño por humedad. En la Tabla 6 se comparan los parámetros encontrados con los criterios de la CPA. Además se realizó a la mezcla densa el ensayo de rueda cargada (Wheel Tracking Test, WTT) empleando probetas prismáticas de 0.3x0.3x0.05 m compactadas a la densidad de diseño a 60 °C. Los valores de la Tabla 7 muestran que no se cumplen los valores mínimos recomendados por el LEMIT para evitar el ahuellamiento ante volúmenes de tránsito normal a alto.

Parámetros	III-D19	III-G19	Criterio CPA
Estabilidad Marshall [N]	16306	12707	E > 9000
Relación E/F [N/mm]	6611	5431	2500 < E/F < 4500
Porcentaje de vacíos [%]	4,0	3,7	3 a 5
Relación betún-vacíos [%]	74,7	76,2	70 a 80
Vacíos del agregado mineral [%]	15,6	15,7	≥ 14
Resistencia a Tracción, 25 °C [kPa] (IRAM 6846)	1850	1614	–
Módulo de Rigidez, 20 °C [MPa] (UNE-EN 12697-26)	12049	11874	–
Daño por humedad (24 h a 60 °C), [%]	78	83	>80 % Anexo I CPA
Daño por humedad (16 h a -18 °C + 24 h a 60 °C), [%]	77	78	> 80 % Manual SP-2

**Tabla 6: Serie III: Propiedades de las mezclas**

	Valores Medios		Recomendaciones LEMIT	
	120 min	60 min	120 min	60 min
Profundidad de huella [mm]	2,55	2,03	–	–
Velocidad de Deformación [mm/min]	0,0073	0,0122	< 0,0052	< 0,0093
Estabilidad Dinámica [pasadas/mm]	5753	3430	> 8000	> 4500

**Tabla 7: Parámetros de ahuellamiento en la mezcla III-D19.**

*Estudio de hormigones de cemento portland*

Siguiendo técnicas convencionales se elaboraron hormigones tipo H-13 y H-30 tanto con agregados naturales como incorporando AGR. La Tabla 8 resume las características y propiedades de los mismos. En los hormigones H13 se observaron resistencias a compresión, flexión y rendimientos parecidos sin importar el agregado grueso utilizado, en cambio las distintas resistencia de los hormigones H30 tuvieron una disminución con respecto a los hormigones elaborados con agregados naturales.

Hormigón	H13N	H13R	H30N	H30R
Agregado grueso [kg/m <sup>3</sup> ]	1174	1052	1059	983
Contenido unitario de cemento [kg/m <sup>3</sup> ]	204	201	318	324
Asentamiento [mm]	40	40	45	75
Resistencia a compresión a 28 días [MPa]	14,7	14,1	33,9	28,7
Resistencia a flexión a 28 días [MPa]	2,8	2,7	3,9	3,6
Módulo de Elasticidad [GPa]	28	24,5	37,8	29
Resistencia a compresión diametral [MPa]	1,5	1,5	2,1	1,8
Rendimiento (MPa/10 kg cemento)	0,7	0,7	1,1	0,9

**Tabla 8: Estudio de hormigones con AGR.**

## Diseño de la base granular

La base granular fue elaborada con la totalidad de AR, utilizando las dos fracciones gruesas y la fracción fina combinadas con un suelo seleccionado para proporcionar cohesión a la mezcla. En la Tabla 9 se muestra la dosificación adoptada. Una vez definida la composición granulométrica se realizó el ensayo de compactación Proctor Modificado [VN-E5-93] para determinar el Peso por Unidad de Volumen Seco (PUVVS) de muestras compactadas con diferentes contenidos de humedad a fin de definir el PUVSmáx y el correspondiente contenido de humedad. La Figura 4 muestra la curva de Densificación Proctor, en este caso la humedad óptima fue 8,2 % y el PUVSmáx 1,906 g/cm<sup>3</sup>. Se destaca que la humedad óptima con agregados reciclados es mucho mayor que la encontrada con agregados naturales dada la mayor absorción de los AR.

Material	% en peso
R38	40
R19	20
AFR	35
Suelo	5

**Tabla 9: Composición de la base granular**

Una vez determinadas las condiciones óptimas de compactación se moldearon probetas para la determinación del Valor Soporte (CBR); la norma argentina indica que el Valor Soporte de una base granular deberá obtenerse mediante el Método Dinámico Simplificado N°1 y deberá alcanzar un mínimo de 80 % para el material compactado al 97 % de su PUVSmáx. Las probetas que fueron saturadas en agua por 4 días no presentaron hinchamiento e incluso requirieron mayores presiones de penetración que las probetas compactadas en estado seco con igual energía. La bibliografía (CEDEX, 2011) asocia este efecto a reacciones de compuestos no hidratados presentes en el agregado fino provenientes del cemento portland del hormigón reciclado, los que en presencia de agua a temperatura ambiente adquieren propiedades hidráulicas. El CBR en estado embebido fue del 56 % y de 47 % para el estado seco (Ver figura 5). Considerando este hecho correspondería usar para el diseño la condición más desfavorable, es decir CBR en estado seco, sin tener en cuenta la

cementación encontrada en estado embebido. El Valor soporte no cumple con el mínimo exigido de 80% para bases pero cumple con el valor exigido para subbases.

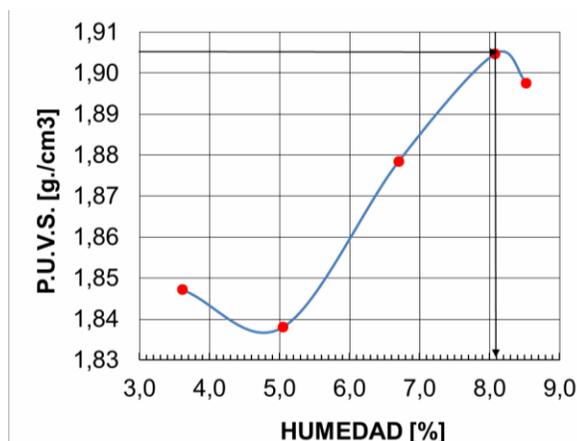


Figura 4: Obtención de las condiciones óptimas de compactación

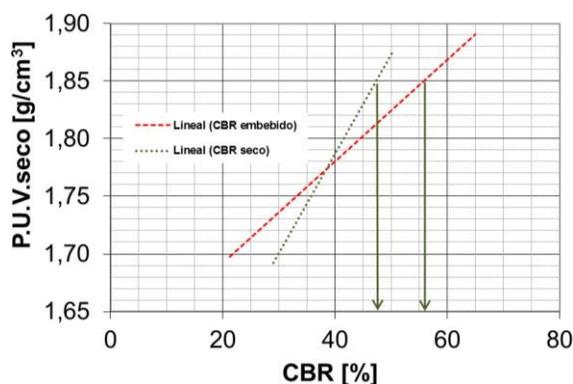


Figura 5: Valor Soporte en estado seco y embebido

Cabe recalcar que realizando un pequeño cambio en la dosificación de los materiales evaluados para cumplir con los límites granulométricos de una subbase, donde se podrían cumplir los requerimientos de CBR mínimo de 40 %.

### Análisis de costos

Con el fin de valorar el impacto económico que generaría el uso de agregados reciclados en obras viales, se seleccionaron los siguientes casos:

- 1a.- Subbase de estabilizado granulométrico con AR (espesor 0,20 m).

- 1b.- Subbase de estabilizado granulométrico con AR (espesor 0,20 m).
- 2a.- Pavimento de hormigón simple tipo H13 con AR (espesor 0,20 m).
- 2b.- Pavimento de hormigón simple tipo H13 con AN (espesor 0,20 m).
- 3a.- Base Asfáltica incluyendo riego de liga con AFR (espesor 0,10 m).
- 3b.- Base Asfáltica incluyendo riego de liga con AFN (espesor 0,10 m).

En la Tabla 10 se sintetiza el análisis realizado sobre los diferentes componentes de costo: materiales, mano de obra, transporte y equipos, etc.; se observa que no existen diferencias en los costos de equipos, reparaciones y repuestos, combustibles y mano de obra, sino que la principal ventaja económica se refiere al costo de los agregados naturales y su transporte a la zona, dada la distancia donde se encuentran los yacimientos que es del orden de 300 km.

Ítem	Materiales	Mano de Obra	Transporte	Amortización e Interés	Reparaciones y Repuesto	Combustibles y Lubricantes	Costo - Costo
1.a	5,55	5,67	0,43	3,68	2,94	11,67	29,94
1.b	29,83	5,67	57,07	3,68	2,94	11,67	110,86
2.a	34,60	8,49	12,62	3,03	2,43	6,39	67,56
2.b	47,52	8,49	39,91	3,03	2,43	6,39	107,77
3.a	30,09	5,15	20,80	2,36	1,89	2,86	63,15
3.b	30,64	5,15	26,87	2,36	1,89	2,86	69,68

**Tabla 10: Síntesis del Precio Unitario de los diferentes rubros**

Si bien el impacto positivo al medio ambiente no se estudió en este capítulo, se considera sumamente importante destacarlo, considerando que la sustentabilidad en las construcciones civiles y en los procesos industriales en general representa uno de los mayores desafíos del siglo XXI. Además del consumo de recursos no renovables y del hecho que se dejan de extraer grandes superficies de capas vegetales, se disminuye en el caso estudiado el consumo de combustibles y de neumáticos para el transporte de agregados.

## Conclusiones,

Los agregados reciclados (AR) generados por una trituradora de mandíbulas presentaron una distribución granulométrica que los hace aptos para su empleo en hormigones, mezclas asfálticas y estabilizados granulares; pero dada la presencia de mortero en los agregados, sus diferencias con los agregados naturales (menor densidad, mayor absorción y pérdida por abrasión) deben ser tenidas en cuenta al momento de elaborar las mezclas.

En mezclas asfálticas los AGR sufren importantes degradaciones durante las etapas de mezclado y compactación, lo que puede asociarse al alto desgaste Los Ángeles de estos agregados, por lo que se aconseja su uso en porcentajes inferiores al 30%. Las mezclas con AFR resultaron poco flexibles y sus valores de ahuellamiento no cumplen las recomendaciones para tránsito medio a alto; sin embargo es factible el uso de AR en mezclas asfálticas para casos de bajo tránsito.

Las bases granulares con AR presentaron menor peso unitario y mayor humedad óptima que las elaboradas con agregados naturales, lo que se atribuye a la menor densidad y mayor absorción del AR. Las probetas sumergidas cuatro días en agua no sufrieron cambios de volumen y presentaron mayor valor CBR que las ensayadas en estado seco. El valor soporte en la base con AR no alcanzó el mínimo exigido para bases pero cumple con el valor solicitado para elaborar subbases.

Para el caso estudiado en la zona del Gran La Plata, los costos del material y el transporte del agregado natural constituyen los principales factores que inciden en el costo total, estimando al momento actual ahorros por m<sup>3</sup> de 370 %, 60 % y 10 % para la construcción de subbases con estabilizado granular, bases de hormigón pobre y de concreto asfáltico respectivamente.

Finalmente se destaca que si bien el impacto positivo sobre el medio ambiente no se ponderó en este trabajo, se considera relevante dado que la sustentabilidad en las construcciones civiles y en los procesos industriales representa uno de los mayores desafíos del siglo XXI. Además de reducir el consumo de recursos no renovables y la extracción de grandes superficies de capa vegetal, para el caso estudiado disminuye sustancialmente el consumo de combustibles y otros insumos que corresponden al transporte de agregados naturales.

## **Agradecimientos.**

Al Ing. Horacio Osio, a todo el personal del laboratorio LEMIT y a su director por permitirme realizar la investigación en dicha institución. Y por último no puedo dejar de agradecer a mis padres: Gino y Fátima, a mis hermanos: Julia, Cristina y Carlos y a mis abuelos por su apoyo incondicional en diferentes etapas de mi vida.

## **Bibliografía.**

- Appolloni, O., Morano, P. (2009). Dos viejos adversarios se unen para el mismo objetivo. Base Granular Asfáltica – Empleo de hormigón triturado como agregado pétreo. XV° Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, en CD.
- Arm, M. (2001). Self-cementing properties of crushed demolished concrete in unbound layers: results from triaxial tests and field tests. *Waste Manag* 21 (3), pp. 235–239.
- CEDEX. 2009. Uso de Áridos Reciclados Mixtos procedentes de Residuos de construcción y demolición. Investigación Pre normativa del Gobierno Vasco, pp. 10-19.
- Cho, H., Yun, T., Kim, I., Choi, N. (2010). The application of recycled concrete aggregate (RCA) for Hot Mix Asphalt (HMA) Base layer aggregate. *J. of Civil Eng*, pp. 1-6, 2011.
- Domínguez, J; Martínez, E. (2007). Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas. Mérida, México: REDALYC.
- Martínez, I; Mendoza, C. (2006). Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados. Distrito Federal, México: REDALYC.
- Moreira, M. A. (2012). *La Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico.*, (p. 11). Argentina.
- Pérez, I., Toledano M., Gallego, J., Taibo, J. (2007). Propiedades mecánicas de mezclas bituminosas en caliente fabricadas con áridos reciclados de residuos de construcción y demolición. *Materiales de Construcción*, Vol. 57, 285, 17-29.
- Toirac, J. (2009). La resistencia a compresión del hormigón, condición necesaria pero no suficiente para el logro de la durabilidad de las obras. Santo Domingo, República Dominicana: REDALYC.