

PROPIEDADES DE LOS ÁRIDOS RECICLADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Idanelsys Reyes Echeverría¹, Debora Acosta Alvarez², Anadelys Alonso Aenlle³, Jessika Morales Fournier⁴

¹ UEB Prefabricado y Premezclado Artemisa, Especialista A en prefabricado, Calle C interior # 8, Reparto Noel Camaño, San Cristóbal. E-mail: idanelsys@nauta.cu

² Docente, Asistente, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría"-CUJAE, Centro de Estudios de Construcción y Arquitectura Tropical, CECAT, Calle 114 #11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Mariano - CP 19390. E-mail: dacostaa@civil.cujae.edu.cu

³ Docente, Auxiliar, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría"-CUJAE, Centro de Estudios de Construcción y Arquitectura Tropical, CECAT, Calle 114 #11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Mariano - CP 19390. E-mail: anadelysaa@civil.cujae.edu.cu

⁴ Docente, Asistente, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría"-CUJAE, Centro de Estudios de Construcción y Arquitectura Tropical, CECAT, Calle 114 #11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Mariano - CP 19390. E-mail: jmoralesf@civil.cujae.edu.cu

RESUMEN

El uso de los Residuos de la Construcción y Demolición (RCD) en la construcción de pavimentos puede ser una solución viable para preservar el consumo de áridos naturales (AN) y minimizar el impacto de vertederos. Los áridos reciclados (AR) presentan características que los diferencian de los áridos naturales debido al cemento adherido en su superficie producto del proceso de trituración de los residuos. El objetivo de este trabajo es investigar las características de los áridos reciclados provenientes de losas Spiroll prefabricadas. Las muestras fueron obtenidas a partir de restos de losas, su trituración y el tamizado de material suelto. Se realizó el estudio sobre las fracciones 0-5 mm y 5-10 mm de áridos reciclados (AR) con el objetivo de definir las propiedades de los AR en comparación con los AN. Se realizó además un análisis estadístico de grupo en las propiedades de los áridos en ambas fracciones para determinar la influencia significativa que presenta la variación de las propiedades de los mismos. Los resultados indicaron la influencia del proceso de trituración en las propiedades de los áridos reciclados.

Palabras claves: áridos reciclados (AR), mortero adherido, peso específico.

PROPERTIES OF RECYCLED AGGREGATES FOR HOT ASPHALT MIXTURES

ABSTRACT

The use of Construction and Demolition Waste (CDW) in pavements construction can be a solution to reduce exploitation of natural aggregates (NA) and environmental damage. The natural and recycled aggregates have different characteristics due to the mortar adhered to the surface of recycled aggregates (RA) as a result of the CDW crushing. The aim of this paper is to investigate the characteristics of the recycled aggregates from the Spiroll slab precast plant. The specimens were obtained through slab remains, crushing and the sieving of loose material. With the objective to define the properties of the RA in comparison with the NA the study on the fractions 0-5mm and 5-10mm of recycled aggregates was made. Also, to determine the significant influences of the variation of the properties of aggregates in both fractions a group statistical analysis was carried out. The results indicate that the crushing process have influence in recycled aggregates properties.

Keywords: recycled aggregates (RA), mortar attached, specific gravity.

Nota Editorial: Recibido: octubre 2019; Aceptado; enero 2020.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se conoce que la utilización indiscriminada de recursos naturales constituye una causa del deterioro paulatino y progresivo del medio ambiente" [1].

Este comentario permite el acercamiento a la línea temática de este trabajo que se orienta hacia un correcto

manejo de los desechos producidos por las actividades de construcción y demolición y reutilizarlos como árido en mezclas asfálticas en caliente.

El reciclado y reutilización de residuos de construcción y demolición (RCD) se ha extendido prácticamente a todos los países desarrollados en los últimos años, unidos a una creciente concienciación ciudadana, respecto a la necesidad de ver la forma de reciclar los materiales que han cumplido o no su vida útil [1].

Actualmente a nivel mundial y especialmente en Cuba se ha hecho inminente la reutilización de RCD debido al impacto negativo que estos ocasionan al medio ambiente. En Cuba con el devenir de los años la política ambientalista ha tomado auge, y debido al desconocimiento o desentendimiento por parte de la población de la clasificación y utilización de materias primas se han creado vertederos. Para tal efecto, se plantea una línea de análisis, la del aprovechamiento de los residuos de demolición para incorporarlos como agregados en la realización de mezclas asfálticas de pavimentos flexibles, en donde se abordan soluciones a tres situaciones importantes, la primera es la desbordante cantidad de residuos producidos, seguido por la inadecuada disposición final que se les da; por último la afectación de montañas y otros entornos naturales arrasados, al ser usados como sitios de aprovechamiento de materiales.

Se ve la necesidad de investigar a fondo la utilización de los residuos de la construcción y demolición (RCD) ya sea en la fabricación de mezclas asfálticas o con cualquier otro fin constructivo; lo que conllevará a una disminución sin dudas del impacto ambiental negativo generado por estos desechos y que además mejorará las condiciones constructivas del país, facilitando el manejo de materiales.

El uso de los RCD ha sido ampliamente estudiado en diversas áreas de la ingeniería civil [2-9] y se ha comprobado su uso y buen comportamiento en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente [10-17]. Existen grandes ventajas para el empleo de los RCD sea como reemplazo parcial o total del agregado natural, fino o grueso, principalmente aquellos que provienen de la trituración de hormigones viejos, procedentes de diversas obras de infraestructura [18, 19].

Los áridos reciclados de hormigón (AR) difieren esencialmente de los áridos naturales (AN) debido a la capa de mortero que queda adherida en la superficie de estos debido al proceso de machaqueo y trituración, lo que trae consigo una disminución en la densidad de las mezclas asfálticas [11, 13, 20].

La eficacia del AR es muy variable, al igual que su composición, dependiendo de la fuente de obtención, del propio proceso de fabricación [7, 21] e incluso de las características de los áridos originales [22]. Debido a lo planteado anteriormente, las propiedades de las mezclas asfálticas con AR también van a variar en función del AR utilizado.

Son muchos los razonamientos y resultados disímiles a los que investigadores han arribado, por lo cual este trabajo tiene como objetivo el análisis inicialmente de las características de los áridos reciclados y de su influencia en las propiedades de las mezclas asfálticas en caliente con AR para las condiciones de Cuba. Se analizan propiedades como peso específico, absorción, granulometría, equivalente de arena, y tamiz 200, además de realizar un análisis microestructural del residuo y la determinación de sus componentes químicos y fases mineralógicas.

2- DESARROLLO

2.1 Materiales a emplear

Se analizaron los residuos provenientes de la planta de prefabricado de losas spirall José Martí ubicada en el municipio Boyeros. Se tomaron como referencia los áridos naturales procedentes de la cantera Alacranes.

2.2.1 Fuente de obtención de los áridos reciclados

Los áridos reciclados que se emplearon en esta investigación provienen de los residuos de la planta de prefabricado "José Martí" ubicada en el municipio de Boyeros, la cual se especializa fundamentalmente en la construcción de losas spirall de 15 a 20 cm de espesor. Los residuos utilizados son de dos tipos, uno de las losas que no cumplen los requisitos necesarios y son desechadas o de pedazos de losas que se parten al ser transportadas desde el sitio de fabricación hasta el lugar de almacenaje y los otros son residuos de hormigón ya sea del material remanente que quedan en la hormigonera o del que se derrama en el proceso de hormigonado de las losas (material suelto). Estos residuos presentan un alto grado de homogeneidad producto de su poca contaminación con otros tipos de desechos como aceros, madera, plásticos, etc. Pudiéndose definir como áridos provenientes de hormigón puro como se muestra a continuación en las figuras 1a y 1b.

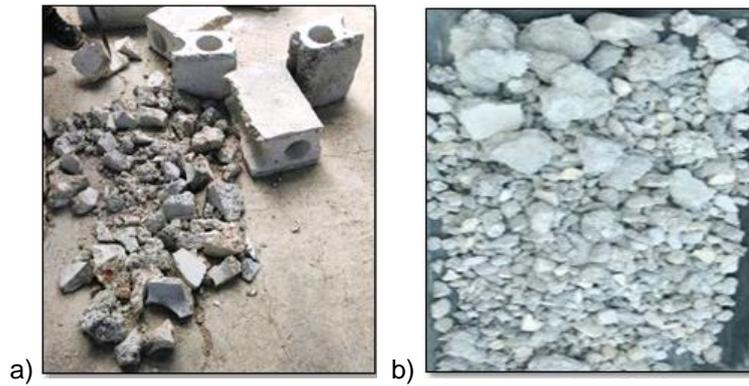


Figura 1: a) Residuos de losas spiroll. b) Residuos de hormigón suelto

2.2.2 Descripción de las muestras obtenidas de áridos reciclados

Para el desarrollo de esta investigación se contó con siete muestras de áridos reciclados, se contó para esto con residuos de hormigón y de losa spiroll, el proceso de selección de las muestras se describe de manera específica a continuación:

Muestra 1: árido procedente de material suelto tamizado entre 5 y 10 mm.

Muestra 2: árido procedente de material suelto entre 0 y 5 mm.

Muestra 3: árido procedente de la trituración de material suelto mayor de 10 mm y tamizado entre 5 y 10 mm.

Muestra 4: árido procedente de la trituración de material suelto mayor de 10 mm y tamizado entre 0 y 5 mm.

Muestra 5: árido procedente de la trituración de material suelto entre 5 y 10 mm.

Muestra 6: árido procedente de la trituración de losa spiroll y tamizado entre 5 y 10 mm.

Muestra 7: árido procedente de la trituración de losa spiroll y tamizado entre 0 y 5 mm.

3- CARACTERIZACIÓN DE LOS ÁRIDOS RECICLADOS

3.1 Caracterización microestructural, composición química y mineralógica del residuo utilizado

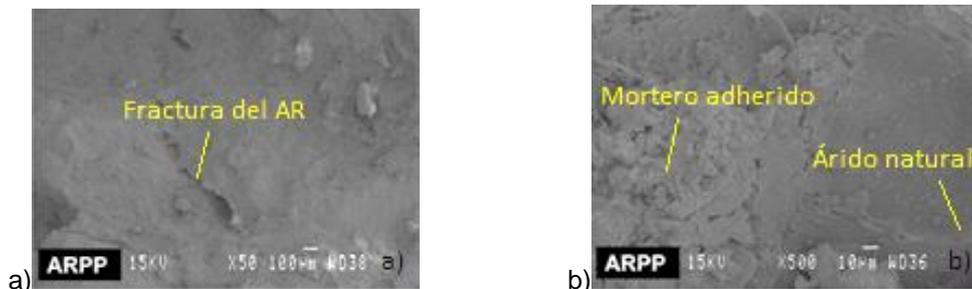


Figura 2: Micrografías de la microscopía electrónica de la exploración (SEM) del residuo adquirido en a) 50x y b) 500x

En la figura 2 podemos observar la morfología del residuo utilizado, donde en una primera observación de 50x (figura 2a) se pueden notar las caras de fractura del árido reciclado. Así mismo puede distinguirse (figura 2b) el mortero más poroso y rugoso adherido al árido natural, así como la interface de contacto entre estos dos materiales.

En la tabla 1 se observan los resultados obtenidos en la fluorescencia de rayos X, donde se muestra que el principal componente del residuo es el CaO (óxido de carbono) con un 39,09%, seguidamente en cantidad está el MgO (óxido de magnesio) con un 6,12%, SiO₂ (sílice) con un 5,98% y por último el Al₂O₃ (alúmina); el resto de los componentes se encuentran en proporciones inferiores al 1%: Na₂O (óxido de sodio), SO₃ (tríoóxido de azufre), K₂O (óxido de potasio) y Fe₂O₃ (óxido férrico).

Tabla 1: Composición química del residuo

	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
Composición química (%)	0,26	6,12	1,38	5,98	0,5	0,22	39,09	0,76

Por tanto, a la vista de los resultados se puede concluir que: el AR es de naturaleza predominantemente caliza, con lo cual se espera que su adhesividad con el ligante sea buena, debido a que la cal es uno de los materiales utilizados mundialmente para el mejoramiento de las propiedades del asfalto [22].

En la figura 3 se muestra el Diagrama de rayos X (DRX) del AR utilizado. En la misma figura se muestran los porcentajes de cada una de las fases minerales determinadas mediante Rietveld. A partir del difractograma mostrado se aprecia que el principal componente de los residuos es la calcita con un 61,2%, mineral formado por carbonato cálcico (CaCO₃), compuesto primario de los hormigones cuyos áridos naturales son de origen calizo. Otro mineral presente es la dolomita con un 38,8%, que es un mineral propio de áridos de origen calizo.

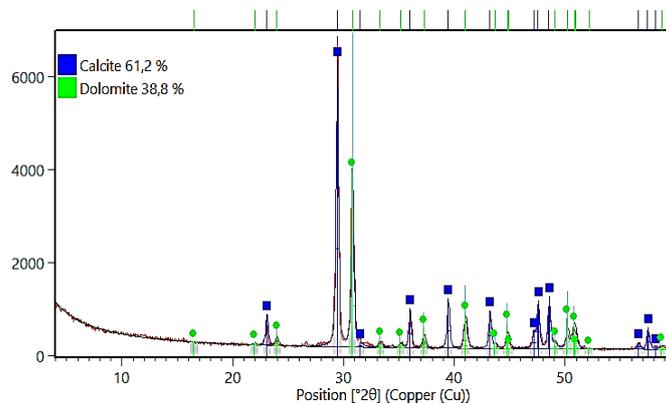


Figura 3: Composición mineralógica del residuo

Basados en los resultados presentados en la figura 3 y en la tabla 1 se demuestra del residuo analizado tiene una composición química homogénea y que no presentan ningún tipo de contaminante.

3.2 Resultados de los ensayos de los áridos reciclados

A continuación, se muestran los resultados de los ensayos realizados a las muestras de áridos tomadas, cada una de estas fue dividida en sub-muestras para lograr la repetitividad y representatividad de los resultados de los ensayos.

3.2.1 Árido grueso

Muestra 1: árido procedente de material suelto tamizado entre 5 y 10 mm.

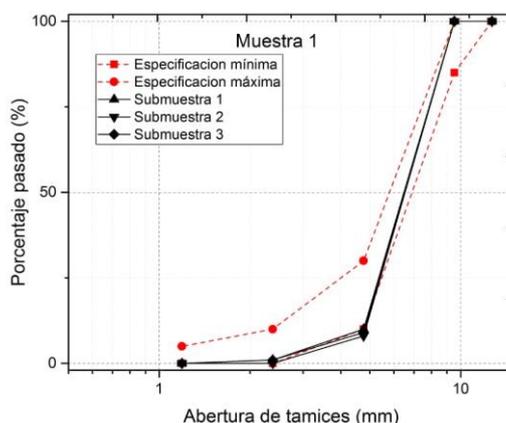


Figura 4: Curva granulométrica de muestra 1.

En la figura 4 se observa que las sub-muestras 2 y 3 en el tamiz 4,76 presentan un porcentaje pasado inferior al que establece la norma de áridos naturales siendo esta diferencia muy pequeña. Se observa también que las tres muestras tienen granulometrías similares.

En la tabla 2 se puede observar que el peso específico corriente de todas las sub-muestras analizadas está por debajo del valor mínimo establecido, así como el porcentaje de absorción, esto sucede debido al mortero adherido en la superficie del AR, el cual es un material poroso y de baja densidad y al ser sometido a una carga de desgaste este se desprende de la superficie del árido original.

Tabla 2: Resultados de los ensayos realizados a la muestra 1

Ensayos	Resultados			
	Submuestra 1	Submuestra 2	Submuestra 3	Especificaciones
PEC (g/cm ³)	2,21	2,22	2,23	≥2,5
PES (g/cm ³)	2,37	2,37	2,39	--
PEA (g/cm ³)	2,62	2,62	2,66	--
Absorción (%)	7,19	6,94	7,36	0,8-2,0
PA (%)	6,4	4,7	7	10 (máx)

Muestra 3 árido procedente de la trituración de material suelto mayor de 10 mm y tamizado entre 5 y 10 mm.

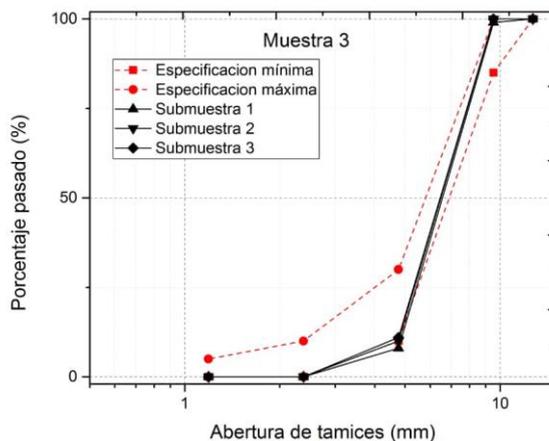


Figura 5: Curva granulométrica de muestra 3

Como se puede ver en la figura 5 solo la sub-muestra 1 tiene en tamiz 4,76 un porcentaje pasado menor que el mínimo especificado, la diferencia es de un 2% siendo un valor no significativo. Se puede ver además que las granulometrías son similares.

Tabla 3: Resultado de los ensayos realizados a la muestra 3

Ensayos	Resultados			
	Submuestra 1	Submuestra 2	Submuestra 3	Especificaciones
PEC (g/cm ³)	2,37	2,34	2,34	≥2,5
PES (g/cm ³)	2,48	2,45	2,45	--
PEA (g/cm ³)	2,67	2,64	2,64	--
Absorción (%)	4,75	4,81	4,79	0,8-2,0
PA (%)	10,7	7	7,6	10(máx)

En la tabla 3 se puede observar que de igual forma el peso específico corriente de las tres sub-muestras están por debajo del valor mínimo establecido, así como el porcentaje de absorción es mayor que el planteado en la norma, lo que se debe al igual que en la muestra anterior al mortero adherido en la superficie del árido. Se debe agregar que en este caso el porcentaje de absorción es menor que el de la muestra 1 lo cual es debido

al proceso de trituración al cual fue sometida esta muestra.

Muestra 5: árido procedente de la trituración de material suelto y tamizado entre 5 y 10 mm.

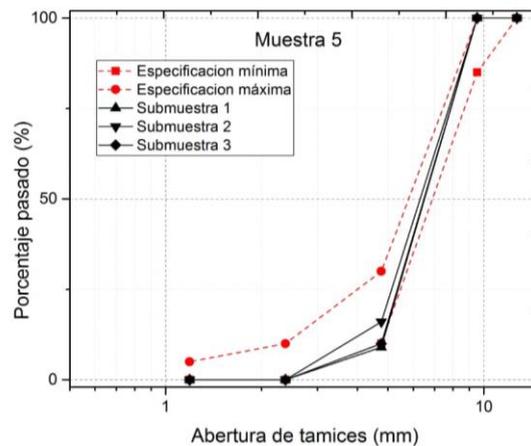


Figura 6: Curva granulométrica de muestra 5

Dados los resultados de la figura 6 se observa que la submuestra 1 en el tamiz 4,76 posee un porcentaje pasado menor en 1% que el límite inferior del huso granulométrico normado lo que no resulta muy significativo por lo que se podría decir que las tres sub-muestras cumplen las especificaciones.

Tabla 4: Resultado de los ensayos realizados a la muestra 5

Ensayos	Resultados			
	Submuestra 1	Submuestra 2	Submuestra 3	Especificaciones
PEC (g/cm ³)	2,38	2,27	2,33	≥2,5
PES (g/cm ³)	2,5	2,4	2,45	--
PEA (g/cm ³)	2,71	2,61	2,65	--
Absorción (%)	5,03	5,85	5,1	0,8-2,0
PA (%)	11,4	7,8	7,7	10 (máx)

En la tabla 4 se aprecia que todas las sub-muestras poseen un valor de peso específico corriente menor que el mínimo requerido, así como porcentajes de absorción mayores que los establecidos en la norma, como se ha mencionado anteriormente esto se debe al mortero adherido en la superficie del AR.

Muestra 6: árido procedente de la trituración de losa spirill y tamizado entre 5 y 10 mm.

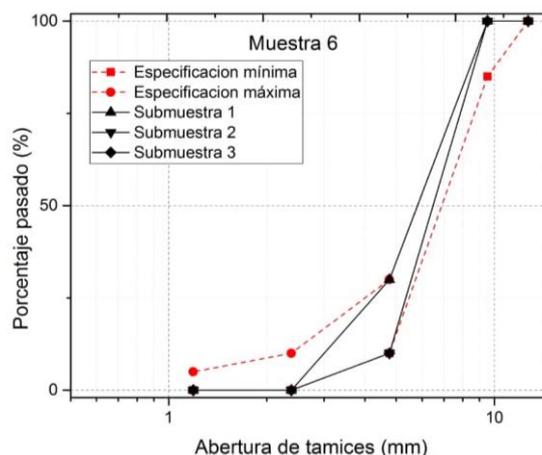


Figura 7: Curva granulométrica de muestra 6

La figura 7 muestra que todas las sub-muestras cumplen con el huso granulométrico establecido en la norma.

Tabla 5: Resultado de los diferentes ensayos realizados a la muestra 6

Ensayos	Resultados			Especificaciones
	Submuestra 1	Submuestra 2	Submuestra 3	
PEC (g/cm ³)	2,27	2,28	2,27	≥2,5
PES (g/cm ³)	2,41	2,41	2,42	--
PEA (g/cm ³)	2,66	2,62	2,66	--
Absorción (%)	6,44	5,76	6,49	0,8-2,0
PA (%)	2,6	6,5	7,7	10 (máx)

En la tabla 5 se puede observar que todas las sub-muestras analizadas presentan valores de peso específico corriente similares, los cuales están por debajo del valor mínimo establecido, así como porcentajes de absorción mayores que el valor máximo que plantea la norma ya que al igual que las sub-muestras antes mencionadas estos áridos presentan en su superficie mortero adherido.

3.2.2- Árido fino.

Muestra 2 árido procedente de material suelto tamizado entre 0 y 5 mm.

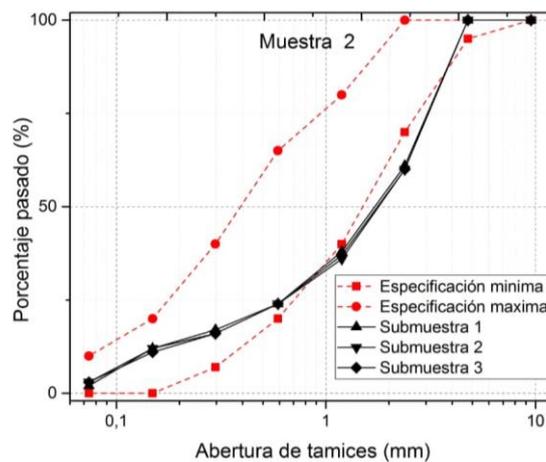


Figura 8: Curva granulométrica de muestra 2

Como se observa en la figura 8 todas las sub-muestras en los tamices 2,38 y 1,19 tienen porcentajes pasados similares, aunque por debajo de los límites inferiores especificados.

Tabla 6. Resultado de los ensayos realizados a la muestra

Ensayos	Resultados		Especificaciones
	Submuestra 1	Submuestra 2	
PEC (g/cm ³)	2,13	2,14	≥2,5
PES (g/cm ³)	2,36	2,37	--
PEA (g/cm ³)	2,76	2,77	--
Absorción (%)	10,61	10,57	0,8-2,0
EA (%)	78,9	79,7	≥55
Tamiz 200 (%)	10,22	9,7	≤ 4

EA: Equivalente de arena

En la tabla 6 se puede apreciar que el peso específico corriente de las sub-muestras está por debajo del valor mínimo especificado, el porcentaje de absorción de agua de las mismas es mayor que el valor máximo que establece la norma, así como el porcentaje de material que pasa el tamiz 200, esto como se ha dicho anteriormente es debido al mortero que presentan los AR, mientras que el equivalente de arena si cumple con lo requerido. Así mismo se aprecia que los pesos específicos de los áridos reciclados finos son menores que los de los áridos gruesos, así como el porcentaje de absorción es mayor, lo que es debido a que los finos presentan una mayor superficie específica.

Muestra 4: árido procedente de la trituración de material suelto mayor de 10 mm y tamizado entre 0 y 5 mm.

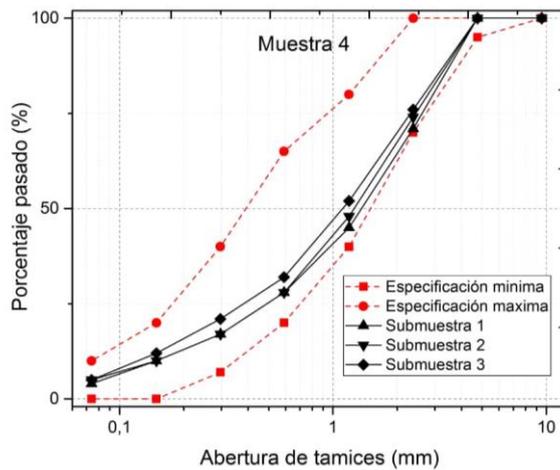


Figura 9: Curva granulométrica de muestra 4

Se observa en la figura 9 que la granulometría de cada sub-muestra cumple con el uso granulométrico que establece la norma para AN.

Tabla 7: Resultado de los ensayos realizados a la muestra 4

Ensayos	Resultados		Especificaciones
	Submuestra 1	Submuestra 2	
PEC (g/cm ³)	2,35	2,34	≥2,5
PES (g/cm ³)	2,5	2,49	--
PEA (g/cm ³)	2,77	2,77	--
Absorción (%)	6,37	6,64	0,8-2,0
EA (%)	95,9	95,9	≥55
Tamiz 200 (%)	5,42	5,9	≤ 4

En la tabla 7 se observa que al igual que en la muestra anterior el peso específico de todas las sub-muestras analizadas es menor que valor mínimo establecido, también el porcentaje de absorción y de material más fino que el tamiz 200 es mayor que el planteado por la norma, lo que se debe al mortero adherido en la superficie del AR al igual que en los casos anteriores. En este caso se puede apreciar además que los porcentajes de absorción son menores que los de la muestra 2 lo que se debe al proceso de trituración al cual fue sometida esta muestra.

Muestra 7: árido procedente de la trituración de losa spiroll y tamizado entre 0 y 5 mm.

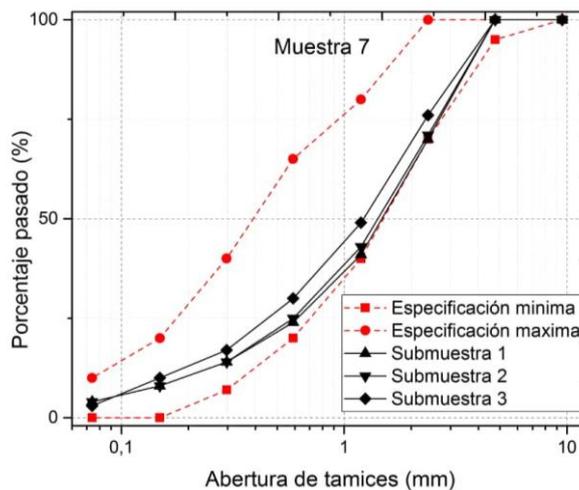


Figura 10: Curva granulométrica de muestra 7

Como se ve en la figura 10 todas las granulometrías cumplen con las especificaciones.

Tabla 8: Resultado de los ensayos realizados a la muestra 7

Ensayos	Resultados		Especificaciones
	Submuestra 1	Submuestra 2	
PEC (g/cm ³)	2,26	2,25	≥2,5
PES (g/cm ³)	2,44	2,44	--
PEA (g/cm ³)	2,76	2,77	--
Absorción (%)	8,06	8,26	0,8-2,0
EA (%)	96,6	95,7	≥55
Tamiz 200 (%)	5,33	6,25	≤ 4

Como se muestra en la tabla 8 los valores de peso específico de las sub-muestras no cumplen las especificaciones, así como los porcentajes de absorción y de material más que el tamiz 200 que son superiores a los máximos que establece la norma, lo que se debe al igual que en las muestras anteriores, al mortero adherido en la superficie del AR.

3.3- Comparación entre los áridos reciclados y los áridos naturales.

3.3.1- Árido grueso

Como se puede ver en la figura 11 las muestras de AR cuentan con valores de peso específico menores respecto al árido grueso natural (AGN), esto se debe a la capa de mortero que recubre las partículas de AR, ya que es un material muy fino que posee gran superficie específica, lo que provoca que tenga muy baja densidad.

Se observa que las muestras 3, 5 y 6 presentan pesos específicos mayores que la muestra 1 presentando esta, el menor valor. La diferencia entre estas muestras radica en que las primeras fueron sometidas al proceso de trituración, lo que implicó desprendimiento del mortero adherido, dejando expuesto el árido en su forma natural. De esta manera disminuye la superficie específica y hace que aumente el peso específico.

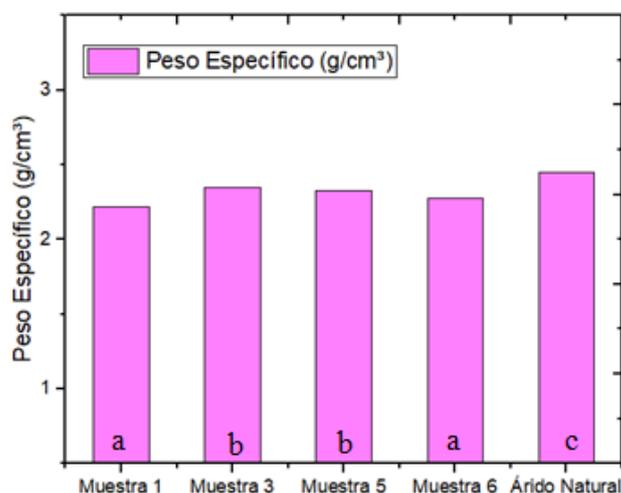


Figura 11: Gráfico de peso específico para las muestras de árido grueso. Las letras a, b, c definen los grupos dados por el análisis Tukey

Las muestras 3, 5 y 6 a pesar de que se obtuvieron mediante trituración del RCD presentan diferencias en cuanto a sus densidades, notándose que las muestras 3 y 5 que provienen del material suelto y por tanto tienen mayor posibilidad de pérdida del mortero adherido, presenten mayores valores que la 6 que se obtuvo de la losa triturada la cual fue sometida a un proceso de compactación lo que hace que haya una mayor adherencia entre la pasta de cemento y el árido.

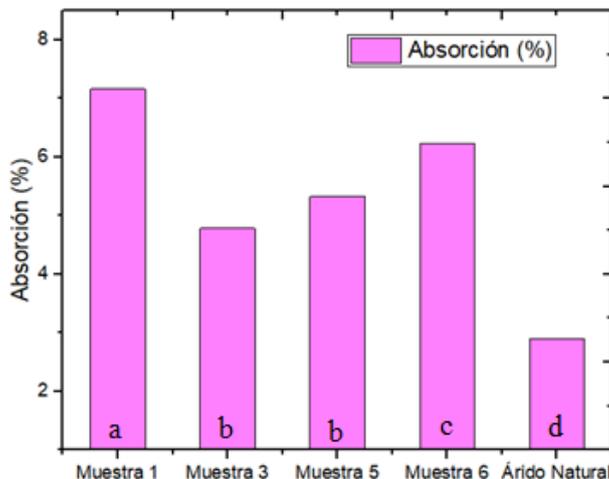


Figura 12: Gráfico de absorción para las muestras de árido grueso. Las letras a, b, c, d definen los grupos dados por el análisis Tukey

Como se muestra en la figura 12 los AR tienen un porcentaje de absorción mayor que el del AN lo cual se debe al igual que en caso anterior al mortero adherido ya que es un material con una gran cantidad de poros permeables y de muy baja densidad.

Se puede apreciar que la muestra 1 tiene mayor porcentaje de absorción que el resto, puesto que es la que menor peso específico tiene y mayor porosidad.

En el caso de las muestras 3, 5 y 6 que fueron trituradas, la muestra 6 es la que presenta una mayor absorción debido a que es la que presenta una menor densidad y una mayor cantidad de mortero en sus partículas.

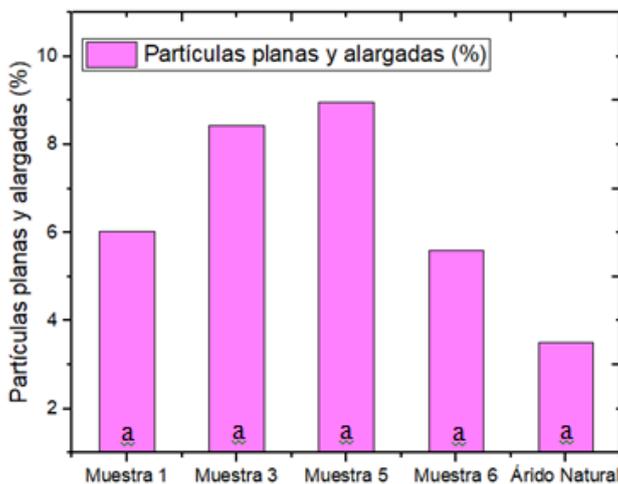


Figura 13: Gráfico de partículas planas y alargadas para las muestras de árido grueso. La letra a define el grupo dado por el análisis Tukey

Se aprecia en la figura 13 que los AR cuentan con mayores porcentajes de partículas planas y alargadas que el árido GN, aunque se mantienen dentro del valor establecido en la norma NC 189: 2010 [23] (<10%). Este resultado contradice lo planteado en la bibliografía, donde se obtiene en sentido general menores valores para los AR que para los naturales. Se recomienda profundizar en esta propiedad.

3.3.2- Árido fino

En la figura 14 podemos ver que al igual que en los áridos gruesos las muestras de AR tienen pesos específicos menores que el árido FN, aunque en este caso existe una mayor diferencia entre las densidades de los AR y la del árido FN debido a que las fracciones finas presentan un mayor contenido de mortero y por tanto menores pesos específicos.

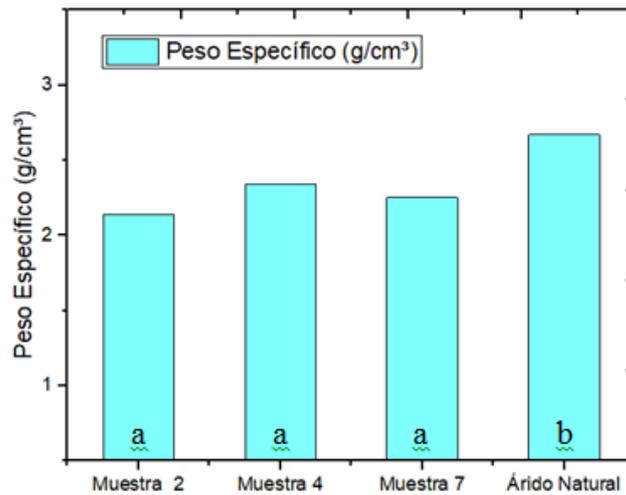


Figura 14: Gráfico de peso específico para las muestras de árido fino. Las letras a, b definen los grupos dados por el análisis Tukey

Las muestras 4 y 7 cuentan con densidades mayores que la 2, poniéndose de manifiesto nuevamente la influencia de la trituración y el desprendimiento de mortero adherido.

En el caso de las muestras 4 y 7 que ambas se trituraron, se puede ver que el AR obtenido del hormigón suelto tiene menor densidad ya que suelen tener una mayor posibilidad de que el mortero se desprenda como se dijo anteriormente en relación al árido que proviene de la losa el cual presenta una mayor cohesión entre el árido y el mortero haciéndolo menos denso.

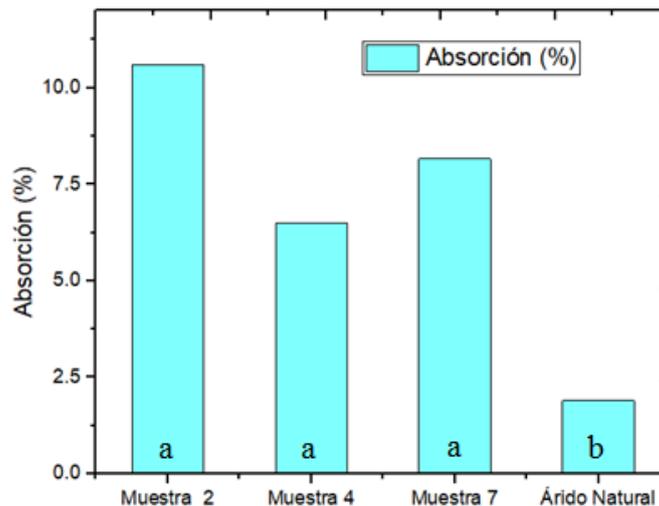


Figura 15: Gráfico de absorción para las muestras de árido fino. Las letras a, b definen los grupos dados por el análisis Tukey

En la figura 15 se muestran los porcentajes de absorción obtenidos para las muestras de árido fino

Los AR presentan una mayor absorción que el árido FN al igual que en los áridos gruesos ya que esta propiedad como se dijo anteriormente también está directamente relacionada con el contenido de mortero adherido. La muestra 2 es la que posee mayor porcentaje de absorción al ser la de menor densidad y la que mayor cantidad de mortero presenta ya que las otras muestras al ser trituradas perdieron parte del mismo. En relación a las muestras que son trituradas, el árido obtenido de la losa tiene mayor absorción, ya que, durante la trituración, la adherencia del hormigón evita que haya mayor desprendimiento del cemento que recubre los áridos y se mantenga alta la porosidad.

En la figura 16 se presentan los porcentajes de equivalente de arena de las muestras de árido fino.

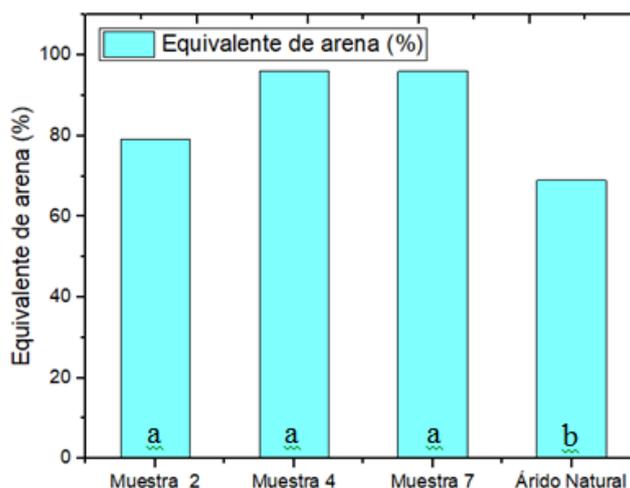


Figura 16: Gráfico de equivalente de arena para las muestras de árido fino. Las letras a, b definen los grupos dados por el análisis Tukey

Como se observa en la figura 16 las muestras de AR cuentan con porcentajes de equivalente de arena mayores el árido fino natural (AFN), debido a que la fracción fina del AR está formada exclusivamente por hormigón, por lo que se obtiene valores de EA elevados; notándose además que las muestras 4 y 7, las cuales fueron trituradas presentan valores mayores que la muestra 2, que se obtuvo mediante el tamizado de los residuos solamente, los cuales debido a su proceso de obtención y su almacenaje en la planta presentaban cierta contaminación que luego de haber sido triturados y tamizados perdieron.

La figura 17 muestra el porcentaje de material más fino que el tamiz 200 de los áridos finos analizados.

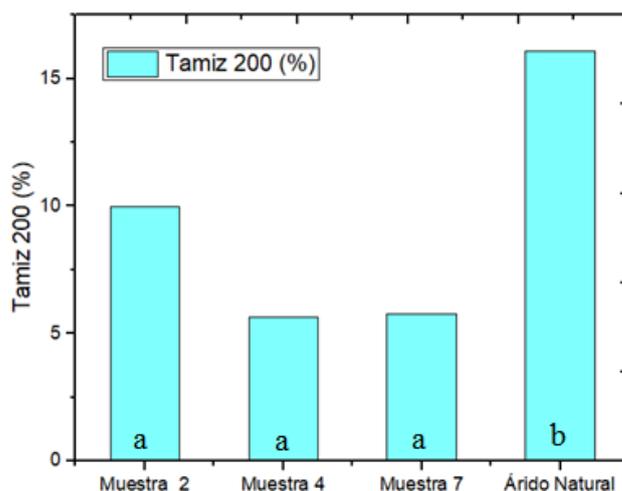


Figura 17: Gráfico de porcentaje que pasa el tamiz 200 para las muestras de árido fino. Las letras a, b definen los grupos dados por el análisis Tukey

Se observa que los AR cuentan con un menor porcentaje respecto al árido FN, se puede ver además que las muestras 4 y 7 que se obtuvieron a partir de la trituración de partículas gruesas, luego de este proceso presentan menor cantidad de material más fino que el tamiz 200 con respecto a la muestra 2 que si contiene mayor cantidad. En este caso se pone de manifiesto que la trituración no provocó que se generaran partículas finas, lo que está relacionado con la resistencia del hormigón con el que se fabricó la losa.

4- CONCLUSIONES

Durante la investigación se pudo llegar a la conclusión de que el proceso de trituración al que fueron sometidas algunas de las muestras de AR, permitió que las mismas tengan mayor peso específico, porcentaje de partículas planas y alargadas y de equivalente de arena, así como, menor porcentaje de absorción y de material más fino que el tamiz 200, con respecto a las muestras que no fueron trituradas. Asimismo, se

evidenció que este influye en las propiedades de las diferentes muestras de AR en la fracción gruesa, sin embargo, el análisis Tukey realizado mostró que eso no sucede en la fracción fina.

Los ensayos realizados a los distintos áridos reciclados arrojaron como resultado que para las muestras de árido grueso los valores de peso específico varían desde 2,22 hasta 2,35g/cm³, los porcentajes de absorción y de partículas planas y alargadas oscilan entre 4,78 – 7,16 % y 5,6 – 8,97% respectivamente. De igual forma para los áridos finos se obtuvieron pesos específicos entre 2,14 y 2,34g/cm³, así como porcentajes de absorción, equivalente de arena y de material más fino que el tamiz 200 que se encuentran en los siguientes rangos: 6,51 – 10,59%, 79 – 96% y 5,79 – 9,96% respectivamente.

De manera general se mostró que los AR respecto a los AN se comportan de la siguiente manera:

- Presentan menores pesos específicos y porcentajes de material más fino que el tamiz 200
- Poseen mayores porcentajes de absorción, de partículas planas y alargadas y de equivalente de arena.

Además, los pesos específicos, porcentajes de absorción y de material más fino que el tamiz 200 de los AR no cumplen con las especificaciones de los AN para ser empleados en mezclas asfálticas en caliente. En relación a las muestras de AR analizadas la de mejor comportamiento para la fracción gruesa es la que se obtiene mediante el triturado de las partículas mayores de 10 mm del hormigón suelto, al igual que para la fracción fina.

5- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] G. F. F. Chavez, "Aprovechamiento de hormigón reciclado en obras viales," Máster tesis de maestría, Departamento de Construcciones, Universidad Nacional de La Plata, 2012.
- [2] M. K. Nautasha Gupta, Paul A. Chadik, Timothy G. Townsend, "Recycled concrete aggregate as road base: Leaching constituents and neutralization by soli Interactions and dilution," Waste Management, vol. 72, pp. 354-361, 2018.
- [3] J. L. Mohammed Saberian, Bao Nguyen, Geoge Wang, "Permanente deformation behaviour of pavement base and subbase containing recycle concrete aggregate, coarse and fine crumb rubber," Construction and Building Materials, vol. 178, pp. 51-58, 2018.
- [4] E. T. Dario Topini, Luca Andena, Edoardo Mariani, "Use of recycled fillers in bituminuos mixtures for road pavements," Construction and Building Materials, vol. 159, pp. 18-197, 2018.
- [5] N. Cristelo, A. Fernández-Jiménez, C. Vieira, T. Miranda, and Á. Palomo, "Stabilisation of construction and demolition waste with a high fines content using alkali activated fly ash," Construction and Building Materials, vol. 170, pp. 26-39, 2018/05/10/ 2018.
- [6] G. N. A. Chritiana Alexandridou, Frank A. Coutelieris, "Mechanical and durability performance of concrete produced with recycled aggregates from Greek construction and demolition waste plants.," Journal of Cleaner Production, vol. 176, pp. 745-757, 2018.
- [7] R. C. Fransesco Colangelo, "Mechanical properties and durability of mortar containing fine fraction of demolition wastes produced by selective demolition in South Italy.," Composites Part B, vol. 115, pp. 43-50, 2017.
- [8] J. P. C. Rodríguez, "Estudio preliminar para el uso de áridos reciclados en la normativa cubana," Tesis de grado, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Central Marta Abreu de las Villas, 2016.
- [9] M. A. I. Md. Aminur Rahman, Arul Arulrajah, Jegatheesan Piratheepan, "Recycled construction and demolition materials in permeable pavement sytems: geotechnical and hydraulic characteristics," Journal of Cleaner Production, vol. 90, pp. 183-194, 2015.
- [10] A. M. P. Ignacio Pérez, "Moisture damage resistance of hot-mix asphalt made with recycled concrete aggregates and crumb rubber," Journal of Cleaner Production, vol. 165, pp. 405-414, 2017.
- [11] M. T. Igancio Pérez Pérez, Juan Gallego Medina, Javier Taibo Pose, "Mechanical properties of hot mix asphalt made with recycled aggregates from reclaimed construction and demolition debris," Materiales de Construcción, vol. 57, pp. 17-29, 2007.
- [12] F. Q. S. Márcio Muniz de Farias, Alejandra María Gómez Jiménez, Marcus Vinicius Ribeiro e Souza, Paulo Roberto Farias Falcao, "influence of asphalt rubber on the crushing of recycled aggregates used in dense HMA," Proceeding of Asphalt Rubber, 2012.

- [13] S. Paranavithana and A. Mohajerani, "Effects of recycled concrete aggregates on properties of asphalt concrete," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 48, pp. 1-12, 2006.
- [14] H. S. Do, P. H. Mun, and R. S. keun, "A study on engineering characteristics of asphalt concrete using filler with recycled waste lime," *Waste Management*, vol. 28, pp. 191-199, 2008.
- [15] Y. D. Wong, D. D. Sun, and D. Lai, "Value-added utilisation of recycled concrete in hot-mix asphalt," *Waste Management*, vol. 27, pp. 294-301, 2007.
- [16] R. M. M. Debora Acosta Alvarez, Grace Gonz ale Guerra, "Influencia de la utilización del RCD como árido en mezclas asfálticas en caliente," *Revista de Arquitectura e Ingenir a de Matanzas*, vol. 1, 2017.
- [17] A. A. A. Debora Acosta Alvarez, Antonio José Tenza Abril, "Laboratory evaluation of hot asphalt concrete properties with cuban recycled concrete aggregates," *Sustainability*, vol. 10, 2018.
- [18] R. R. C. V. Jorge Rafael Martínez Martínez, "Aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD) para ser utilizados como agregados en el diseño de mezclas asfálticas en caliente," Tesis de grado, Ingeniería Civil, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2017.
- [19] A. M. Santa-Olalla, "Exigencias ambientales que debr n satisfacer los áridos derivados de residuos en distintas etapa de su ciclo de vida," in *Congreso Nacional de Medio Ambiente*, 2012.
- [20] J. Mills-Beale and Z. You, "The mechanical properties of asphalt mixtures with Recycled Concrete Aggregates," *Construction and Building Materials*, vol. 24, pp. 230-235, 2010.
- [21] A. P. Francesco Colangelo, Raffaele Cioffi, Claudia Borrelli, Antonio Forcina, "Life cycle assessmenet of recycled concrete: A case study in shouthern Italy," *Science of the Total Environment*, vol. 615, pp. 1506-1517, 2018.
- [22] A. M. R. Pasad n, "Sensibilidad al agua y propiedades mecánicas de mezclas bituminosas en caliente fabricadas con áridos," tesis de doctorado, Departamento de Métodos Matemáticos y de Representación, Universidad de Coruña, 2013.
- [23] O. N. d. Normalización, "NC 189: 2002.  ridos grueso. Determinación de las partículas planas y alargadas. Método de ensayo.," ed, 2002.