

**RECOMENDACIONES TÉCNICAS SOBRE LAS ESPECIFICACIONES
ACTUALES, RESPECTO AL USO DE MATERIAL RECICLADO RCD
PROVENIENTE DE CONSTRUCCIONES VERTICALES EN BASES Y
SUBBASES EN PAVIMENTOS DE LA MALLA VIAL DE BOGOTÁ**

STEFANIA OLIVERA RIOS

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
BOGOTÁ D.C.
2016**

**RECOMENDACIONES TÉCNICAS SOBRE LAS ESPECIFICACIONES
ACTUALES, RESPECTO AL USO DE MATERIAL RECICLADO RCD
PROVENIENTE DE CONSTRUCCIONES VERTICALES EN BASES Y
SUBBASES EN PAVIMENTOS DE LA MALLA VIAL DE BOGOTÁ**

STEFANIA OLIVERA RIOS

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Especialista en Ingeniería de Pavimentos**

**Tutor:
Ing. Julián Hurtado**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
BOGOTÁ D.C.
2016**

CONTENIDO

| | |
|--|--------------------------------------|
| INTRODUCCION | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1. CAPITULO I – GENERALIDADES | 7 |
| 1.1. Antecedentes..... | 7 |
| 1.2. Objetivos | 8 |
| 1.2.1. Objetivo general | 8 |
| 1.2.2. Objetivos específicos | 9 |
| 2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO | 9 |
| 2.1. Residuos de construcción y demolición..... | 9 |
| 2.1.1. Clasificación de residuos de construcción y demolición..... | 9 |
| 2.1.2. Procedimiento de aprovechamiento de RCD | 11 |
| 2.1.3. Aprovechamiento de los RCD en pavimentos..... | 12 |
| 3. CAPITULO III: METODOLOGÍA | 12 |
| 4. CAPITULO: RECOPIACIÓN DE INVESTIGACIONES ESPAÑOLAS EN EL USO DE RCD EN BASES Y SUBBASES PARA PAVIMENTOS | 13 |
| 4.1. Actualización del catálogo de residuos utilizables en construcción | 14 |
| 4.2. Clasificación, pretratamiento y valorización óptima de los RCD'S según procedencia considerando las particularidades constructivas propias de Castilla y León | 15 |
| 4.3. Uso de áridos reciclados mixtos procedentes de residuos de construcción y demolición | 18 |
| 4.4. Guía española de áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición (RCD). | 23 |
| 5. CAPITULO V: ESPECIFICACIONES IDU ET-2011, USO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN BASES Y SUBBASES..... | 27 |

| | |
|---|----|
| 6. Capítulo vi: análisis | 30 |
| 6.1. Análisis de información recopilada | 30 |
| 6.2. Fortalezas y debilidades de especificaciones IDU ET -2011, uso de residuos de construcción y demolición en bases y subbases..... | 31 |
| 7. CONCLUSIONES | 33 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 36 |
| BIBLIOGRAFÍA | 37 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Clasificación de los residuos de construcción y demolición | 10 |
| Tabla 2 Alternativa de gestión para los RCD | 12 |
| Tabla 3 Normas de ensayo para agregados provenientes de concreto hidráulico. | 15 |
| Tabla 4 Componentes no flotantes de los áridos gruesos reciclados..... | 16 |
| Tabla 5 Ensayos realizados a las muestras de agregado reciclado de residuos de demolición y construcción. | 17 |
| Tabla 6 Ensayos realizados a las muestras de agregado reciclado de residuos de demolición y construcción. | 19 |
| Tabla 7 Resultados ensayos realizados a muestras de residuos de construcción y demolición mixtos..... | 20 |
| Tabla 8 Esquema general de procesos de una planta de reciclaje. | 24 |
| Tabla 9 Resultados de ensayos realizados a muestras de residuos de construcción y demolición. | 26 |
| Tabla 10 Ensayos requeridos para Bases y Subbases | 28 |

INTRODUCCIÓN

A partir de la expedición de la Resolución 2397 de 2011 que indican el uso de material reciclado de construcción y demolición como Item de evaluación dentro de los procesos de contratación pública, por parte de la Secretaria Distrital de Ambiente, el Instituto de Desarrollo Urbano como entidad encargada de llevar a cabo las actividades de construcción, conservación y gestión de la infraestructura en los sistemas de movilidad y espacio público, en su última actualización de Especificaciones IDU ET-2011 incluye en una de sus secciones el uso agregados pétreos de construcción y demolición en bases y subbases.

Como necesidad para satisfacer estos requerimientos, las especificaciones presentan fortalezas y debilidades respecto al tema del material reciclado, es por eso que dentro del presente informe se abarcan estos aspectos, mediante investigaciones internacionales, que buscan ser soporte para la actualización de especificaciones en sus respectivos países.

1. CAPITULO I – GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

Actualmente la construcción de pavimentos, no se limita exclusivamente a generar estructuras duraderas y capaces de soportar las cargas a las que se van a encontrar sometidas durante su vida de diseño, sino que a los ingenieros, se nos suma un reto más y es hacer que todos los procesos desarrollados para dicho fin, sean ambientalmente sostenibles. Es por esto que a nivel nacional, y en este caso a nivel del Distrito Capital, las entidades involucradas en el ejercicio de la construcción de infraestructura vial y del medio ambiente han ido avanzando en el tema para reglamentar la reutilización de residuos de construcción y demolición – RCD, de tal manera que disminuya notablemente la disposición de estos en botaderos y la explotación en canteras de materiales vírgenes en canteras y minas.

En lo respectivo la Secretaria Distrital de Ambiente al ser la entidad encargada de dirigir los temas ambientales en la capital, ha liderado desde hace varios años la implementación de resoluciones y guías que regulan los procesos involucrados en materia de disposición de RCD. Es así como a partir de la resolución 2397 de 2011 se suma el tema de tratamiento y aprovechamiento de escombros, a las Resoluciones 541 de 1994 y la Resolución 357 de 1997 que regulaban el cargue, descargue, transporte y disposición final.

La Resolución 2397 de 2011 *“Por la cual se regula técnicamente el tratamiento y/o aprovechamiento de escombros en el Distrito Capital”* en su Artículo No 4 determino: *“...A partir de abril del año 2012 las entidades públicas que desarrollen obras de infraestructuras al interior del perímetro urbano del Distrito Capital deberán incluir desde la etapa de estudios y diseños los requerimientos técnicos necesarios con el fin de lograr la utilización de elementos reciclados provenientes de los centros de tratamiento y/o aprovechamiento de escombros legalmente constituidos y/o la*

reutilización de los generados por las etapas constructivas y de desmantelamiento, en un porcentaje no inferior al 10%, del total de los metros cuadrados a construir por la entidad anualmente...". Dicho porcentaje de utilización de elementos reciclados provenientes de centros de tratamiento y/o aprovechamiento de escombros, fue disminuido por la Resolución 1115 de 2012, por la cual fue anulada la Resolución 2397 de 2011, de un 10% a un 5% del total de volumen o peso de material usado en la obra a construir por la entidades distritales anualmente, porcentaje que debe aumentar de manera anual en un 5% hasta alcanzar una meta del 25%.

Es así como el Instituto de Desarrollo Urbano – IDU como entidad encargada de llevar a cabo las actividades de construcción, conservación y gestión de la infraestructura en los sistemas de movilidad y espacio público, ha desarrollado gestiones para dar respuesta a los requerimientos de la Resolución de la Secretaria Distrital de Ambiente, aportando desde sus competencias con la generación de guías y resoluciones respecto a este tema.

En tal sentido, como respuesta a lo descrito en el Parágrafo 2°: *“...Las Entidades Públicas podrán considerar como ítem de evaluación los porcentajes de material reciclado proveniente de RCD o su reutilización, dentro de sus procesos de contratación pública para el desarrollo de obras”*, el Instituto de Desarrollo Urbano IDU califica con un total de 60 puntos al subfactor de *“Uso en porcentaje (%) de Materiales Reciclados”* en el porcentaje que cada proceso determine, según el *“MODELO PLIEGO LP CONSERVACIÓN y MANTENIMIENTO OCT-05-2016”*.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Establecer recomendaciones técnicas sobre las especificaciones actuales, respecto al uso de material reciclado rcd proveniente de construcciones verticales en bases y subbases en pavimentos de la malla vial de Bogotá

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las diferencias e implicaciones que tiene el uso de residuos de construcción y demolición, en bases y subbases de pavimentos en comparación con material virgen extraído de cantera.
- Analizar las fortalezas y debilidades técnicas de las especificaciones IDU ET 2011, respecto al uso de residuos de construcción y demolición en comparación con el avance a nivel Internacional en el tema.

2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

Los residuos de construcción y demolición o RCD, como su nombre lo indica son provenientes de actividades de construcción y demolición, sin embargo también son contempladas residuos de excavaciones provenientes de actividad previa a la construcción. Las fuentes de los RCD son:

- Edificaciones
- Infraestructura

Donde la diferencia principal se encuentra en la composición de cada uno de ellos.

2.1.1. CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

Siendo los RCD residuos sólidos provenientes de actividades de construcción, y según lo establecido en el Decreto 838 de 2015, estos pueden ser clasificados como aprovechables y no aprovechables, tal como se muestra a continuación:

Tabla 1 Clasificación de los residuos de construcción y demolición

| CATEGORÍA | GRUPO | CLASE | COMPONENTES |
|---------------------|---------------------------|----------------------------------|--|
| RCD Aprovechables | Residuos mezclados | Residuos pétreos | Concretos cerámicos, ladrillos, arenas, gravas, cantos, bloques o fragmentos de roca, baldosín, mortero y materiales inertes que no sobrepasen el tamiz #200 de granulometría. |
| | Residuos de material fino | Residuos finos no expansivos | Arcillas (caolín), limos y residuos inertes, poco o no plásticos y expansivos que sobrepasen el tamiz # 200 de granulometría. |
| | | Residuos finos expansivos | Arcillas (montmorillonitas) y lodos inertes con gran cantidad de finos altamente plásticos y expansivos que sobrepase. |
| | Otros residuos | Residuos no pétreos | Plásticos, PVC, maderas, cartones, papel, siliconas, vidrios, cauchos. |
| | | Residuos de carácter metálico | Acero, hierro, cobre, aluminio, estaño y zinc. |
| | | Residuos orgánicos de pedones | Residuos de tierra negra. |
| | | Residuos orgánicos de cespedones | Residuos vegetales y otras especies bióticas. |
| | RCD no aprovechable | Residuos peligrosos | Residuos corrosivos, reactivos, explosivos, patógenos (biológicos) |
| Residuos especiales | | No definida | Poliestireno - Icopor, cartón-yeso (drywall), llantas entre otros |

| CATEGORÍA | GRUPO | CLASE | COMPONENTES |
|-----------|--|---|--|
| | Residuos contaminados con otros residuos | Residuos contaminados con residuos peligrosos | Materiales pertenecientes a los grupos anteriores que se encuentren contaminados con residuos peligrosos. Estos deben ser dispuestos como residuos peligrosos. |
| | | No definida | Residuos contaminados con otros residuos, que hayan perdido las características propias para su aprovechamiento. |
| | Otros residuos | No definido | Residuos que por requisitos técnicos no es permitido su reuso en las obras. |

Fuente: Guía para la elaboración del plan de gestión de residuos de construcción y demolición – RCD en la obra – Secretaría Distrital de Ambiente. 2015. p. 7-8

2.1.2. PROCEDIMIENTO DE APROVECHAMIENTO DE RCD

Una vez comprendido que los residuos de construcción y demolición pueden ser clasificados como aprovechables y no aprovechables, hay que entender que para obtener el mayor beneficio de los denominados aprovechables, se debe realizar como mínimo el siguiente procedimiento, recomendado en la Guía para la elaboración del plan de gestión de residuos de construcción y demolición RCD de la Secretaría Distrital de Ambiente.

1. **Demolición selectiva:** El objetivo principal de una demolición selectiva es evitar que los materiales de aprovechamiento sean contaminados con material reciclable o no aprovechable, de tal manera que evite sobrecostos en separaciones posteriores, o incluso perjudique las actividades posteriores para el aprovechamiento.
2. **Reutilización:** No todos los residuos deben ser tratados o transformados para su aprovechamiento, ya que estos pueden obedecer a nuevas alternativas de funcionamiento.

3. **Reciclaje:** Los residuos que son aprovechables y no son reutilizados, pueden ser reciclados, es decir tratados o transformados en nuevos materiales, para su aprovechamiento ya sea en obra o en otro procedimiento.
4. **Gestión de residuos peligrosos:** Con el fin de evitar la contaminación del material de aprovechamiento, se debe disponer de un plan para la gestión de residuos peligrosos conforme lo especifica la normatividad nacional.

2.1.3. APROVECHAMIENTO DE LOS RCD EN PAVIMENTOS

La Secretaria de Ambiente en su Guía para la elaboración del plan de gestión de residuos de construcción y demolición RCD, identifica las alternativas de aprovechamiento de los RCD para diferentes usos, no solamente a nivel constructivo sino a nivel industrial. Para fines del desarrollo del proyecto, a continuación serán enunciadas las alternativas para el uso de RCD en estructura de pavimento.

Tabla 2 Alternativa de gestión para los RCD

| RESIDUO | ALTERNATIVA |
|------------------------|---|
| Concreto | Reutilizar como suelos en carreteras |
| | Reciclar como grava suelta |
| | Reutilizar como masa para rellenos |
| | Reciclar como granulado |
| | Reciclar para producción de concretos y morteros |
| Asfaltos | Reutilizar como masa para rellenos |
| | Reciclar como asfalto |
| Pétreos | Reutilizar como áridos finos y gruesos |
| Residuos de excavación | Reutilizar como relleno y recuperación de taludes |
| | Reutilizar como estabilización de suelos |

Fuente: Guía para la elaboración del plan de gestión de residuos de construcción y demolición RCD - Secretaría Distrital de Ambiente. 2015. p. 22-23

3. CAPITULO III: METODOLOGÍA

Con la finalidad de alcanzar lo establecido en los objetivos del presente proyecto, se desarrolla la recopilación de información normativa e investigativa, dependiendo de la disponibilidad de información, a nivel internacional que permita conocer los

avances en materia del uso de residuos de construcción y demolición en bases y subbases en la estructura pavimento.

Serán analizados los aspectos más importantes y reiterativos de la información recopilada, con el fin de ser punto de partida para el análisis de las especificaciones IDU ET-2011 en lo que respecta al uso de residuos de construcción y demolición en bases y subbases en la estructura pavimento.

Posterior se realizará el análisis de las fortalezas y debilidades que presenta las especificaciones actuales, con la finalidad de realizar las recomendaciones respectivas para el uso de este material.

4. CAPITULO: RECOPIACIÓN DE INVESTIGACIONES ESPAÑOLAS EN EL USO DE RCD EN BASES Y SUBBASES PARA PAVIMENTOS

España como uno de los países líder en el tema de aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición, ha desarrollado varias investigaciones alrededor de este tema a nivel académico, público y privado que han permitido conocer si el uso de RCD además de ser un requerimiento ambiental, también puede satisfacer las necesidades técnicas de la ingeniería de pavimentos.

Conforme a las consultas realizadas, España ha sido uno de los países que ha desarrollado investigaciones de magnitud considerable para analizar los materiales reciclados en las plantas a nivel nacional, con la finalidad de poder generar aspectos técnicos que enriquezcan las especificaciones actuales, para poder despertar el interés de los constructores y que el tema del uso de RCD en estructuras de pavimento, así como en otras obras civiles, no se convierta en un motivo de atraso por el incumplimiento de las especificaciones, sino que se proporcionen salidas para el uso de estos materiales.

Actualmente España no ha desarrollado especificaciones propias para el uso de RCD en bases y subbases, igual que Bogotá, es por eso la importancia de poder tomar como referente un país que se encuentra en las mismas condiciones, sin

embargo se toma como diferencia que ellos se encuentran desarrollando investigación a nivel magno para poder contar con bases técnicas para poder generar esas nuevas especificaciones.

A continuación serán enunciadas algunas de las bibliografías consultadas y las principales conclusiones, que sirvan como aporte al desarrollo del presente informe.

4.1. ACTUALIZACIÓN DEL CATÀLOGO DE RESIDUOS UTILIZABLES EN CONSTRUCCIÓN

En el marco de un convenio establecido entre la Dirección de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), donde se encuentran las fichas técnicas de los residuos no solamente de los provenientes de construcción y demolición sino de los provenientes de otras industrias.

Respecto a los residuos de construcción y demolición se destacan los factores de los cuales dependen las características del material tratado.

- Características del material de procedencia
- Equipos de procesamiento
- Tamizaje
- Eliminación de impurezas

a. Agregados provenientes de concreto hidráulico

Debido a la heterogeneidad del concreto ya sea por su resistencia, presencia de aditivos, relación agua/material cementante, entre otros, los agregados provenientes del concreto hidráulico presentan gran heterogeneidad en sus características. Se asocia una mayor calidad a los agregados de mayor tamaño, en comparación con los finos, esto debido a:

- Menor densidad

- Mayor absorción
- Mayor contenido de mortero
- Mayor contenido de partículas ligeras
- Mayor contenido de arcilla
- Mayor contenido de sulfatos y cloruros

En general se asocia un buen comportamiento del agregado en comparación con el agregado virgen explotado de cantera, en lo asociado con una buena distribución granulométrica, coeficiente de forma, textura, densidad; sin embargo, se asocia un mal comportamiento en lo relacionado con la absorción por el contenido de mortero.

Por la contaminación que se puede sufrir el material por los agentes externos que acompañan su uso, se recomienda la realización de los siguientes ensayos.

Tabla 3 Normas de ensayo para agregados provenientes de concreto hidráulico.

| NORMA | LUGAR | NOMBRE DEL ENSAYO |
|-------------------|--------------|---|
| DIN 4226-100:2000 | Alemania | Áridos para hormigón y mortero: Áridos reciclados |
| NEN 7345/95 | Holanda | Características de lixiviación de los materiales sólidos de tierra y piedra y materiales de desecho |
| EN 12457-2/02 | Europea | Caracterización de residuos-lixiviación-prueba de cumplimiento para la lixiviación de materiales de desechos granulares y lodos – Parte 2 |

Fuente: Adaptado de CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS, Actualización del catálogo de residuos reutilizables en construcción. 2009.

b. Agregados provenientes de reciclado cerámico

Los agregados reciclados provenientes de reciclado cerámico tienen un contenido mínimo del 65% de ladrillo, y pueden ser mezclados con residuos de concreto. Al igual que el agregado proveniente de concreto hidráulico, una de las características que más diferencia al agregado natural de esto, es el alto porcentaje de absorción que tiene.

En el caso de la pérdida por ignición se maneja un porcentaje bajo en el caso de tener gran contenido de ladrillo, sin embargo este aumenta cuando existe un mayor porcentaje de concreto hidráulico.

No es recomendable su uso en bases y subbases, ya que en varias experiencias se ha encontrado que no cumplen con las especificaciones para este material.

4.2. CLASIFICACIÓN, PRETRATAMIENTO Y VALORIZACIÓN ÓPTIMA DE LOS RCD'S SEGÚN PROCEDENCIA CONSIDERANDO LAS PARTICULARIDADES CONSTRUCTIVAS PROPIAS DE CASTILLA Y LEÓN

El proyecto fue financiado por la Agencia de Desarrollo Económico de Consejería de Economía y Hacienda, y se desarrolló con el objetivo de obtener información del comportamiento de RCD a partir de la realización de ensayos de laboratorio, donde se especifica que el estudio de este tipo de material debe ser propio para cada zona, de tal manera que se permita clasificar y conocer las características del producto de entrada para que sea más fácil su caracterización como el material de salida.

Por tanto fue utilizada la clasificación dispuesta para agregados reciclados en la norma UNE EN 933-11 *“Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 11: Ensayo de clasificación de los componentes de los áridos gruesos reciclados”*.

Tabla 4 Componentes no flotantes de los áridos gruesos reciclados

| COMPONENTE | DESCRIPCIÓN |
|-------------------|---|
| Rc | <ul style="list-style-type: none"> • Hormigón, productos de hormigón, mortero, unidades de albañilería de hormigón |
| Ru | <ul style="list-style-type: none"> • Áridos no tratados, piedra natural. • Áridos tratados con conglomerantes hidráulicos |
| Rb | <ul style="list-style-type: none"> • Unidades de albañilería de arcilla (tejas y ladrillos) • Unidades de albañilería de silicato de calcio • Hormigón aireado no flotante |
| Ra | <ul style="list-style-type: none"> • Materiales bituminosos |
| Rg | <ul style="list-style-type: none"> • Vidrio |

| COMPONENTE | DESCRIPCIÓN |
|------------|---|
| X | <ul style="list-style-type: none"> • Arcilla y arena • Metales • Madera no flotante • Plástico y caucho |

Fuente: NORMA ESPAÑOLA UNE EN- 933-11 Ensayo de clasificación de los componentes de los áridos gruesos reciclados; 2009

Para la realización del proyecto fueron contemplados los siguientes ensayos.

Tabla 5 Ensayos realizados a las muestras de agregado reciclado de residuos de demolición y construcción.

| ENSAYO | NORMATIVA |
|----------------------------------|------------------|
| Granulometría | UNE103101 |
| Densidad aparente | UNE103302 |
| Equivalente de arena | UNE-EN933-8:2000 |
| Límites de Atterberg NLT | NLT105/91 |
| Proctor modificado | UNE103501 |
| Índice CBR | UNE103502 |
| Materia orgánica | UNE103204 |
| Sales solubles | UNE103205-2006 |
| Contenido de yesos | UNE103206-2006 |
| Compuestos de azufre | UNE103201-1996 |
| Desgaste de los ángeles | UNE-EN1097-2:99 |
| Índice de lajas | UNE-EN933-3 |
| Porcentaje partículas trituradas | UNE-EN933-5 |
| Hinchamiento libre | UNE103601 |
| Colapso | NLT254 |
| Determinación de humedad | UNE103300-1993 |

Fuente: TOMÁS ALBILLOS DEL VAL; Resultados del proyecto de I+D+i "Clasificación, pretratamiento y valorización óptima de los RCD's según procedencia considerando las particularidades constructivas propias de Castilla y León"; [Diapositivas de PowerPoint]

Como resultado de la realización de pruebas se identificaron ventajas y desventajas a nivel ambiental y del comportamiento del material.

a. Ventajas

- Buena capacidad portante.
- Diversidad de usos.
- Puede ser utilizado como material drenante.

b. Desventajas

- Alto consumo de agua para el proceso de compactación.
- Posibilidad de cambios granulométricos posterior a su instalación debido al proceso de compactación.
- Presencia de sales y sulfatos solubles, que además de producir cambios volumétricos afectan posibles estructuras de concreto adyacentes.

Posterior a la realización de ensayos sobre los residuos de construcción y demolición, se procedió a realizarlos nuevamente sobre el producto tratado con el fin de definir su uso a partir del reconocimiento de las características químicas y mecánicas. Una de las conclusiones importantes es que el material no debe ser rechazado si no cumple la normatividad vigente para el uso de estos materiales, sino que la solución es realizar la cantidad de pruebas necesarias para realizar normatividad propia para cada uso, que permita el aprovechamiento de las propiedades del mismo.

4.3. USO DE ÁRIDOS RECICLADOS MIXTOS PROCEDENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

Con el objetivo de poder proporcionar estudios como base para la realización de especificaciones orientadas al uso de reciclados mixtos, entendiéndose que estos son procedentes del concreto hidráulico y cerámica, se realiza la caracterización de agregados obtenidos de diferentes plantas y son implementados tramos de prueba, como capas no ligadas y agregados de concreto hidráulico, sin embargo para efectos del presente proyecto serán presentados los resultados exclusivos del comportamiento en capas no ligadas, es decir bases y subbases.

a. Metodología de estudio

1. Muestreo de 20 muestras de material reciclado mixto proveniente de 3 plantas, con las siguientes características:

- Agregado reciclado mixto.
- Agregado reciclado mixto con poca presencia de material cerámico.
- Agregado reciclado 100% de concreto hidráulico.
- Agregado reciclado 100% de cerámica roja.
- Agregado reciclado 100% de mezcla asfáltica.

2. Realización de ensayos.

Tabla 6 Ensayos realizados a las muestras de agregado reciclado de residuos de demolición y construcción.

| ENSAYO | NORMATIVA |
|------------------------------|--------------------------------|
| Granulometría | UNE EN 933-1 |
| Equivalente de arena | UNE-EN933-8:2000 |
| Plasticidad | UNE 103103:93 UNE 103103:94 |
| Proctor modificado | UNE103501 |
| Índice CBR | UNE103502 |
| Materia orgánica | UNE103204 |
| Sulfatos solubles | UNE103201 |
| Contenido de yesos | NLT 115 |
| Compuestos de azufre | UNE EN 1744-1 |
| Desgaste de los ángeles | UNE-EN1097-2:99 |
| Índice de lajas | UNE-EN933-3 |
| Sales solubles en agua | NLT 114 |
| Hinchamiento libre | UNE103601 |
| Colapso | NLT254 |
| Difracción rayos X | - |
| Análisis térmico diferencial | - |

Fuente: Adaptado IHOBE. Uso de áridos reciclados mixtos procedentes de Residuos de Construcción y Demolición. Investigación Pre normativa. Bilbao: IHOBE, 2011.

2.1. Resultados

Tabla 7 Resultados ensayos realizados a muestras de residuos de construcción y demolición mixtos

| ENSAYO | RESULTADO |
|---|---|
| Granulometría | Porcentajes de fracción fina (4 mm) por debajo del 30% Cumple requisitos para material granular de explanada |
| Índice de lajas (Índice de aplanamiento y alargamiento) | Todas las muestras tienen un valor inferior al 35% El promedio se encuentra en el 17% |
| Plasticidad | No plásticos |
| Resistencia a la fragmentación | Agregados con porcentajes de cerámica entre 20% y 30%: entre 35 y 40 Agregados con porcentajes de cerámica entre 5%: Inferior al 35 |
| Proctor | Los valores de densidad humedad optima no tienen grandes diferencias con el material virgen Entre mayor es el contenido de material cerámico, mayor es la humedad optima El material reciclado mixto genera mayor densidad optima, lo que genera una fragmentación mayor |
| CBR | Las muestras a las cuales se les realizo el ensayo presentaron un valor mayor de CBR del 70%, lo que indica un buen comportamiento, debido a la presencia de agua que genera reacciones puzolanicas tanto en el concreto como en la cerámica |
| Materia Orgánica | El promedio es 2.78% |
| Compuestos de azufre total, sulfatos solubles en agua y contenido de yeso | 0.3% |
| Sales sobres | De 0.68% a 3.74% <ul style="list-style-type: none"> • NTL 114: 0.74% • VALORACIÓN QUÍMICA: 0.12% Para la valoración de los resultados por ser contenidos relativamente altos se recurrió a los ensayos de colapso e hinchamiento, lo que determinó que el contenido no resulta ser perjudicial. |

Fuente: Adaptado IHOBE. *Uso de áridos reciclados mixtos procedentes de Residuos de Construcción y Demolición. Investigación Pre normativa. Bilbao: IHOBE, 2011.*

2.2. Tramos de prueba

Fueron realizados dos tramos de prueba uno en Orkonera y Txorierra los dos con 25 metros de longitud cada uno, donde desde el momento de la instalación del tramo iniciaron las actividades del seguimiento del mismo para estudiar el comportamiento en todas las etapas de la construcción.

Respecto al proceso de compactación pudo ser obtenida la densidad óptima del material, sin exceder el valor típico de número de pasadas para un material virgen, sin embargo se resalta el aumento de humedad y la disminución de la densidad respecto a la típica en un material virgen.

En los dos tramos fueron realizados ensayos con deflectometría con el objetivo de poder retrocalcular el módulo del material, obteniendo resultados del mismo orden de magnitud de los agregados de cantera (300-350 MPa), se piensa que este resultado puede aumentar en caso de realizar el ensayo a una edad mayor por la naturaleza del mismo.

b. Análisis de resultados

- Después de realizadas las pruebas, se llegó a la conclusión que a pesar de tener baja resistencia a la fragmentación, se puede tomar como ventaja ya que el material cerámico que es el que menor resistencia tiene, tiene propiedades cohesivas.
- El Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y puentes para agregados reciclados define un valor superior en 5 unidades para el valor de desgaste de los Ángeles dispuesto para material virgen, es decir 30 para T0 a T2 y 35 para T3, T4 y arcenes; resultado que no fue posible alcanzar.
- El uso del ensayo de determinación de materia orgánica por ignición no es conveniente para agregados provenientes de residuos de construcción y demolición, ya que a la temperatura del ensayo (500°C) también se ven afectados otros minerales propios de los reciclados como el yeso.

- Es recomendable la realización del equivalente de arena para determinar material orgánica, o mediante el ensayo UNE-EN-933-11 parte 11 *“Ensayo de clasificación de los componentes de los áridos gruesos reciclados”*.
- Mediante los ensayos realizados para compuestos de azufre total, sulfatos solubles en agua y contenido de yeso, se encuentra una correlación entre el contenido de azufre y los otros componentes. Por la presencia de concreto hidráulico, y por ende de yeso y ettringita, preocupan las reacciones que se puedan generar en contacto con el agua, por los cambios volumétricos.
- Existen ensayos diferentes para la determinación de contenido de azufre, sin embargo por la diferencia en los resultados se hace necesario establecer un ensayo representativo.

c. Correlaciones

A partir de los resultados obtenidos entre las diferentes muestras, se presentan relaciones directamente o inversamente proporcional.

- Contenido de yeso granular – Contenido de cerámicos (**Relación directa**)
- Desgaste de los Ángeles – Contenido de cerámicos (**Directamente proporcional**).
- Sulfatos solubles – Contenido de concreto hidráulico (**Inversamente proporcional**).
- Sales solubles – Contenido de yeso (cerámicos) (**Directamente proporcional**).

d. Conclusiones

- Aunque el aumento de la fragmentación del material, determinado por el ensayo de la Máquina de los Ángeles, aumenta con la presencia de material cerámico, se considera como una ventaja la consolidación del material debido a la presencia de este material fino de cerámica, ya que en presencia

del agua se generan reacciones con el concreto que favorecen esta característica.

- Los resultados de CBR presentan un aumento con el paso de los días, por ejemplo a los 14 días se obtiene un resultado mayor en un 30% al obtenido a los 4 días, y a 28 días 50% mayor al obtenido en esa misma edad.
- Alcanzar la densidad óptima en campo no tiene mayor implicación a la que se realizan en agregados de cantera.
- El módulo dinámico del material reciclado resulta ser aproximadamente un 10% menor al valor típico para agregados de cantera.

4.4. GUÍA ESPAÑOLA DE ÁRIDOS RECICLADOS PROCEDENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD).

Esta guía se desarrolla a partir de la “recopilación de experiencias e investigaciones, y de experimentación directa, orientada a proponer recomendaciones técnicas y directrices de uso y aplicación específicamente elaboradas para los áridos reciclados procedentes de RCD”^[1], con iniciativa privada de la Asociación Española de Gestores de Residuos de Construcción y Demolición (GERD), a la cual se fueron incluyendo las entidades públicas como el Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino del Gobierno de España, como parte del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica.

Esta iniciativa incluyo entidades de todo el País, entre 24 empresas de residuos de construcción y demolición, universidades y centros investigativos, número que se fue ampliando a medida que se logró despertar el interés de los sectores.

El proyecto desarrollado tuvo una duración de 36 meses (3 años), contemplando 4 etapas principales.

1. Caracterización del material RCD de plantas, para posteriores análisis estadístico

2. Determinación de las posibles aplicaciones, correspondiendo a los resultados obtenidos
3. Análisis del impacto ambiental
4. Seguimiento a obras realizadas con material de RCD para dar seguimiento a su comportamiento durante su vida de servicio.

A pesar de ser esta una guía que contempla las diferentes aplicaciones del agregado proveniente de residuos de construcción y demolición en la construcción de obras civiles, para fines del presente proyecto serán estudiados las recomendaciones y procedimientos descritos para el uso de estos en capas de base y subbase de estructuras de pavimento.

Al igual que en cualquier procedimiento, es necesario definir el esquema con el cual trabaja una planta de reciclaje de agregados de construcción y demolición, tal como se muestra a continuación.

Tabla 8 Esquema general de procesos de una planta de reciclaje.

| ETAPA | TIPO DE PROCESO | PROCESO |
|--------------------------|------------------------|--|
| Control de admisión | Manual | Control organoléptico inicial (color, olor y textura) |
| | Manual y/o informático | Documentación de origen |
| | Manual | Identificación de contaminaciones |
| | Manual y/o informático | Pesaje |
| | Manual | Definición de acopios específicos por material de entrada |
| Pre tratamiento | Manual | Separación manual de acopio |
| | Mecánico | Separación mecánica del acopio (martillos, palas y retroexcavadoras) |
| Pre cribado | Mecánico | Alimentador pre cribador |
| | | Trómel |
| Clasificación y limpieza | Manual | Cabina de triaje |
| | Mecánico | Trómel |
| | | Electroimanes |
| | | Lavadoras |
| | | Sopladores |

| ETAPA | TIPO DE PROCESO | PROCESO |
|-----------------------------------|-----------------|----------------|
| | | Ciclón |
| Trituración primaria o secundaria | Mecánico | Mandíbulas |
| | | Impacto |
| | | Conos |
| Cribado | Mecánico | Cintas y criba |

Fuente: PROYECTO GEAR. Guía Española de Áridos Reciclados Procedentes de Residuos De Construcción y Demolición (RCD). 2011.

Se hace necesario el estricto control durante cada una de las etapas mencionadas, ya que por la heterogeneidad del material se debe conocer como mínimo si se encuentra contaminado, la composición predominante y la caracterización del material, de tal manera que se pueda garantizar la calidad del producto de salida.

El estudio en mención centra el uso de zahorra artificial obtenida a partir de residuos de construcción y demolición, entendiéndose zahorra como un “material granular, de granulometría continua, utilizado como capa de firme. Se denomina zahorra artificial al constituido por partículas total o parcialmente trituradas”^[2] que puede ser utilizado para las capas de base y subbase, siempre y cuando cumpla con los requerimientos establecidos para cada capa.

Posterior a la realización de los ensayos de máquina de los Ángeles y relación de índice de lajas (índice de alargamiento y aplanamiento), se determina un 99% de cumplimiento para el índice de lajas y cumplimiento de más del 80% para desgaste en la máquina de los Ángeles. En el caso la granulometría se hace necesario realizar tareas de clasificación y trituración las veces que sean necesarias para poder alcanzar el cumplimiento, para lo cual no se encontró la imposibilidad de alcanzar estos requerimientos para ninguna muestra.

Para la selección del material de seguimiento, fueron seleccionados 3 tipos de residuos de construcción, uno predominante de material pétreo, predominante de concreto hidráulico y predominante de cerámica, a los cuales les fueron realizados los ensayos requeridos por el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y puentes PG-3, los resultados son mostrados a continuación.

Tabla 9 Resultados de ensayos realizados a muestras de residuos de construcción y demolición.

| ENSAYO | RESULTADO |
|---|---|
| Granulometría | Se ajustó mediante trituración. |
| Índice de lajas (Índice de aplanamiento y alargamiento) | Cumplimiento de requisitos |
| Plasticidad | No plásticos |
| Resistencia a la fragmentación | Grado de incumplimiento: 17% |
| Proctor | La densidad óptima es menor que en agregados naturales La humedad óptima resulta ser mayor que en agregados naturales |
| CBR | Las muestras a las cuales se les realizó el ensayo presentaron un buen comportamiento, debido a la presencia de agua que genera reacciones puzolanicas tanto en el concreto como en la cerámica |
| Materia Orgánica | Grado de incumplimiento cercano al 48% |
| Equivalente de arena | El 100% de las muestras cumplen con el requisito |
| Compuestos de azufre total, sulfatos solubles en agua y contenido de yeso | <ul style="list-style-type: none"> • Valor máximo 5%, 4% superior al establecido en PG-3 • La mayoría de resultados son inferiores o iguales a 1% |

Fuente: Adaptado de PROYECTO GEAR. Guía Española de Áridos Reciclados Procedentes de Residuos De Construcción y Demolición (RCD). 2011.

Se recomienda determinar el contenido de materia orgánica mediante el método de ignición, ya que el ensayo con permanganato de potasio altera significativamente el resultado por las reacciones que se generan con los componentes de los residuos.

Para el caso de la resistencia a la fragmentación se recomienda analizar los requisitos, ya que se tiene un alto grado de incumplimiento, para lo que se recomienda realizar un estudio complementario con otros ensayos.

Uno de los parámetros que más complicación tiene en su cumplimiento, es el contenido de compuestos de azufre total, sulfatos solubles en agua y contenido de yeso, esto especialmente para los agregados mixtos (concreto hidráulico y cerámica), lo que se ve directamente relacionado con el coeficiente de limpieza, lo que puede reducirse a partir del uso de sistemas de limpieza por agua, sin embargo

con este sistema no se alcanzan los requerimientos dispuestos en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y puentes.

Como una de las recomendaciones iniciales se propone hacer el replanteamiento de estos requerimientos en cuanto a los compuestos de azufre total, sulfatos solubles en agua y contenido de yeso, haciendo especial seguimiento con los ensayos de hinchamiento e índice de colapso, para poder generar una especificación adecuada que no genere riesgos para la estabilidad de la estructura.

También se recomienda el seguimiento para muestras que no den cumplimiento respecto al contenido de materia orgánica, ya que en el 20% no lo alcanza, mediante los ensayos de hinchamiento e índice de colapso como alternativa para estudiar el comportamiento frente a un posible aumento en la permisividad de este parámetro.

Finalmente como producto de la investigación se realizan unas recomendaciones respecto a valores para cada uno de los parámetros y propiedades como una adaptación de lo establecido en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y puentes.

5. CAPITULO V: ESPECIFICACIONES IDU ET-2011, USO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN BASES Y SUBBASES

En el tema de residuos de construcción y demolición se dispone las Especificaciones IDU ET-2011 en el capítulo 4 “*subbases y bases*” la sección 452-1 “*Empleo de agregados pétreos a partir de concreto hidráulico reciclado*”, de la cual serán mencionados los aspectos más importantes a continuación.

- El cumplimiento de las propiedades y parámetros establecidos para el uso de bases y subbases, se asocia con el cumplimiento de los requerimientos establecidos para material obtenido de cantera
- Se restringe el uso del agregado reciclado de construcción y demolición en el 100% de la granulometría.
- El equipo de procesamiento de agregados debe estar compuesto por:

Trituradora (primaria, secundaria y terciaria)

Clasificador

Equipo de lavado

Sistema de separación de materiales

- Se debe garantizar la limpieza del material de contaminaciones (madera, basura, plásticos, etc.)
- Las condiciones de recibo así como las propiedades y parámetros deben ser iguales a los requeridos para material extraído de cantera.

Teniendo en cuenta que los requerimientos de cumplimiento de propiedades y parámetros de los agregados para bases y subbases reciclados de residuos de construcción y demolición están dados por las mismas solicitadas para materiales de cantera, es necesario remitirse al capítulo 4 sección 400 “*Capas granulares de base y subbase*”.

a. Ensayos requeridos para bases y subbases

Tabla 10 Ensayos requeridos para Bases y Subbases

| ENSAYOS | | NORMA DE ENSAYO |
|-----------------------------|---|-----------------|
| Composición | Granulometría | INV E 213-07 |
| Dureza | Desgaste en la máquina de los Ángeles | INV E 218-07 |
| | Micro Deval | INV E 238-07 |
| | 10% de finos | INV E 224-07 |
| Durabilidad | Perdidas en ensayo de solidez | INV E 220-07 |
| Limpieza | Limite líquido | INV E 125-07 |
| | Índice de plasticidad | INV E 126-07 |
| | Equivalente de arena | INV E 133-07 |
| | Valor de azul de metileno | INV E 235-07 |
| | Terrones de arcilla y partículas deleznable | INV E 211-07 |
| Geometría de las partículas | Partículas fracturadas mecánicamente | INV E 227-07 |
| | Índice de aplanamiento | INV E 230-07 |
| | Índice de alargamiento | INV E 230-07 |

| | | |
|--------------|-------------------------------|--------------|
| | Angularidad del agregado fino | INV E 239-07 |
| Compactación | Proctor modificado | INV E 142-07 |

| ENSAYOS | | NORMA DE ENSAYO |
|----------------------|--------|-----------------|
| Capacidad de soporte | C.B.R. | INV E 148-07 |

Fuente: Adaptado INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO IDU. Especificaciones IDU ET-2011. Sección 400 Versión 3.

b. Equipo

- El equipo de procesamiento:
 - Trituradora (primaria, secundaria y terciaria).
 - Clasificador.
 - Equipo de lavado.
 - Sistema de separación de materiales.
- El equipo de transporte:
 - Volquetas platón liso y estanco.
- El equipo de extensión y mezcla:
 - Motoniveladora.
 - Recicladora.
 - Otros.
- El equipo de compactación:
 - Rodillos estáticos neumáticos o mixtos.
 - Rodillos vibratorios neumáticos o mixtos.
- El equipo accesorio:
 - Carrotanque o irrigador.
 - Barredora o sopladora mecánica.

c. Requerimientos de ejecución en los trabajos

- Fase de experimentación: Se trata de un tramo de prueba donde se ponga a prueba los materiales que serán utilizados, así como cada uno de los procedimientos constructivos.

- Preparación de la superficie existente: debe cumplir con la densidad, cotas, secciones indicadas.
- Extensión y mezcla del material: El material debe estar bien mezclado, con la humedad correspondiente para su extensión.
- Compactación: Conforme al tramo de prueba se deben realizar la cantidad de pasadas y el equipo compactador para alcanzar la densidad óptima del material.

6. CAPITULO VI: ANÁLISIS

6.1. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN RECOPIADA

Una vez recopilada la información de las investigaciones realizadas en España con el propósito de generar bases técnicas para la creación de especificaciones propias respecto al uso de RCD en las construcciones civiles, serán enunciados los principales aspectos.

- Las muestras de agregados reciclados de concreto hidráulico y mixto, presentan disminución en la resistencia a la fragmentación, sin embargo esto no afecta su capacidad portante, ya que el material presenta aumento en la resistencia con el tiempo, gracias a las reacciones químicas que se presentan en el material aun después de instalado.
- Los parámetros de contenido de materia orgánica y compuestos de azufre total, son vitales de controlar por el riesgo de colapso que generan a la estructura en caso de un incumplimiento, sin embargo se ha determinado que el incumplimiento de estos requisitos por la naturaleza del material puede no representar un riesgo, por eso deben ser comparados los resultados con ensayos de hinchamiento y colapso, que son los que pueden garantizar un buen comportamiento.
- La condición para concretos hidráulicos para ser reciclado como agregado, debe ser que la resistencia a la compresión sea mínimo de 35 MPa.

- Por las características del material fino de los agregados de reciclaje de concreto y mixto, el grado de absorción es mayor que en agregados reciclados, sin embargo es posible alcanzar la densidad óptima con una humedad determinada.
- El ensayo de determinación de contenido de materia orgánica no es recomendable hacerlo por algún método químico, ya que este reacciona con las partículas del agregado y genera resultados inconsistentes, por eso se recomienda usar el método de ignición, complementado con ensayo como el azul de metileno y equivalente de arena para encontrar partículas perjudiciales.
- El no cumplimiento de una propiedad o parámetro frente a las especificaciones para materiales de pavimentos, por parte de los agregados reciclados, no significa que este deba ser descartado ya que si bien se presentan algunos incumplimientos aún no se ve afectada la capacidad portante del material, por lo tanto las otras propiedades y parámetros pueden ser estudiados para conocer si su comportamiento es adecuado.
- Los agregados de concreto hidráulico tienen en general un mejor comportamiento que los agregados mixtos.
- Las diferencias en campo para alcanzar la densidad del material no representan acciones adicionales a las realizadas con un agregado natural.

6.2. FORTALEZAS Y DEBILIDADES DE ESPECIFICACIONES IDU ET-2011, USO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN BASES Y SUBBASES

Se puede considerar como una de las mayores fortalezas de las especificaciones IDU ET 2011 respecto al tema de reciclado de agregados, el hecho de haber incorporado este tema dentro de ella, ya que no solamente obedece a la necesidad de crearla por los requerimientos ambientales que se generaron a nivel distrital, sino que genera el interés del sector constructivo hacia el uso de este material en las obras de espacio público e infraestructura vial de la ciudad de Bogotá y siendo las

especificaciones IDU un referente a nivel nacional para otras ciudades se considera como gran aporte esta sección.

Sin embargo según la escases de requerimientos propios que se cuenta para el material reciclado, puede generar en el gremio de los contratistas una insatisfacción al tener que cumplir las especificaciones para materiales de cantera, que según varios estudios realizados no se pueden alcanzar, para lo cual la única solución que se plantea es la dosificación de material reciclado con material natural, sin poner un porcentaje mínimo de material reciclado dentro de la estructura del pavimento.

A esto también se le puede sumar la exclusión de otros materiales reciclados diferentes al concreto hidráulico, ya que en el caso de las edificaciones verticales el contenido de cerámica extraído suele ser considerable, por lo tanto se reduce el propósito inicial impuesto por la Secretaria Distrital de Ambiente que es disminuir la disposición de residuos en botaderos. Por lo anterior es importante que el Instituto de Desarrollo Urbano no descarte el uso de agregados reciclados mixtos, para lo cual según la literatura consultada puede tener un buen comportamiento dentro de las capas de base y subbase del pavimento.

Uno de los aspectos más importantes para poder obtener un buen producto de salida es controlar el producto de entrada, es por eso que conociendo la cantidad e variables que tiene el concreto dispuesto en obra por su resistencia, presencia de aditivos, relación agua/material cementante, entre otras, se hace necesaria la restricción por lo menos en una de las variables de las características del concreto, para lo cual puede considerarse como única variable posible de conocerse en el momento de la demolición es la resistencia a la compresión, por eso se hace necesario el estudio del comportamiento del agregado a diferentes resistencias con el fin de poder determinar correlaciones que permitan el cumplimiento de las especificaciones.

Teniendo en cuenta la heterogeneidad de los agregados reciclados, puede entrar en consideración la frecuencia de la realización de los ensayos, de tal manera que

se pueda garantizar de manera eficiente la calidad y el cumplimiento de los requisitos exigidos por la especificación.

Respecto a los equipos y procedimientos conforme las investigaciones realizadas no es necesario generar cambios significativos en los mismos para alcanzar la densidad óptima en campo, sin embargo hay que tener en cuenta se debe tener el equipo disponible para surtir la cantidad de agua que se necesita para los procesos de compactación en comparación al agregado natural, de igual manera cabe resaltar que al igual que en un tramo con material de cantera debe ser utilizado un tramo de prueba donde sea definido el equipo utilizado y la cantidad de pasadas necesarias.

En muchas ocasiones las especificaciones a nivel nacional resultan ser una adaptación de otras especificaciones, lo que incluso al ser un material natural genera diferencias más aun por la naturaleza de material es necesario tener en cuenta que el estudio de los materiales debe ser propio para cada zona de estudio, por eso es recomendable ensayos a las plantas locales existentes para poder identificar parámetros y propiedades propios y alcanzables según las características de disponibilidad de materiales.

7. CONCLUSIONES

- Se considera como una de los avances más importantes la inclusión de la sección de USO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN BASES Y SUBBASES en las Especificaciones IDU ET-2011, de tal manera que genera el interés público y privado sobre estos agregados, lo que puede dar pie a futuras investigaciones.
- Teniendo en cuenta que el Instituto de Desarrollo Urbano no cuenta con laboratorios propios para la realización de ensayos, se hace necesario el desarrollo de contratos o convenios de consultoría que permita evaluar los agregados reciclados provenientes de las plantas actuales en Bogotá, de tal manera que se puedan realizar especificaciones a la medida de estos

materiales, y se pueda garantizar el uso de este material sin necesidad de ser completado con agregados de cantera para el cumplimiento de las especificaciones actuales.

- Se hace necesario contemplar en las Especificaciones IDU ET-2011 el uso de agregados reciclados mixtos (concreto reciclado y cerámica) ya la cerámica constituye un buen porcentaje de material que actualmente está siendo destinado en botaderos o en otros usos.
- Por las características del material deben ser evaluados los ensayos actuales vigentes en las Especificaciones IDU ET-2011 para la aceptación de agregados para bases y subbases, ya que por las diferencias que presenta con los de cantera puede ser necesaria la incorporación de ensayos adicionales como requisito para garantizar la durabilidad de la estructura durante su vida de servicio.
- Los agregados reciclados no deben ser descartados según lo investigado por el no cumplimiento de las especificaciones actuales, ya que por su naturaleza presentan disminución o aumento de valores en propiedades y parámetros de las especificaciones, que no necesariamente significan un riesgo para la estructura de pavimento, por eso se deben contemplar estudios complementarios como los de colapso, de tal manera que garantiza que la presencia de materia orgánica o compuestos totales de azufre no afecten la estructura.
- Por las reacciones químicas que se presentan por los componentes del agregado reciclado, debe ser descartado el ensayo de materia orgánica con compuestos químicos, ya que se pueden ver afectados significativamente los resultados por causa de estas reacciones.
- En el caso de agregados reciclados provenientes de concreto hidráulico es necesario restringir en las Especificaciones las características de este concreto, para lo cual la característica medible de un concreto en servicio sería la resistencia a la compresión, restringiendo en cierta forma las variables del material.

- Los requisitos de equipos y procesos constructivos deben ser analizados si pueden ser los mismos que para material de cantera, sin embargo en investigaciones se demuestra que estos no cambian para las capas con material reciclado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. PROYECTO GEAR. Guía Española de Áridos Reciclados Procedentes de Residuos De Construcción y Demolición (RCD). 2011. P. 5-6
- [2] PROYECTO GEAR. Guía Española de Áridos Reciclados Procedentes de Residuos De Construcción y Demolición (RCD). 2011. P. 73

BIBLIOGRAFÍA

PROYECTO GEAR. Guía Española de Áridos Reciclados Procedentes de Residuos De Construcción y Demolición (RCD). 2011.

IHOBE. Uso de áridos reciclados mixtos procedentes de Residuos de Construcción y Demolición. Investigación Pre normativa. Bilbao: IHOBE, 2011

IHOBE, S.A. SOCIEDAD PÚBLICA DEL DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO DEL GOBIERNO VASCO. Manual de Directrices para el uso de Áridos Reciclados en Obras Publicas de la Comunidad Autonoma del Pais de Vasco. 2009.

TOMÁS ALBILLOS DEL VAL; Resultados del proyecto de I+D+i “Clasificación, pretratamiento y valorización optima de los RCD’s según procedencia considerando las particularidades constructivas propias de Castilla y León”; [Diapositivas de PowerPonit]

CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PUBLICAS, Actualización del catálogo de residuos reutilizables en construcción. 2009.

DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS; CENTRO DE PUBLICACIONES, MINISTERIO DE FOMENTO. Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). 2015

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO IDU. Especificaciones IDU ET-2011. Versión 3. 2013.

J. R. JIMÉNEZ, F. AGRELA, J. AYUSO, M. LÓPEZ. Estudio comparativo de los áridos reciclados de hormigón y mixtos como material para subbases de carreteras. 2010