



**COMPARACIÓN ESTRUCTURAL Y ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LA UTILIZACIÓN DE
CONCRETO CON AGREGADOS NATURALES Y CONCRETO CON RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y
DEMOLICIÓN (R.C.D.) COMO AGREGADO.**

JULIO VICENTE CASTELLANOS GIRALDO

FREDY DUVAN RIVERA MARTINEZ

MIGUEL ROA MORALES

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE OBRAS

BOGOTÁ D.C NOVIEMBRE 17 DE 2017

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	7
1. GENERALIDADES	9
1.1. Planteamiento del Problema	9
1.1.1. Antecedentes del problema.	10
1.1.1. Pregunta de investigación.	12
1.1.2. Variables del problema	13
1.1.3. Delimitación del problema.	13
1.2. Justificación	14
1.3. Objetivos	15
1.3.1. Objetivo general	15
1.3.2. Objetivos específicos	15
2. MARCOS DE REFERENCIA	16
2.1. Marco conceptual	16
2.2. Marco teórico	22
2.3. Marco jurídico	26
2.4. Marco geográfico	29
2.5. Marco demográfico	31

2.6.	Estado de Arte	31
2.7.	Análisis de tendencia de uso de materiales rcd	40
3.	METODOLOGÍA	44
3.1.	establecimiento de parámetros de diseño	44
3.2.	Parámetros de medición	45
4.	RESULTADOS	46
4.1.	RESULTADOS DISEÑO ESTRUCTURAL	46
4.2.	COMPARACIÓN DE CANTIDADES	48
4.3.	ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA CONCRETO DE 28 MPA	52
4.4.	COMPARACIÓN DE COSTOS.	54
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
	BIBLIOGRAFÍA	57



La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:

- Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
- hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración No. 1 Concreto Premezclado según Destino

Ilustración No. 2 Comparativo de RCD reutilizado o Reciclado

Ilustración No. 3 Zonificación de la Respuesta sísmica de Bogotá para el Diseño Sismo Resistente de Edificaciones

Ilustración No. 4 Resultados encuesta a Ciudadanía

Ilustración No. 5 Resultados encuesta a Diseñadores

Ilustración No. 6 Resultados encuesta a Constructores

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla No. 1 Definiciones conceptuales de las variables.

Tabla No. 2 Clasificación de los Residuos de Construcción y demolición RCD

Tabla No. 3 Requisitos de Control de Materiales

Tabla No4 Descripción Zonas de respuesta Sísmica

Tabla No. 5. Gestión Integral de Residuos de Construcción y Demolición RCD

Tabla No. 6. Variación de derivas

TABLA No. 7. Cantidades de concreto y acero para una estructura convencional

TABLA No. 8. Cantidades de concreto y acero para una estructura con concreto RCD.

Tabla No. 9. Análisis de precios unitarios para un concreto convencional de 28 MPa

Tabla No. 10 Análisis de precios unitarios para un concreto con 100% de RCD

Tabla No. 11. Análisis de precios unitarios para concreto con 25% de remplazo de RCD

Tabla No. 12. Precio total estructura Convencional y estructura con RCD al 25%.

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Memoria de cálculo estructural y cantidades.....

INTRODUCCIÓN

Desde mediados de la segunda mitad del siglo XX se ha dado uso de los residuos de construcción y demolición (RCD) para la construcción de nuevas edificaciones, con el fin de disminuir las afectaciones generadas en el ambiente tales como la contaminación del aire, el agua, el suelo y el deterioro paisajístico. De acuerdo con artículo presentado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible el 3 de marzo de 2.107¹, en nuestro país se producen más de 22 millones de toneladas de residuos de construcción, y debido a la falta de planificación para una adecuada gestión final de los mismos, se han ido depositando en vertederos, en muchas ocasiones, de forma incontrolada sin aprovechar sus recursos valorizables, situación que se presenta no solo en Colombia sino en el mundo; debido a esto, en muchos países se ha creado legislación para lograr una gestión integral de los residuos de construcción y demolición o escombros.

Nuestro país no se ha quedado atrás, y se han expedido medidas legales y económicas por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la Resolución 472 del 28 de febrero de 2017 aplicable a todas las personas naturales y jurídicas que generen, recolecten, transporten, almacenen, aprovechen y dispongan RCD de las obras civiles o de otras actividades conexas en el territorio nacional, en la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos de construcción y demolición o escombros en el país, para disminuir a las afectaciones generadas en el ambiente tales como la contaminación del aire, el agua, el suelo y el paisaje.

1. Noticias MinAmbiente(Online),Colombia. Disponible:
<http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros>

En la ciudad de Bogotá específicamente ya hay dos resoluciones que tratan dicho tema el Decreto 932 de 2015 y la resolución 1115 de 2012 de la Secretaria Distrital de Ambiente.

En el presente documento trataremos el tema enfocándonos en la reutilización de los RCD como agregados para la fabricación del concreto, tomando un porcentaje de remplazo del 25% de agregados naturales por agregados reciclados. Tomando como punto base los estudios académicos hechos sobre el remplazo de RCD en el concreto, se va a comparar el diseño estructural y los costos directos de la producción del concreto estructural, de un edificio de cinco (5) pisos de altura utilizando, con concreto estructural convencional y con concreto estructural con remplazo de agregados provenientes del RCD, para establecer uno de estos mecanismos como una alternativa de calidad a costos razonables.

1. GENERALIDADES

Gestión y tecnología para la sustentabilidad de las comunidades (Cambio Climático).

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El auge en la actividad de la construcción en Colombia implica la generación de grandes cantidades de Residuos de Construcción y Demolición(R.C.D.) que se han convertido en una problemática ambiental y social pues su disposición final está encaminada a rellenos sanitarios, los cuales de acuerdo con lo expresado por el director del Departamento Nacional de Planeación (DNP), Simón Gaviria Muñoz, “presentan una crítica situación pues la vida útil de los rellenos sanitarios de 321 municipios del país se terminará en cinco años, lo que causará un gran impacto ambiental ante la falta de estrategias de los entes territoriales para buscar una solución de largo plazo a la disposición final de residuos sólidos”.

Bajo estas condiciones se considera pertinente mejorar el proceso de reutilización, reciclaje y correcta eliminación de RCD peligrosos por parte de las constructoras para lo cual se pretende aplicar ambos sistemas constructivos en el diseño estructural de una edificación regular en planta y altura de 5 pisos en la ciudad de Bogotá, en una zona de microzonificación sísmica LACUSTRE-200.

Se trata aquí, a partir de este diseño realizar un comparativo teórico estructural y de costos directos de acuerdo a los parámetros generales que rige la NSR-10 para diseño de estructuras sismo resistente, en donde se logre establecer que el consumidor final sería beneficiado con una

disminución en los costos de construcción con el uso de agregados reciclados producto de RCD en una proporción del 25%, y no los convencionales.

1.1.1. Antecedentes del problema.

Las necesidades poblacionales y de desarrollo en la ciudad de Bogotá han generado un aumento en las obras de infraestructura para cumplir con dichas necesidades, que con lleva tanto a un mayor impacto ambiental por sus emisiones de CO₂ como a la utilización de más materiales de construcción y por ende mayor cantidad de desechos de construcción generados, los cuales la mayoría de las veces no son gestionados de la mejor manera, a pesar de su creciente volumen y sobre lo insatisfactorio de su tratamiento todavía², a pesar de que muchas investigaciones realizadas alrededor del mundo han demostrado que ciertos elementos poseen aun capacidad de ser valorizados; perdiéndose recurso potenciales.

Ponencia “Manual de manejo de residuos de construcción y demolición para obras en Bogotá” por Carlos César Parrado Delgado Ph.D en contaminación y recursos naturales. Primer Foro Internacional para la Gestión y Control de Residuos de la Construcción y Demolición – RCD- en el Contexto del Programa Basura Cero-Escombros Cero. Realizado del 4 al 6 de diciembre del 2012. Hotel Tequendama. Bogotá. D.C.

La demanda de concreto en Colombia ha venido generando un aumento en la explotación de agregados, según el DANE, de enero a julio de 2017, la producción de concreto premezclado fue de 561.700 m³ de los cuales 453.400 m³ son destinados para la construcción de vivienda y edificaciones, presentando una disminución con respecto al año anterior de -6,9%. Este comportamiento se explica principalmente por la disminución de la producción de concreto para el destino edificaciones (-18,3%), por su parte el destino Obras civiles registró una variación anual de 3,2% en la producción de concreto. (Ver Ilustración No. 1)

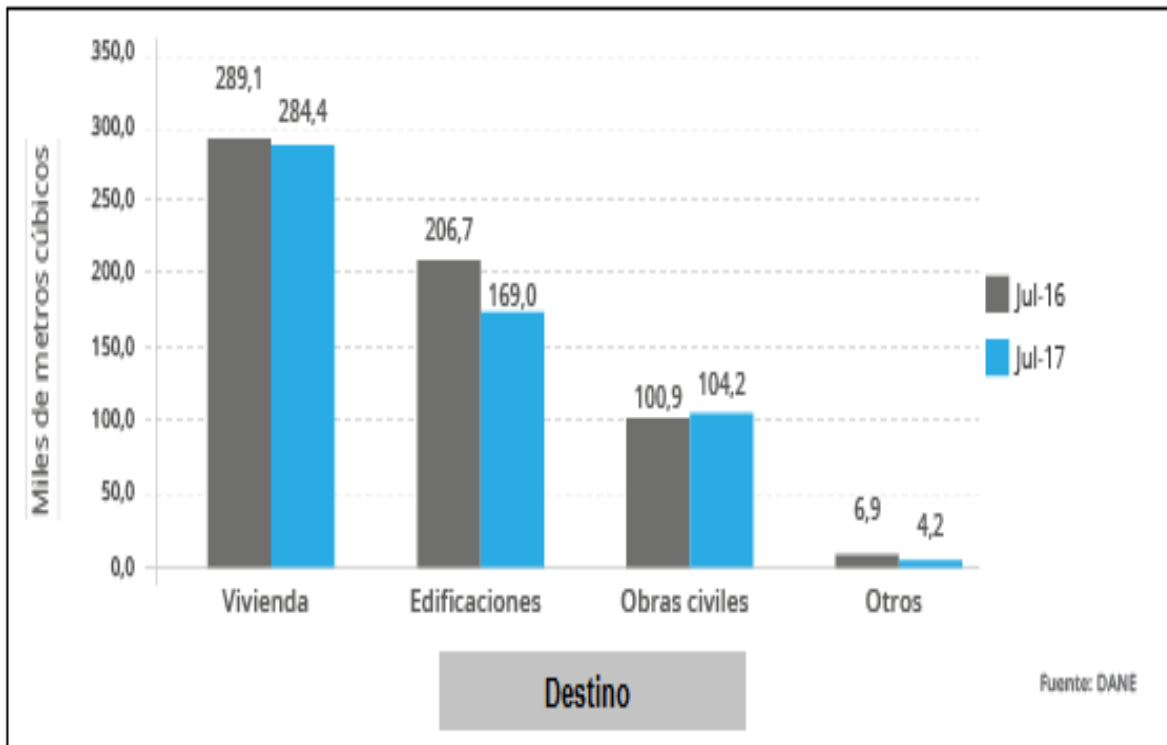


Ilustración No. 1 Concreto Premezclado según Destino

Fuente: <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/estadisticas-de-concreto-premezclado>

Uno de los temas principales en el sector de la construcción es la gestión de los RCD, en evento realizado por el Consejo de Construcción Verde de los Estados Unidos (USGBC) en el año 2.015 se presentó una estadística sobre la reutilización de Residuos de Construcción y Demolición y es lamentable el porcentaje que presenta Colombia en dicho proceso comparado con otros países. (Ver Ilustración No. 3)

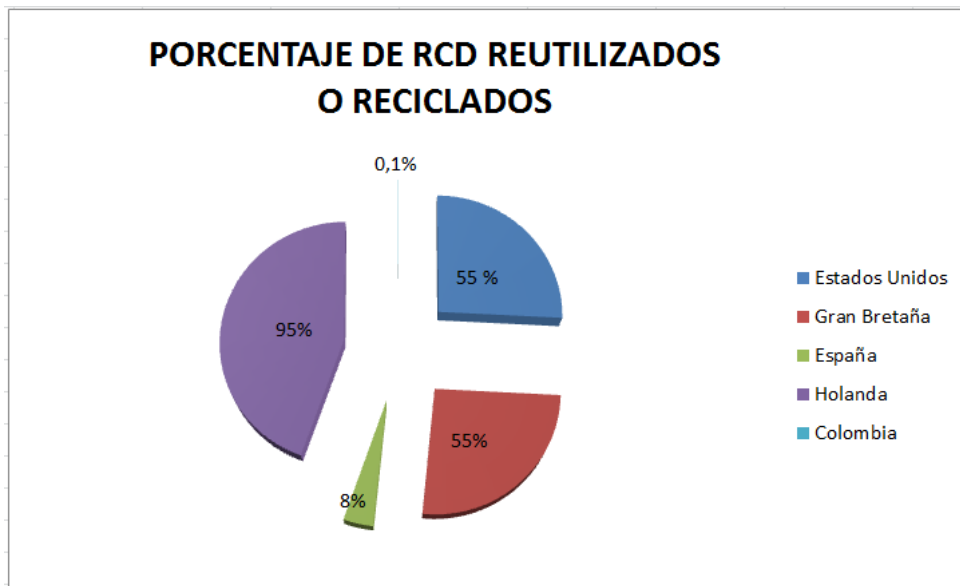


Ilustración No. 2 Comparativo de RCD reutilizado o Reciclado

Por lo anterior, teniendo en cuenta este panorama, se presenta este proyecto como una manera de incentivar el uso concreto de residuo de construcción y demolición (R.C.D.)

1.1.1. Pregunta de investigación.

¿Es viable técnica y económicamente la utilización de RCD provenientes del concreto como remplazo de agregado natural en concretos para uso estructural?

1.1.2. Variables del problema

Teniendo en cuenta que una variable es una propiedad que puede variar y cuya fluctuación puede ser medida u observada, En la siguiente tabla se establecen las variables involucradas en el presente proyecto. (Ver Tabla No. 1)

Variable	Definición Conceptual
Productividad	El propósito de la productividad es medir el grado de eficiencia de la organización, evaluando los insumos invertidos contra el producto recibido
Calidad	Es el conjunto de características de un elemento que le confieren la aptitud para satisfacer las necesidades explícitas e implícitas, la administración de la calidad incluye el control de la calidad y el aseguramiento de la calidad
Planes de calidad	Es un proceso que supone la elaboración y evaluación de cada parte de un conjunto interrelacionado de decisiones antes de que se inicie la acción

Tabla No. 1 Definiciones conceptuales de las variables.

Fuente: Adaptado de Hernández, Fernández y Baptista (2010)

1.1.3. Delimitación del problema.

Para establecer unos parámetros definidos sobre cómo se van a comparar las dos estructuras, tanto concreto convencional como con agregado reciclado (AR), se define que el diseño se hace para una estructura lo más regular posible de las siguientes características: Estructura aporticada cuadrada de 15 x 15 m de 5 pisos, con una altura total de 15 metros.

Distancia entre ejes de 5 metros.

Columnas de 40x40 cm y vigas de 30x45 cm.

Cimentación superficial (zapatas aisladas)

Concreto estructural convencional con $f'c= 28$ MPa.

Acero estructural $f_y=420$ Mpa

Losa nervada en una dirección.

Sin voladizos.

Se presenta un foso para ascensor y una escalera.

Microzonificación Lacustre 200 para la ciudad de Bogotá.

Las especificaciones menos generales de diseño se pueden apreciar en el anexo "" del documento donde se presenta detallado el diseño estructural de las estructuras.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Debido a que las materias primas de la construcción afectan negativamente el medio ambiente a lo largo de su ciclo de vida, y que las demandas de estos mismos crecen con el tiempo; se hace necesaria la búsqueda de diferentes soluciones técnicas y científicas que reduzcan el impacto ambiental generado por la industria de la construcción. Por esto han surgido muchos trabajos de investigación por medio de los cuales se estudia la posibilidad de utilizar los RCD como reemplazo de los agregados naturales en la producción del concreto estructural (Vivian

ULOA 2009). Estos estudios se hacen bien sea reemplazando los agregados finos y gruesos o reemplazando el cemento por cenizas volantes y puzolanas naturales, los cuales han permitido concluir que estos cumplen con los parámetros de resistencia, condiciones de producción de mezcla y acabado óptimas para el desarrollo de mobiliario urbano(Rosas 2014)

Por ello, y en vista de que casi la totalidad de los estudios académicos realizados sobre el uso de RCD en el concreto estructural se han dirigido hacia las propiedades mecánicas del concreto, este documento busca mostrar los resultados que se obtienen de la utilización del RCD en el concreto estructural, para verificar si su aplicación trae beneficios técnicos y económicos a las constructoras.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Realizar una comparación TEÓRICA (estructural y de costos de construcción) entre una estructura con concreto estructural convencional y otra con concreto estructural con RCD de concreto como agregado, en el diseño de una edificación regular en planta y altura de 5 pisos en la ciudad de Bogotá, en una zona de microzonificación sísmica LACUSTRE-200.

1.3.2. Objetivos específicos

. Determinar las especificaciones que deben tener la construcción con materiales convencionales y la construcción con material R.C.D. según la legislación colombiana.

. Caracterizar ambos sistemas constructivos; definiendo materiales utilizados y costos de estos.

. Reconocer otras aplicaciones de uso de material R.C.D. distinto a elementos estructurales.

. Analizar la tendencia actual del uso del material R.C.D. en Bogotá D.C.

. Medir la diferencia de costos que se presentan entre la producción de concreto estructural con agregados estructurales y concreto con RCD como agregado.

2. MARCOS DE REFERENCIA

2.1. MARCO CONCEPTUAL

Concreto

De una forma simple, el concreto se puede definir como la mezcla de agua, un material cementante, agregados finos y gruesos y en algunos casos aditivos; se puede usar tanto para fines estructurales como no estructurales, los aditivos tienen algunas funciones tales como incrementar el rendimiento de trabajo, mejorar su resistencia o disminuir los tiempos de fraguado. Es un material cuya principal función en la estructura es soportar los esfuerzos de compresión. El concreto ha sido a lo largo de los últimos cien años el material más empleado en la construcción de obras civiles. A continuación, hacemos una breve descripción de los

componentes que conforman el concreto:

Cemento

Tomando la definición dada por argos, el cemento es un polvo fino que se obtiene al poner en temperaturas muy altas una mezcla de piedra caliza, arcilla y otras sustancias. Es un material que reacciona con el agua y que actúa como aglutinante, presenta propiedades de adherencia y cohesión, produciendo compuestos que son muy resistentes.

Hay una variedad de cementos que pueden ser utilizados en construcción, sin embargo, el cemento gris es el material de construcción más utilizado del mundo. El cemento portland es un cemento compuesto de una mezcla de caliza y arcilla, que fragua muy despacio y es muy resistente; al secarse adquiere un color semejante al de la piedra de las canteras inglesas de Portland.

Agua

Las exigencias generales que propone el ICONTEC en la NTC 3459 son: el agua debe ser clara y de apariencia limpia, libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, sales, materiales orgánicos y otras sustancias que puedan ser dañinas para el concreto o el refuerzo. Si contiene sustancias que le produzcan color, olor o sabor inusuales, objetables o que causen sospecha, el agua no se debe usar a menos que existan registros de concretos elaborados con ésta, o información que indique que no perjudica la calidad del concreto.

El agua para elaborar el concreto puede tomarse de fuentes naturales y, por lo tanto, puede contener elementos orgánicos indeseables o contenidos inaceptables de sales inorgánicas, Las aguas superficiales, en particular, a menudo contienen materia en suspensión, como aceite, arcilla, sedimentos, hojas y otros desechos vegetales, y puede ser inadecuado emplearlas sin tratamiento físico preliminar, como filtración o sedimentación para que dicha materia en suspensión se elimine.

Agregados

La palabra agregados se refiere a cualquier combinación de arena, grava o roca triturada en su estado natural o procesado. Son minerales comunes, resultado de las fuerzas geológicas erosivas del agua y del viento. Son generalmente encontrados en ríos y valles, donde han sido depositados por las corrientes de agua. Los depósitos de arena y grava están constituidos por materiales que han sido separados más o menos de otros.

Deriva de piso de diseño

Diferencia relativa de desplazamiento de diseño entre la parte superior e inferior del piso, dividido entre la altura del piso.

Sismo resistencia

El sismo resistencia es un atributo que es destinado a una edificación de acuerdo a su configuración geométrica y a las técnicas de diseño que tiene empleadas para resistir las fuerzas

de un movimiento sísmico.

Agregados reciclados

El concreto reciclado es simplemente el concreto viejo que se trituró para producir agregado. El agregado de concreto reciclado generalmente tiene una mayor absorción y una gravedad específica menor que el agregado convencional. Esto resulta de la alta absorción del mortero poroso y de la pasta de cemento endurecido en el agregado de concreto reciclado.

Concreto reciclado

Son aquellos concretos en los cuales se han remplazado en cualquier proporción agregados naturales por agregados reciclados.

Curado

El curado del concreto es el proceso mediante el cual se controla la pérdida de agua de la masa de concreto por efecto de la temperatura, sol, viento, humedad relativa, para garantizar la completa hidratación de los granos de cemento y por tanto garantizar la resistencia final del concreto. El objeto del curado es mantener tan saturado como sea posible el concreto para permitir la total hidratación del cemento; pues si está no se completa la resistencia final del concretos se disminuirá.

Fraguado

El fraguado es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del hormigón (o mortero de cemento), producido por la desecación y recristalización de los hidróxidos metálicos —procedentes de la reacción química del agua de amasado— con los óxidos metálicos presentes en el Clinker que compone el cemento.

Reutilización

Es una alternativa de tratamiento de los residuos generados en las obras de construcción, la reutilización de los productos obtenidos en nuevas construcciones. Con esta se impide la contaminación debido a que a través de este mecanismo desaparece el residuo, reconvirtiendo las tareas de demolición o desmontado de edificaciones existentes y la recogida de restos en las unidades de obra nuevas, formando parte de un nuevo proceso de producción con los materiales que van a ser reutilizados.

Reciclaje

Proceso mediante el cual se aprovechan y transforman los escombros recuperados y se devuelve a los materiales su potencialidad de reincorporación como materia prima para la fabricación de nuevos productos. El reciclaje puede constar de varias etapas: procesos de tecnologías limpias, reconversión industrial, separación, recolección selectiva acopio, reutilización, transformación y comercialización.

Su diferencia con la reutilización consiste en que los productos originales son alterados en

su forma original y en sus propiedades, por tanto, se trata de reutilizar después de transformar el residuo en otros productos, y debido a la problemática presentada con los rellenos sanitarios o con el vertido directo se hace una gestión pertinente.

Escombro

Es todo residuos sólido sobrante de las actividades de construcción, reparación o demolición, de las obras civiles o de otras actividades conexas, complementarias o análogas susceptible o no de ser aprovechado, incluyendo los generadores por eventos o situaciones de emergencia, calamidad o desastre. Los escombros son de dos tipos de residuos (Salgado Ramírez, (2009).

Residuos de construcción y demolición – RCD-:

Residuos de construcción y demolición que se generan durante el desarrollo de un proyecto constructivo, los cuales se pueden clasificar como se muestra a continuación:

Categoría	Grupo	Clase	Componentes
A. RCD APROVECHABLES	I. Residuos Mezclados	Residuos Pétreos	Concreto, cerámicos, ladrillos, arenas, gravas, baldosin, mortero
	II. Residuos de material fino	Residuos Finos no Expansivos	Arcilla (Caolin), limos y residuos inertes, poco o no plasticos
		Residuos Finos Expansivos	Arcillas (montmorillonitas) y lodos inertes con gran cantidad de finos altamente plasticos
	III. Otros Residuos	Residuos no Pétreos	Plasticos, PVC, maderas, cartones, papel, siliconas, vidrios, cauchos
		Residuos de Carácter Metalico	Acero, hierro, cobre, aluminio, estaño y zinc
		Residuos organicos de pedones	Residuos de tierra negra
		Residuos Organicos de cespedones	Residuos Vegetales y otras especies bióticas
B. RCD NO APROVECHABLES	IV, Residuos peligrosos	Residuos corrosivos, reactivos, radioactivos, explosivos	Desechos de productos químicos, emulsiones, alquitran, pinturas, disolventes organicos, aceites, resinas, etc

Tabla No. 2 Clasificación de los Residuos de Construcción y demolición RCD

Fuente: Adaptada de la Secretaria Distrital de Ambiente, 2015 [9]

2.2. MARCO TEÓRICO

Una edificación diseñada siguiendo los requisitos del reglamento NSR-10(Ver Tabla No. 3), debe ser capaz de resistir además de las fuerzas que imponen su uso, temblores de poca intensidad sin daño, temblores moderados sin daño estructural, pero posiblemente con algún daño en los elementos no estructurales, y un temblor fuerte con daño a los elementos estructurales y no estructurales, pero sin colapso.

Material o elemento estructural	Tema	Referencia
Muros divisorios, acabados y elementos no estructurales	Peso	B.3.4 y B.3.5
	Desempeño sísmico	Capítulo A.9
Concreto estructural	Normas técnicas(Obligatoriedad y enumeración)	C.1.5 y C.3.8
	Ensayo de materiales	C.3.1
	Materiales Cementantes	C.3.2
	Agregados	C.3.3
	Agua	C.3.4
	Acero de refuerzo	C.3.5 y C.21.1.5 y Apéndice C-E
	Aditivos	C.3.6
	Evaluación y aceptación del concreto	C.5.6
Mampostería estructural	Normas técnicas	D.2.3
	Unidades de concreto	D.3.6
	Unidades de arcilla	D.3.6
	Unidades silico-calcareas	D.3.6
	Cemento y cal	D.3.2
	Acero de refuerzo	D.3.3
	Muestreo y ensayos	D.3.7 y D.3.8
Casas de uno y dos pisos	Unidades de mampostería	E.3.2
	Morteros de pega e inyección	E.3.3
	Materiales elementos de confinamiento	E.4.2
	Materiales bahareque encementado	E.7.4
	Materiales de cubierta	E.9.3
Estructuras metálicas	Especificaciones, códigos y estándares de referencia	F.2.1.4
	Acero estructural	F.2.1.5, F.3.5, F.4.1.1, F.4.7.2 y F.4.8.2
	Fundición y piezas forjadas de acero	F.2.1.5.2, F.4.8.3
	Pernos, arandelas y tuercas	F.2.1.5.3
	Pernos de anclaje y barras roscadas	F.2.1.5.4 , F.2.10.3
	Metal de aporte y fundente para soldadura	F.2.1.5.5, F.2.10.2
	Conectores de cortante tipo espigo	F.2.1.5.6
	Concreto-secciones compuestas	F.2.9.1.1, F.3.1.4.5 y F.4.7.5.3
	Incendio- Resistencia de los materiales a altas temperaturas	F.2.18.2.3
	Estructuras existentes – Propiedades del material	F.2.19.2
	Acero del sistema de resistencia sísmica	F.3.1.4
	Consumibles de soldadura	F.2.10.2 y F.3.1.4.4
	Acero en miembros formados en frío	F.4.1.2, F.4.7.2
Aluminio	F.5	
Estructuras de madera	Materiales	G.1.3, Tabla G.1.3-1
	Refuerzos metálicos (Protección anticorrosiva)	Tabla G.6.4.2 y G.7.4
	Guadua requisitos de calidad	G.12.3
	Materiales complementarios y en referencia	G.12.5
Protección contra el fuego	Materiales	J.2.5.2, J.3.4, J.3.5
Requisitos complementarios	Vidrio - Definiciones	K.4.1.2

Tabla No. 3 Requisitos de Control de Materiales

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente – NSR 10 Título I

Son muchos los aspectos que se han de tener en cuenta a la hora de realizar un diseño estructural, en especial aquellas características ambientales que no pueden ser modificadas como lo son la capacidad portante del suelo, la tipificación sísmica del mismo y la fuerza del viento en el área local, estas condiciones son inmodificables a la hora de construir una edificación, por tanto si estas propiedades dificultan la construcción de una estructura que cumpla con las

condiciones de la NSR-10, se deben tener en cuenta los aspectos que si se pueden cambiar.

Las condiciones de diseño que pueden ser modificadas por el diseñador son variables, sin embargo, entre las más utilizadas de encuentran el aumento en la resistencia a la compresión del concreto, el aumento de rigidez de la estructura como conjunto, o la búsqueda de un sistema de cimentación que permita la construcción de la edificación.

Los aspectos más fundamentales a la hora de realizar un diseño sismo resistente son: análisis por la fuerza horizontal equivalente, chequeo de derivas de la edificación y verificación de deflexiones, estos procesos siempre se deben realizar en cualquier diseño sismo resistente en nuestro país.

Los agregados procedentes de los RCD del concreto reciclado tienen unas propiedades diferentes a los agregados naturales, las cuales dependen principalmente de su naturaleza y sus diferencias se han encontrado gracias a distintos estudios realizados a lo largo del mundo y en un largo espacio de tiempo, con diferentes condiciones y materiales provenientes de muchos sitios distintos, las principales propiedades son:

Granulometría

En los agregados de concreto de acuerdo a los ajustes que se realicen en las aperturas de las trituradoras así mismo variara su granulometría, pero en general estas se sitúan dentro de los límites que fijan las diferentes recomendaciones tanto para agregado natural como

para agregado de concreto reciclado.

Forma y textura superficial

Los agregados de concreto reciclado presentan una textura más rugosa y mayor porosidad, son menos redondeados que los agregados naturales como consecuencia del proceso de trituración debido a la presencia del mortero que queda adherido a los agregados del concreto original. No obstante, el coeficiente de forma del agregado de concreto reciclado es similar al que puede presentar el agregado natural.

Densidad y absorción

Debido a la pasta de cemento que queda adherida a los granos, la densidad del agregado de concreto reciclado es inferior a la del agregado natural, y poseen una mayor absorción de agua a la hora de la mezcla para la fabricación del concreto.

En todos estos estudios académicos y de acuerdo a las diferencias o similitudes presentas, se ha llegado a una conclusión, el porcentaje óptimo de remplazo de agregados reciclados por agregados naturales es del 30%, obteniendo así una reducción máxima en la resistencia a la compresión del concreto de un 7%.

2.3. MARCO JURÍDICO

La gestión integral de los residuos de construcción y demolición en Colombia se rige por la normatividad ambiental, administrativa y de jurisprudencia, enunciados a continuación:

Normatividad de Orden Nacional

- Resolución 541 de 1994: “Por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación”.
- Decreto 948 de 1995: “Reglamenta la prevención y control de la contaminación atmosférica y protección de la calidad del aire”.
- Ley 769 de 2002: “Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre”.
- Decreto 1713 de 2002: Artículo 44 “Recolección de escombros. Es responsabilidad de los productores de escombros su recolección, transporte y disposición en las escombreras autorizadas. El Municipio o Distrito y las personas prestadoras del servicio de aseo son responsables de coordinar estas actividades en el marco de los programas establecidos para el desarrollo del respectivo Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS”.
- Decreto 4741 de 2005: “Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral”. • • Decreto 2981 de 2013: “Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo”

- Ley 1259 de 2008: “Por medio de la cual se instaure en el territorio nacional la aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros”.
- Resolución 0472 del 28 de febrero de 2017 reglamenta la gestión integral de los residuos de construcción y demolición o escombros en el país, para disminuir a las afectaciones generadas en el ambiente tales como la contaminación del aire, el agua, el suelo y el paisaje.

Normatividad de orden Distrital

- Decreto 357 de 1997: “Por el cual se regula el manejo, transporte y disposición final de escombros y materiales de construcción”.
- Acuerdo 79 de 2003: Artículo 85 “Por el cual se expide el Código de Policía de Bogotá”.
- Resolución 556 de 2003: “Por la cual se expiden normas para el control de las emisiones en fuentes móviles”.
- Decreto 312 de 2006: “Por el cual se adopta el Plan Maestro para el Manejo Integral de Residuos Sólidos para Bogotá Distrito Capital”.
- Decreto 620 de 2007: “Por medio del cual se complementa el Plan Maestro de Residuos Sólidos (Decreto 312 de 2006), mediante la adopción de las normas urbanísticas y arquitectónicas para la regularización y construcción de las infraestructuras y equipamientos del Sistema General de Residuos Sólidos, en Bogotá Distrito Capital”.

- Decreto 034 de 2009: “Por el cual se establecen condiciones para el tránsito de vehículos de carga en el área urbana del Distrito Capital y se dictan otras disposiciones”.
- Acuerdo 417 de 2009: “Por medio del cual se reglamenta el comparendo ambiental en el Distrito Capital y se dictan otras disposiciones”.
- Acuerdo 515 de 2012: “Por medio del cual se modifica el Acuerdo 417 de 2009, que reglamenta el Comparendo Ambiental en el Distrito Capital”.
- Resolución 01115 de 2012. por medio de la cual se adoptan los lineamientos técnico - ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción y demolición en el distrito capital.
- Resolución 01115 de 2012: “Por la cual se regula técnicamente el tratamiento y/o aprovechamiento de escombros en el Distrito Capital”.
- Resolución 00715 de 2013: “Por medio de la cual se modifica la Resolución 1115 del 26 de septiembre de 2012”.
- Resolución 1138 de 2013: “Por la cual se adopta la Guía de Manejo Ambiental para el Sector de la Construcción y se toman otras determinaciones”.
- Decreto 364 de 2013: “Por el cual se modifican excepcionalmente las normas urbanísticas del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C.”.
- Resolución 00932 de 2015- por la cual se modifica y adiciona la resolución 1115 de 2012.
- Norma Nsr-10. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente.

2.4. MARCO GEOGRÁFICO

Distrito Capital

Teniendo en cuenta el Decreto 523 de 16 de Dic de 2010, “por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C.”, en donde se establece la descripción de las zonas de respuesta sísmica y la Zonificación de la Respuesta sísmica de Bogotá para el Diseño Sismo Resistente de Edificaciones, a continuación se presenta la tabla y mapa establecidos por el decreto. (Ver Tabla No.3 e Ilustración No. 3).

Zona	Espesor del depósito (m)	Periodo fundamental del suelo (s)	Descripción Geotécnica General	Velocidad onda promedio 50 m Vs (m/s)	Humedad Promedio 50 m Hn (%)	Efectos de sitio relacionados
Cerro	-	< 0.3	Rocas sedimentarias y depósitos de ladera con espesores inferiores a 6 m	> 750	< 10	Topográfico
Piedemonte A	< 50	0.3-0.6	Suelo coluvial y aluvial con intercalaciones de arcillas blandas: Bloques, cantos y gravas con matriz arcillo arenosas o arenosa arcillosa, capas de arcillas blandas.	200 - 750	Oct-80	Topográfico, amplificación
Piedemonte B	< 50	0.3-0.6	Suelo coluvial y aluvial con espesor superior a 12 m: Bloques, cantos y gravas con matriz arcillo arenosas o arenosa arcillosa	300 - 750	Oct-30	Topográfico, amplificación
Piedemonte C	< 50	0.3-0.6				
Lacustre-50	< 50	1.0-1.5	Suelo lacustre blando: Arcillas limosas o limos arcillosos, en algunos sectores con intercalaciones de lentes de turba	< 175	> 80	Amplificación
Lacustre-100	50-100	1.5-2.5				Amplificación
Lacustre-200	100-200	2.5-3.5				Amplificación
Lacustre-300	200-300	3.5-4.5				Amplificación
Lacustre-500	300-500	4.5-6.5				Amplificación
Lacustre Aluvial-200	100-200	2.0-3.0	Suelo lacustre con intercalaciones de aluvial: Arcillas limosas o limos arcillosos con de lentes de turba y capas de arenas compactas	< 200	> 60	Amplificación
Lacustre Aluvial-300	200-300	3.0-4.0				Amplificación
Aluvial-50	< 50	0.4-0.8	Suelo aluvial duro: Arcillas limosas o arenas arcillosos o limos arenosos, en algunos sectores se encuentran lentes de arenas limpias	175 - 300	25 - 50	Amplificación, licuación
Aluvial-100	50-100	0.8-1.2				Amplificación, licuación
Aluvial-200	100-200	1.2-2.5				Amplificación, licuación
Aluvial-300	200-300	2.5-4.0				Amplificación, licuación
Depósito Ladera	Jun-25	< 0.3	Depósitos de ladera con espesores superiores a 6 m de composición variable.	Variable según el tipo de depósito	Variable según el tipo de depósito	Topográfico

Tabla No. 4 Descripción Zonas de respuesta Sísmica

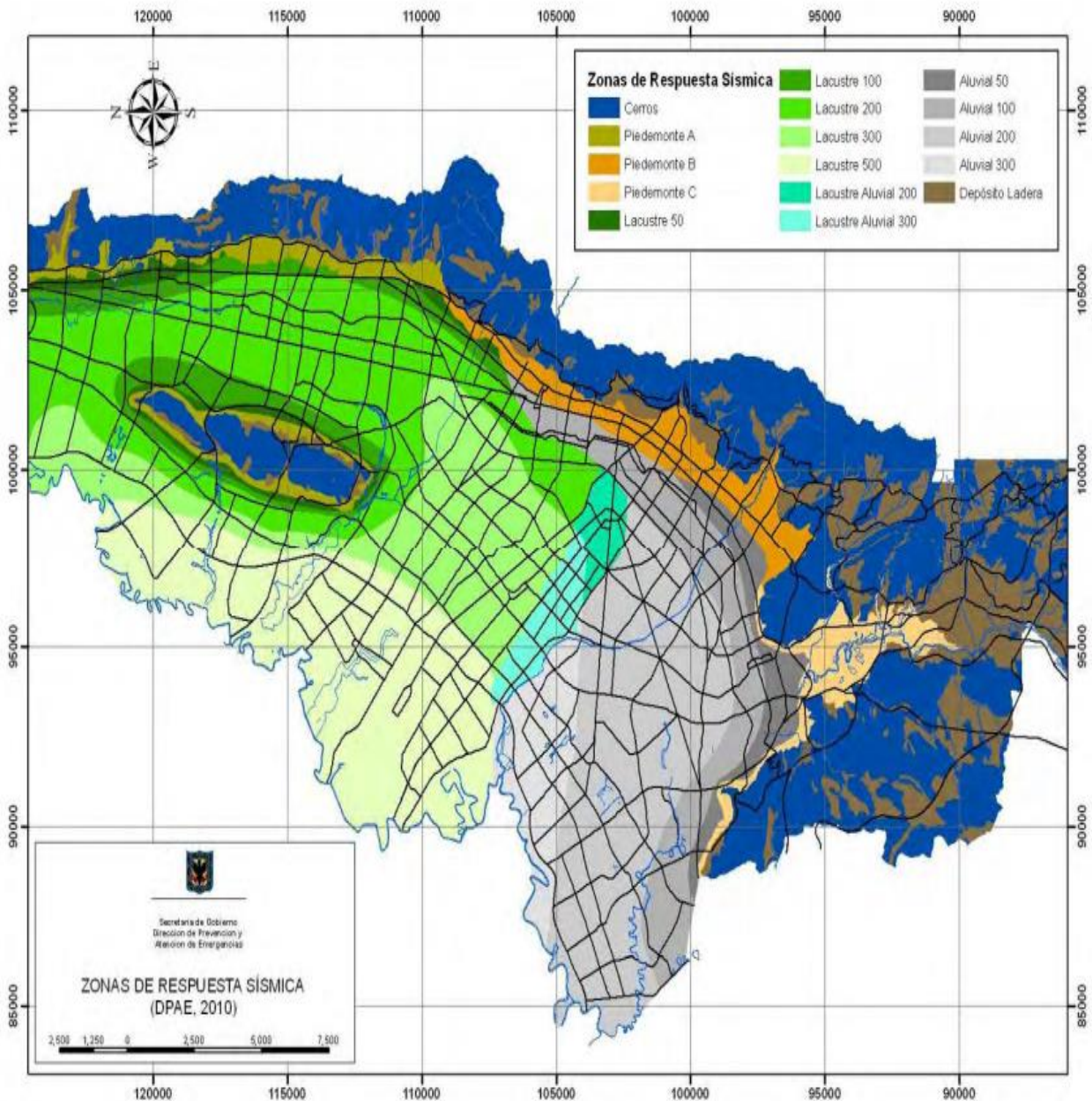


Ilustración No. 3 Zonificación de la Respuesta sísmica de Bogotá para el Diseño Sismo Resistente de Edificaciones

Por lo tanto, el barrio Palermo de la ciudad, está ubicado en zona de microzonificación sísmica lacustre 200.

2.5. MARCO DEMOGRÁFICO

De acuerdo a la naturaleza del proyecto, el cual es académico, este puede permitir a los constructores evidenciar el potencial que tienen los residuos sólidos en el momento en que son transformados en nuevos productos como es el caso del concreto de residuo de construcción y demolición (R.C.I.), permitiendo que el constructor evidencie el potencial que tienen estos residuos en el momento de ser transformados en nuevos productos y subproductos utilizados en el sector de la construcción.

Evidentemente este documento será útil a todo el conjunto de personas que tenga relación con la construcción y realización de obras civiles, debido a que se presenta una pauta en cuanto a la implementación del uso del concreto reciclado como agregado; generados beneficios económicos tanto para constructores como para el comprador final. En un enfoque más amplio este documento busca beneficiar a cada una de las personas que conforman nuestra sociedad por medio de la búsqueda de un beneficio de tipo ambiental y económico.

2.6. ESTADO DE ARTE

Antecedentes nacionales

En Colombia el reciclaje de residuos de construcción y demolición (RCD) no es una práctica muy común en cualquier tipo de obra; esto como consecuencia de algunos factores, entre ellos la falta de reglamentación que procure el uso de RCD en nuevas obras de infraestructura, todo esto cambió en el papel con la expedición de la resolución 2397 del 25 de

abril de 2011 y posteriormente la resolución 1115 del 26 de septiembre de 2012 “Por medio de la cual se adoptan los lineamientos Técnico - Ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción y demolición en el Distrito Capital.”, por medio de la cual se obliga a partir de agosto de 2013 a la reutilización de los RCD en nuevos proyectos en un porcentaje no menor a 5% en volumen o peso de material usado en la obra a construir, y Cada año dicho porcentaje aumentaría en cinco (5) unidades porcentuales hasta alcanzar mínimo un 25%.

Otra de las causas del poco uso de RCD como material reciclado en el país es el poco material investigativo a nivel nacional sobre los efectos de remplazo de RCD en los diferentes materiales de construcción, y es que la investigación en nuestro país en este tema es algo relativamente nuevo, a continuación se mencionan algunas investigaciones realizadas en Colombia acerca del uso de agregados reciclados, cabe resaltar que la gran mayoría de los estudios realizados en este tema tratan el remplazo de agregados grueso natural por agregado grueso reciclado.

En la universidad de La Salle (Palomino & Barreto, 2014) ejecutaron un proyecto de grado que se centró en la “influencia del agregado de concreto reciclado fino en las propiedades mecánicas y de resistencia de un concreto hidráulico de alta resistencia”, en la cual se buscaba estimar el porcentaje adecuado de reemplazo que se puede adicionar en una mezcla de concreto para una relación a/c de 0.4; utilizando el sistema de mezclado TSMA de Vivian Tam. En la cual se concluye que es posible realizar sustituciones de concreto fino reciclado en altos porcentajes para obtener altas resistencias en los concretos hidráulicos, reemplazando incluso el 100% del

agregado fino reciclado, disminuyendo así la cantidad de material natural.

(Arcila & Cruz, 2014), realizaron su trabajo de grado en el “efecto del uso del agregado fino reciclado derivado de la demolición de concreto en las propiedades mecánicas del concreto estructural curado por inmersión “, en la cual también se utilizó la misma metodología de mezclado que en el proyecto anteriormente mencionado, pero esta vez se utilizó una relación a/c de 0,65. La investigación dio como resultado un remplazo óptimo de 30%, hasta el cual la reducción a la compresión es mínima, sin embargo para remplazos de hasta 100%, la disminución de la resistencia a la compresión es cercana a 20%.

(Bojaca & Torres, 2013) En la escuela de ingenieros Julio Garavito hicieron su trabajo de grado centrado en las “*propiedades mecánicas y de durabilidad de concreto con agregado reciclado*”. Usando una metodología en la cual se hace una utilización de agregado reciclado grueso para remplazar la parte gruesa de los agregados, buscando el fomento del uso del agregado reciclado en la ciudad de Bogotá. La dosificación utilizada fue (0%; 20%; 40%) el agregado fino utilizado fue 100% natural. Sus estudios dieron como resultado que el agregado reciclado y el natural tienen un comportamiento similar a los 3 días de curado; sin embargo, el comportamiento del agregado reciclado en la resistencia a la compresión aumentó a partir de los 28 días.

(Rosa Bobadilla, 2011), realizó un detallado estudio del arte del uso de concreto reciclado y las investigaciones realizadas en este tema, llegando a la conclusión de que las propiedades

mecánicas del concreto fabricado dependen de la calidad del concreto viejo triturado.

En la pontificia Universidad Javeriana los estudiantes Vanegas y Robles (2008) realizan un estudio experimental de las *“propiedades mecánicas del concreto reciclado para su uso en edificaciones convencionales”* en donde se encontró que la manejabilidad se ve afectada por el tipo de agregado y sus características, al aumentar el contenido de agregado reciclado se disminuye la trabajabilidad de la mezcla, debido a los resultados que se obtuvieron se determinó que es viable el uso de concreto reciclado como nuevo agregado sin deterioro importante de las propiedades que se encontraron. Recomiendan tener una mayor cantidad de material reciclado debido a que en el momento de la sustitución se tiene un porcentaje de pérdidas alto y se debe mantener la misma proporción por tamiz, esto según la granulometría de Fuller Thompson.

El estudiante de la Universidad Nacional, León (2001) elaboró su proyecto de grado reemplazando solamente agregado reciclado grueso, en sus conclusiones se encuentra complementar con investigaciones sobre reemplazo de agregado fino reciclado.

Antecedentes internacionales

En el ámbito internacional las investigaciones y aplicaciones que se han dado al uso de RCD en nuevas obras son mucho más extensas, profundas y viene de muchos años atrás. A pesar que en los países europeos y otros de primer mundo se obtienen agregados de mejor calidad que los colombianos, las constantes guerras que sufrió Europa en la primera mitad del siglo XX, así como el ánimo de proteger el ambiente y salvaguardar sus recursos naturales, países como Holanda o Japón promueven la reutilización de los RCD, de hecho existen algunas normatividades

técnicas bien elaboradas y en la investigación de Arriaga Tafhurt (2013), se relacionan de la siguiente manera: RILEM, Especificaciones para agregados reciclados y concretos con agregado reciclado:

- . Propuesta norma japonesa para agregados reciclados
- . Especificaciones de los agregados reciclados para concreto en Bélgica
- . Guía australiana para la utilización de agregado reciclado (RCA) en concreto.
- . Norma Alemana DIN 4226-100
- . Norma Ingles BS 8600:02 "Specification for constituent Materials and Concrete"
- . Norma Holandesa NEN 5905:97.

En la investigación de la Universidad politécnica de Cataluña (Gómez, Agulló & Vásquez), se hizo sustitución parcial de agregados naturales por agregados reciclados de concreto en cinco diferentes porcentajes (0%, 15%, 30%, 60% y 100%) con respecto al volumen total de agregado grueso contenido. Este concreto con reciclados fue comparado con un concreto convencional, tomando como parámetros distintas propiedades mecánicas (compresión simple, tensión indirecta, módulo de elasticidad, contracción y fluencia, en su estudio encontraron una tendencia a que el 30% es el porcentaje que marca la diferencia entre el proceder de un concreto reciclado y uno convencional.

En el artículo científico *“Usé of recycled fine aggregate in concretes with durable requirements”* Zega y Di Maio (2011) utilizan diferentes remplazos en agregado reciclado fino encontrando el resultado de la dosificación óptima se encuentra entre el 20% y 30% del agregado fino sustituido, el cual puede llegar a tener un desempeño similar al concreto convencional.

Según Bezerra, Schalch y Duarte La variabilidad observada en la composición de los residuos de construcción y demolición (RCD) es un problema que inhibe el uso de agregados reciclados en la producción de hormigón, estos autores realizaron un programa experimental en el cual:

Se identificaron siete variables independientes: agregados reciclados finos reciclados de cerámica de color rojo (ladrillo cerámico) (FRB), agregados gruesos reciclados de cerámica de color rojo (CBR), los agregados finos reciclados de mortero (FRM), agregados gruesos reciclados de mortero (CRM), agregados finos reciclados de concreto (FCR), agregados gruesos reciclados de concreto (CRC) y la relación agua cemento. Bezerra et al. (2012).

Para las probetas se midió la resistencia a la compresión, se evaluó el módulo de elasticidad y se realizó una correlación entre estas dos propiedades mecánicas.

Los ensayos llevaron a la conclusión de que el remplazo de los agregados reciclado modifica la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad del concreto, en general, el concreto elaborado con agregado reciclado mostró menor resistencia a la compresión, a

excepción del concreto hecho con agregado reciclado fino producto de ladrillo (RFB). Bezerra et al. (2012).

Además, los agregados gruesos tienden a influir más en las propiedades mecánicas que los agregados finos reciclados. El módulo de elasticidad se redujo para todos los tipos de agregado, la diferencia fue superior para agregados reciclados.

Para Evangelista y Brito “los residuos de demolición del concreto han demostrado ser una excelente fuente de agregados para la nueva producción de concreto” Evangelista et al. (2007). Evangelista realizó una investigación para estudiar el efecto del remplazo de agregado fino producto de residuos de construcción y demolición y es que según Evangelista.

Hay muchos estudios que demuestran que el concreto hecho con este tipo de agregados gruesos puede tener propiedades mecánicas similares a las de los concretos convencionales e incluso es posible hoy en día la fabricación de concreto de alta resistencia. Sin embargo, la fracción fina de estos agregados reciclados no ha sido objeto de estudios similares a fondo dado que se cree que su mayor absorción de agua puede poner en peligro los resultados finales. Evangelista et al. (2007) p. 397

En la investigación experimental se utilizaron seis porcentajes de remplazos solo de agregados finos reciclados por agregados finos naturales, los remplazos fueron del 0%, 10%, 20%, 30%, 50% y 100%, y la relación agua/material cementante se mantuvo en un rango de 0,41 a 0,48

para los diferentes diseños de mezcla. El agregado reciclado para este estudio fue fabricado en laboratorio para uso exclusivo de pruebas de laboratorio.

Para el concreto con agregado fino reciclado se realizaron pruebas para medir resistencia a la compresión y módulo de elasticidad mediante cilindros de 15 x 30 cm. Los resultados de la investigación dieron como resultado que “la resistencia a la compresión no parece verse afectada por la tasa de remplazo de agregado fino reciclado, por lo menos hasta un máximo de 30% en la tasa de sustitución” Evangelista et al. (2007) p. 401.

Buena parte de los estudios que se han realizado sobre los efectos del agregado reciclado en las propiedades mecánicas del concreto han concluido en que independientemente del tipo de agregado (grueso o fino) el porcentaje más conveniente de remplazo está próximo al 30% de remplazo. Cabe destacar que la mayoría de los estudios que se hace en la evaluación de concretos con agregados reciclados realizan para agregado reciclado grueso.

Alternativas de gestión para los RCD en secretaria de ambiente de Bogotá D.C.

Los diferentes residuos que se originan en la construcción y demolición de obras pueden ser sometidos a uno o varios de los procedimientos de gestión que se han expuesto anteriormente. Algunos materiales admiten ser aprovechados y para otros solo es recomendable la entrega en un sitio de disposición final. A continuación, se muestra las alternativas de uso (Ver Tabla No.6)

RESIDUOS DE CONSTRUCCION Y DEMOLICION - RCD

RESIDUO	RESIDUO ALTERNATIVA
Concreto	Reutilizar como masa para rellenos
	Reutilizar como suelos en carreteras
	Reciclar como grava suelta
	Reciclar para producción de morteros y cemento
	Reciclar como granulado
Cerámicos	Reciclar como adoquín
	Reciclar como fachada
	Reciclar para acabados
Asfaltos	Reutilizar como masa para rellenos
	Reciclar como asfalto
Metales	Reutilizar para aplicación en otros productos
	Reciclar como aleación
Madera	Reutilizar para casetones, vallados y linderos
	Reciclar para tableros y aglomerados
Vidrio	Reciclar para vidrio
Pétreos	Reutilizar como áridos finos y gruesos
Plásticos	Reciclar como plásticos
Telas, Bloques, entre otros	Reciclar como base para nuevos productos
Residuos de excavación	Reutilizar como relleno y recuperación de taludes
	Reutilizar como estabilización de suelos
Elementos arquitectónicos	Reutilizar como nuevos productos

Tabla No. 5. Gestión Integral de Residuos de Construcción y Demolición RCD

Fuente Secretaría Distrital de Ambiente; Alcaldía mayor de Bogotá D.C.

Las actividades de aprovechamiento pueden ser realizadas in situ por parte de los encargados de la obra o por medio de terceros que realicen la actividad, para esto la SDA cuenta con el Directorio de empresas comercializadoras y gestoras de residuos de construcción y demolición – RCD.

Volúmenes de reutilización exigidos en Colombia

Dada la normatividad vigente en el país, los porcentajes de reutilización requeridos se deben cumplir no en la fecha de inicio de la obra sino en la fecha que termina esta, a continuación se presenta las variaciones establecidas por ley:

. Agosto de 2.012	5%
. Agosto de 2.013	10%
. Agosto de 2.014	15%
. Agosto de 2.015	20%
. Agosto de 2.016	25%

2.7. ANÁLISIS DE TENDENCIA DE USO DE MATERIALES RCD

De acuerdo con las encuestas realizadas a 100 ciudadanos, 6 diseñadores y 6 constructores se tiene:

La mayor parte de la ciudadanía Bogotana no conoce que las nuevas construcciones se deben realizar con un 25% de material de RCD pero están dispuestos a vivir en una construcción de este tipo si dicho material es aplicado a los elementos no estructurales, además consideran que como son materiales reciclables su construcción debe ser de menor valor (Ver Ilustración No. 4).

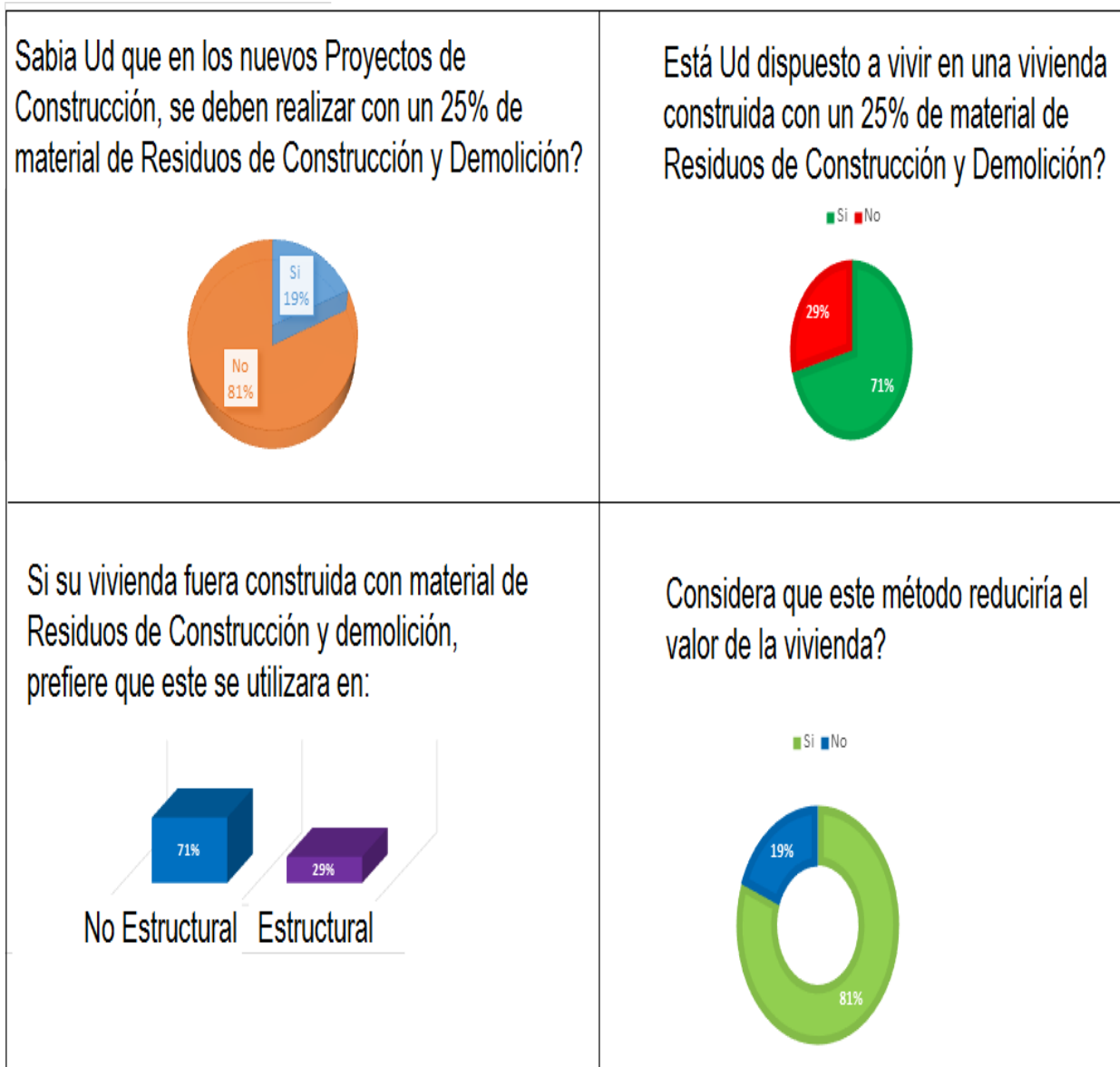


Ilustración No. 4 Resultados encuesta a ciudadanía

La mayor parte de los diseñadores están familiarizados con los materiales RCD, conocen sus beneficios y proponen diseños con estos, pero no conocen los estudios realizados en donde se recomienda este material (Ver Ilustración No.5).

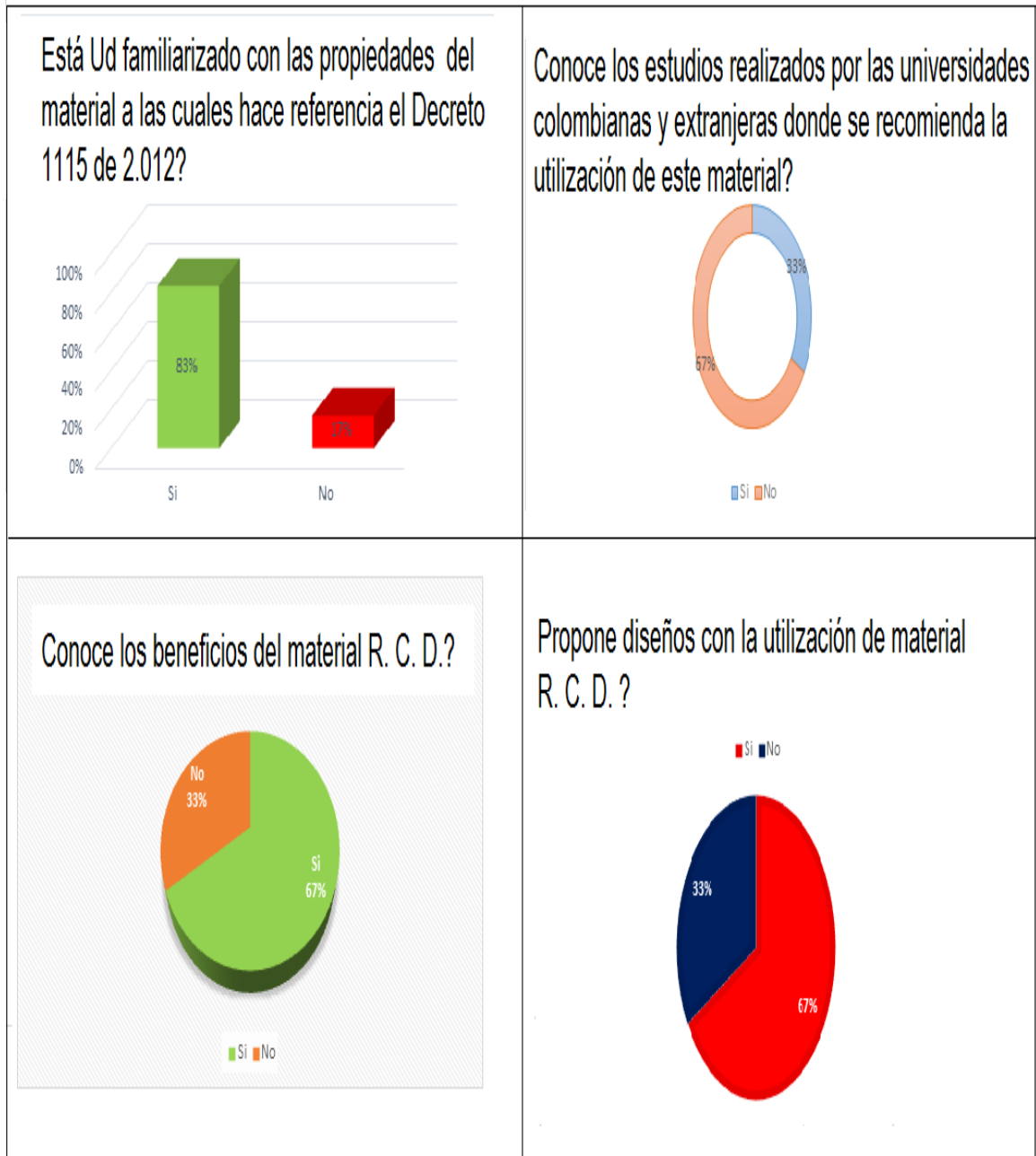


Ilustración No. 5 Resultados encuesta a Diseñadores

La mayor parte de los constructores tiene conocimiento y aplica el Decreto 1115 de 2012 además consideran que su aplicación tiene un impacto económico favorable, pero no conocen los estudios realizados por Universidades Colombianas en donde se recomienda este material (Ver Ilustración No.6).

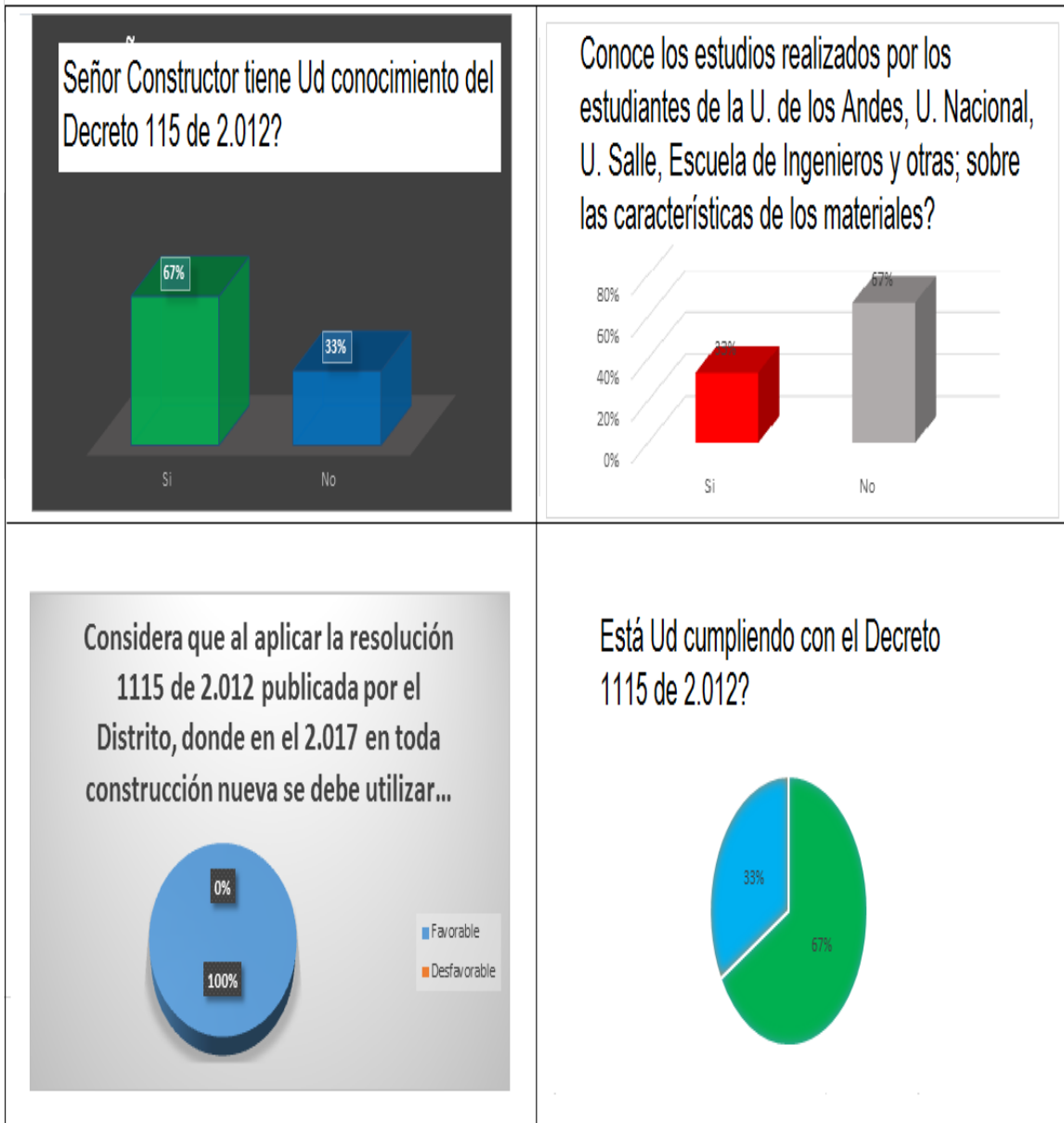


Ilustración No. 6 Resultados encuesta a Constructores

3. METODOLOGÍA

3.1. ESTABLECIMIENTO DE PARÁMETROS DE DISEÑO

Los parámetros de diseño que se establecen son los siguientes:

Estructura aporticada cuadrada de 15 x 15 m de 5 pisos de altura.

Distancia entre ejes de 5 metros.

Columnas de 40x40 cm y vigas de 30x45 cm.

Cimentación superficial (zapatas aisladas).

Concreto de $f'c = 21$ Mpa para losas, vigas de amarre y zapatas.

Concreto estructural convencional con $f'c = 28$ MPa. Para vigas y columnas.

Acero estructural $f_y = 420$ Mpa

Losa nervada en una dirección.

Sin voladizos.

Se presenta un foso para ascensor y una escalera.

Microzonificación Lacustre 200 para la ciudad de Bogotá.

Capacidad portante del suelo 30 Ton/m² a nivel de cimentación de -2.0 metros.

3.2. PARÁMETROS DE MEDICIÓN

El desempeño estructural se realiza midiendo diferentes aspectos del diseño estructural tales como: derivas de la edificación, deflexión de vigas, columna fuerte- viga débil y cantidad de refuerzo necesario para satisfacer las solicitaciones. (Ver tabla No.6)

Las mediciones y resultados de la comparación estructural de las dos estructuras se obtienen mediante la modelación en el software estructural ETABS, además de la utilización de hojas de cálculo en Excel y el software DC-CAD.

El cambio que se presenta para la medición de los diseños se da en la diferenciación de la propiedad más importante que tiene el concreto, la resistencia a la compresión, la disminución del $f'c$ del concreto con RCD es del 5% con respecto al concreto convencional, este valor se obtiene de los resultados obtenidos por los diferentes estudios técnicos antes aquí citados en los cuales se concluyó que para un remplazo del 25% de agregados naturales por RCD la reducción del $f'c$ está entre 4-5%.

Los precios para los materiales convencionales se obtuvieron de la cartilla de construdata.
(Ver tabla No.9)

Los precios de los agregados producto de RCD se obtuvieron del promedio de dos empresas productoras de agregados reciclados. (Ver tablas No.10 y No. 11)

La comparación de costos se realiza con base en dos puntos fundamentales, la diferencia de valor directo entre los RCD y los agregados naturales, y la posible diferencia entre las cuantías de acero que solicite cada uno de los concretos. (Ver tabla No.12)

Para poder calcular estos costos se presenta un diseño de mezcla para un concreto convencional con una resistencia a la compresión de 28 MPa.

4. RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DISEÑO ESTRUCTURAL

Los resultados que se obtuvieron en el análisis estructural se muestran detallados en los anexos A-1 y A-2. A continuación se presenta la Tabla No. 6 en donde se muestra la comparación de derivas.

Variación de derivas				
Piso	Punto	C. Convencional	C. Reciclado	Variación (%)
Cubierta	1	0.26	0.26	0%
Piso 5	1	0.45	0.46	1%
Piso 4	1	0.62	0.63	1%
Piso 3	1	0.71	0.71	0%
Piso 2	1	0.51	0.52	1%
Cubierta	1	0.27	0.27	1%
Piso 5	1	0.47	0.47	1%
Piso 4	1	0.64	0.64	1%
Piso 3	1	0.73	0.73	0%
Piso 2	1	0.52	0.52	0%
Cubierta	4	0.26	0.26	0%
Piso 5	4	0.45	0.46	1%
Piso 4	4	0.62	0.63	1%
Piso 3	4	0.71	0.71	0%
Piso 2	4	0.51	0.52	1%
Cubierta	4	0.27	0.26	1%
Piso 5	4	0.48	0.48	0%
Piso 4	4	0.67	0.67	0%
Piso 3	4	0.77	0.77	0%
Piso 2	4	0.55	0.55	0%
Cubierta	24	0.25	0.25	1%
Piso 5	24	0.44	0.45	1%
Piso 4	24	0.61	0.61	1%
Piso 3	24	0.69	0.70	0%
Piso 2	24	0.50	0.50	1%
Cubierta	24	0.27	0.27	1%
Piso 5	24	0.47	0.47	1%
Piso 4	24	0.64	0.64	1%
Piso 3	24	0.73	0.73	0%
Piso 2	24	0.52	0.52	0%
Cubierta	27	0.25	0.25	1%
Piso 5	27	0.44	0.45	2%
Piso 4	27	0.61	0.61	1%
Piso 3	27	0.69	0.70	0%
Piso 2	27	0.50	0.50	1%
Cubierta	27	0.27	0.27	0%
Piso 5	27	0.48	0.48	0%
Piso 4	27	0.67	0.67	0%

Piso 3	27	0.77	0.77	0%
Piso 2	27	0.55	0.55	0%

Tabla No. 6 Variación de derivas

Fuente propia

4.2. COMPARACIÓN DE CANTIDADES

La comparación de cantidades y costos se hace con el cálculo de cantidades que se muestra en el anexo 1, para las dos estructuras evaluadas y con base en estas cantidades se sacan los costos en concreto y acero de cada estructura. A continuación se muestran dos tablas en las cuales se muestran la cantidades de concreto estructural necesario para la construcción de la cimentación y los pórticos de la estructura. En la tabla No. 7 se muestra las cantidades de concreto y acero de refuerzo para la estructura con concreto convencional, en la tabla No. 8 se muestran las cantidades de los mismos materiales, pero para concreto con remplazo de RCD.

ÍTEM	Área (m ²)	Volúmen de concreto (m ³)		Acero de refuerzo (kg)			Cuantía de Acero		Cuantía de concreto
		f'c=28 Mpa	f'c=21 Mpa	Malla e.s. (Fy 485)	Transversal (Fy 420)	Longitudinal (Fy 420)	kg/m ²	kg/m3	m ³ /m ²
<u>Cimentación</u>									
Placa de contrapiso e=0.10	225.00		22.50	799.20	0.00	0.00	3.55	35.52	0.10
Zapatas			18.37	0.00	0.00	473.14	2.10	25.76	0.08
Vigas de amarre			3.73	0.00	0.00	159.00	279.00	1.95	117.43
SUBTOTAL		0	44.60	799.20	159.00	752.14	7.60	-	0.20
<u>Piso tipo</u>									
Torta superior	800.00		40.00	2390.40	0.00	0.00	2.99	59.76	0.05
Torta inferior			24.00	1593.60	0.00	0.00	1.99	66.40	0.03
Vigas		61.31	0.00	2615.00	7445.00	12.58	164.08	0.08	
SUBTOTAL		61.31	64.00	3984	2615	7445	17.56	---	0.16
<u>Cubierta</u>									
Torta superior	225.00		11.25	672.30	0.00	0.00	2.99	59.76	0.05
Torta inferior			6.75	448.20	0.00	0.00	1.99	66.40	0.03
Vigas		14.90	0.00	637.00	1118.00	7.80	117.79	0.07	
SUBTOTAL		14.9	18.00	1121	637	1118	12.78	---	0.15
<u>Elementos verticales</u>									
Columnas	1250.00	39.07		0	3515	4612	6.50	208.01	0.031
TOTAL CON CIMENTACIÓN	1250.00	115	178	5904	7306.31	14881.8	22	-	0.23
TOTAL SIN CIMENTACIÓN	1025.00	115	133	5105	7147	14130	26	-	0.24

TABLA No. 7. Cantidades de concreto y acero para una estructura convencional

ÍTEM	Área (m ²)	Volumen de concreto (m ³)		Acero de refuerzo (kg)			Cuantía de Acero		Cuantía de concreto
		f'c=28 Mpa	f'c=21 Mpa	Malla e.s. (Fy 485)	Transversal (Fy 420)	Longitudinal (Fy 420)	kg/m ²	kg/m3	m ³ /m ²
<u>Cimentación</u>									
Placa de contrapiso e=0.10	225.00		22.50	799.20	0.00	0.00	3.55	35.52	0.10
Zapatas			18.37	0.00	0.00	473.14	2.10	25.76	0.08
Vigas de amarre			3.73	0.00	159.00	279.00	1.95	117.43	0.02
SUBTOTAL		0	44.60	799.20	159.00	752.14	7.60	-	0.20
<u>Piso tipo</u>									
Torta superior	800.00		40.00	2390.40	0.00	0.00	2.99	59.76	0.05
Torta inferior			24.00	1593.60	0.00	0.00	1.99	66.40	0.03
Vigas			61.31	0.00	2615.00	7445.00	12.58	164.08	0.08
SUBTOTAL		61.31	64.00	3984	2615	7445	17.56	---	0.16
<u>Cubierta</u>									
Torta superior	225.00		11.25	672.30	0.00	0.00	2.99	59.76	0.05
Torta inferior			6.75	448.20	0.00	0.00	1.99	66.40	0.03
Vigas			14.90	0.00	637.00	1118.00	7.80	117.79	0.07
SUBTOTAL		14.9	18.00	1121	637	1118	12.78	---	0.15
<u>Elementos verticales</u>									
Columnas	1250.00	39.07		0	3515	4612	6.50	208.01	0.031
TOTAL CON CIMENTACIÓN	1250.00	115	178	5904	7306.31	14881.8	22	-	0.23
TOTAL SIN CIMENTACIÓN	1025.00	115	133	5105	7147	14130	26	-	0.24

TABLA No. 8. Cantidades de concreto y acero para una estructura con concreto RCD.

4.3. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA CONCRETO DE 28 MPA

Al realizar la comparación de los precios unitarios para cada uno de los concretos estudiados, se encuentra que la única diferencia que se presenta en el precio final de los dos concretos, y esta se da debido a la diferencia del valor económico entre los agregados naturales y los agregados provenientes de RCD. En las tablas No. 9 , No. 10 y No. 11 se muestra un análisis de precios unitarios para la fabricación de un metro cúbico de concreto convencional de 28 MPa con agregado natural y agregado reciclado respectivamente:

I. EQUIPO					
Nombre	Unidad	Cantidad	Valor	Rendimiento	Total
Herramienta Menor	%	1	\$ 121,344.50	5%	6067.225
Mezcladora Motor a gasolina	\$/hora	1	7975	50%	3987.5
Subtotal					\$10,055
II. MATERIALES EN OBRA					
Nombre	Unidad	Cantidad	Valor	Rendimiento	Total
Agua	lts	216	\$ 20.00	-	\$ 4,320.00
Arena	m3	0.84	\$ 80,000.00	-	\$ 67,200.00
Cemento gris	kg	525	\$ 598.00	-	\$ 313,950.00
Triturado	m3	0.42	\$ 100,000.00	-	\$ 42,000.00
Subtotal					\$ 427,470.00
IV. MANO DE OBRA					
Nombre	Unidad	Cantidad	Valor	Rendimiento	Total
Ayudante	\$/día	4	\$ 47,308.00	45%	85154.4
Oficial	\$/día	1	\$ 80,423.00	45%	36190.35
Subtotal					\$121,345
TOTAL					\$558,869

Tabla No. 9. Análisis de precios unitarios para un concreto convencional de 28 MPa.

I. EQUIPO					
Nombre	Unidad	Cantidad	Valor	Rendimiento	Total
Herramienta Menor	%	1	\$ 121,344.50	5%	6067.225
Mezcladora Motor a gasolina	\$/hora	1	7975	50%	3987.5
Subtotal					\$10,055
II. MATERIALES EN OBRA					
Nombre	Unidad	Cantidad	Valor	Rendimiento	Total
Agua	lts	216	\$ 20.00	-	\$ 4,320.00
Arena (RECICLADA)	m3	0.84	\$ 58,000.00	-	\$ 48,720.00
Cemento gris	kg	525	\$ 598.00	-	\$ 313,950.00
Triturado (RECICLADO)	m3	0.42	\$ 58,000.00	-	\$ 24,360.00
Subtotal					\$ 391,350.00
IV. MANO DE OBRA					
Nombre	Unidad	Cantidad	Valor	Rendimiento	Total
Ayudante	\$/día	4	\$ 47,308.00	45%	85154.4
Oficial	\$/día	1	\$ 80,423.00	45%	36190.35
Subtotal					\$121,345
TOTAL					\$522,749

Tabla No. 10 Análisis de precios unitarios para un concreto con 100% de RCD.

I. EQUIPO					
Nombre	Unidad	Cantidad	Valor	Rendimiento	Total
Herramienta Menor	%	1	\$ 121,344.50	5%	6067.225
Mezcladora Motor a gasolina	\$/hora	1	7975	50%	3987.5
Subtotal					\$10,055
II. MATERIALES EN OBRA					
Nombre	Unidad	Cantidad	Valor	Rendimiento	Total
Agua	lts	216	\$ 20.00	-	\$ 4,320.00
Arena	m3	0.84	\$ 74,500.00	-	\$ 62,580.00
Cemento gris	kg	525	\$ 598.00	-	\$ 313,950.00
Triturado	m3	0.42	\$ 89,500.00	-	\$ 37,590.00
Subtotal					\$ 418,440.00
IV. MANO DE OBRA					
Nombre	Unidad	Cantidad	Valor	Rendimiento	Total
Ayudante	\$/día	4	\$ 47,308.00	45%	85154.4
Oficial	\$/día	1	\$ 80,423.00	45%	36190.35
Subtotal					\$121,345
TOTAL					\$549,839

Tabla No. 11. Análisis de precios unitarios para concreto con 25% de remplazo de RCD.

4.4. COMPARACIÓN DE COSTOS.

Al realizar la comparación definitiva de costos entre los dos proyectos que se analizaron, obteniendo un beneficio económico al utilizar RCD en una proporción del 25% en el sistema estructural es equivalente al 0.97%, con la utilización RCD el costo de los agregados estructurales los costos son de \$268.527.707,35 y con el uso de material convencional son de \$271.173.848,36 lo que nos genera una diferencia de \$2.646.141,01. (ver Tabla No. 12)

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	CONCRETO			
			CONVENCIONAL		CON RCD	
			V/ UNITARIO	VALOR TOTAL	V/ UNITARIO	VALOR TOTAL
Concreto	m ³	293	\$ 558,869.00	\$ 163,778,956.21	\$ 549,839.48	\$ 161,132,815.21
Acero estructural	Kg	28091.78	\$ 3,823.00	\$ 107,394,892.14	\$ 3,823.00	\$ 107,394,892.14
TOTAL				\$ 271,173,848.36		\$ 268,527,707.35

Tabla No. 12. Precio total estructura Convencional y estructura con RCD al 25%.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con la utilización RCD el costo de los agregados estructurales es de \$268.527.707,35 y con el uso de material convencional es de \$271.173.848,36 lo que nos genera una diferencia de \$2.646.141,01; se obtiene que el beneficio económico de usar RCD en una proporción del 25% en el sistema estructural es equivalente al 0,97% de ahorro, lo que nos permite concluir que los costos son más o menos equivalentes, Sin embargo el cumplimiento de certificaciones LEED para alcanzar alta calidad en las empresas, han creado una conciencia y necesidad de invertir en este tipo de procesos de aprovechamiento de RCD por su beneficio ambiental.

Los elementos no estructurales, andenes, materas, etc. Al no tener que cumplir unos requerimientos tan exigentes son una opción económicamente más llamativa a la hora de utilizar los RCD, debido a que se pueden utilizar en mayor proporción que en concreto estructural.

Los agregados producto de RCD deben ser sometidos a todas las pruebas técnicas que requiera la NSR-10 antes de ser utilizados, en especial la aplicación de la prueba de cantidad de sulfatos y la prueba de azul de metileno, debido a la cantidad de aditivos que pudiera tener la fuente de estos RCD.

De acuerdo con los resultados de las encuestas realizadas, la mayoría de las personas están interesadas en el uso de RCD , por lo cual se hace necesario ampliar la capacitación sobre manejo, legislación y aplicaciones de este para elementos estructurales, buscando así que el temor a utilizarlos en el sistema estructural se reduzca, lo anterior se puede inferir al observar las derivas en los dos diseño estructurales podemos concluir que no difiere de más del 1% en su situación más crítica por ende “el uso de RCD en concreto estructural no afecta las derivas”. (Ver Tabla No. 6. Variación de derivas)

La administración municipal y nacional han venido aumentando paulatinamente la exigencia de ahorro de los RCD, pero hace falta una normatividad que además de regular incentive al sector de la construcción en cuanto a la gestión o manejo de los RCD, a través de beneficios económicos que hagan que el aprovechamiento de estos sea atractivo además de los beneficios ambientales que genera, más que lograr legalizar sitios para disposición final de los producidos diariamente.

BIBLIOGRAFÍA

[Acuerdo 79 de 2003 del Concejo de Bogotá](#), por el cual se expide el Código de Policía de Bogotá. Artículo 85.

[Acuerdo 417 de 2009](#) del Concejo de Bogotá, por medio del cual se reglamenta el comparendo ambiental en el Distrito Capital y se dictan otras disposiciones.

Arcila & Cruz, “efecto del uso del agregado fino reciclado derivado de la demolición de concreto en las propiedades mecánicas del concreto estructural curado por inmersión”, Trabajo de Grado, Universidad, Bogotá D.C., 2014.

ARRIAGA TAFHURT, Libardo Enrique. “Utilización de agregado grueso de concreto reciclado en elementos estructurales de concreto reforzado”. Tesis de Grado, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito , Bogotá D.C. 2013. Disponible en Internet: <http://catalogo.escuelaing.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=16698>

Bojaca & Torres, “propiedades mecánicas y de durabilidad de concreto con agregado reciclado”, Tesis de Grado, Escuela de ingenieros Julio Garavito, Bogotá D.C., 2013.

Certification LEED – (Leadership in Energy and Environmental Design)

Concejo Colombiano de Construcción Sostenible – CCCS.

[Decreto 586 de 2015](#), por medio del cual se adopta el modelo eficiente y sostenible de gestión de los residuos de construcción y Demolición - RCD en Bogotá D.C.

[Decreto Nacional 948 de 1995](#) que reglamenta en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y protección de la calidad del aire.

[Decreto Distrital 357 de 1997](#) Por el cual se regula el manejo, transporte y disposición final de escombros y materiales de construcción.

[Decreto Distrital 312 de 2006](#) Por el cual se adopta el Plan Maestro para el Manejo Integral de Residuos Sólidos para Bogotá Distrito Capital.

[Decreto 620 de 2007](#), que complementa el 312 de 2006 de residuos sólidos.

Decreto 523 de 16 de Dic de 2010, "por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C'."

Gómez, Agulló & Vásquez, sustitución parcial de agregados naturales por agregados reciclados de concreto en cinco diferentes porcentajes (0%, 15%, 30%, 60% y 100%) con respecto al volumen total de agregado grueso contenido. Investigación de la Universidad politécnica de Cataluña, Barcelona,

Guía para la elaboración del plan de gestión de residuos de construcción y demolición -

RCD en la obra. Alcaldía Mayor Bogotá Humana.

Hernández, R. Fernández, C. y Baptista, L. (2010). Metodología de la Investigación. México: Mc Graw Hill, p. 143

[Ley 1259 de 2008](#), creación y aplicación del comparendo ambiental a nivel nacional.

Normas técnicas colombianas (NTC). Especificaciones técnicas de los componentes, fabricación y manejo del concreto estructural.

NSR-10: Norma de diseño sismo resistente para Colombia, Especificaciones reglamentadas sobre el diseño, evaluación y construcción de edificaciones sismo resistentes.

Palomino & Barreto, “influencia del agregado de concreto reciclado fino en las propiedades mecánicas y de resistencia de un concreto hidráulico de alta resistencia”, Trabajo de Grado, Universidad de La Salle, Bogotá D.C. 2014.

Premio Natura -Naciones Unidas.

[Resolución N° 01115 del 26 de septiembre del 2012](#), por medio de la cual se adoptan los lineamientos técnico- ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción y demolición en el distrito capital

[Resolución 0932 de 2015](#), por la cual se modifica y adiciona la resolución 1115 del 26 de 2012

Resolución número 0472 de 2017, Reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de Construcción y Demolición (RCD) y se dictan otras disposiciones.

[Resolución 541 de 1994 del Ministerio del Medio Ambiente](#) por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos, de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación.

[Resolución 00715 del 30 de mayo de 2013](#), por medio de la cual se modifica la Resolución 1115 del 26 de septiembre de 2012 y se adoptan los lineamientos técnico- ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción y demolición en el distrito capital.

Rosas Chaves Andrés, “Mobiliario urbano prefabricado en concreto con agregado grueso reciclado”, Investigación, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D. C.2014

Salgado Ramírez, C. (19 de Marzo de (2009)). Diagnóstico sobre estado y manejo de escombros en el distrito capital Bogotá; estudio de caso escombrera reserva ecológica privada la

fiscalía. Bogotá, Pontificia Universidad Javeriana, Carrera de Ecología. Tesis pregrado. Bogotá D. C.

Secretaría Distrital de Ambiente. (2012). Resolución 01115 de 2012): por medio de la cual se adoptan los lineamientos técnicos ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción y demolición en el distrito capital. Bogotá D. C.

[Secretaría Distrital de Ambiente](http://ambientebogota.gov.co/web/escombros/documentacion/enlace_web), Escombros, documentación enlace web: <http://ambientebogota.gov.co/web/escombros/transportador#sthash.zLUmFhec.dpuf>

Secretaría Distrital de Ambiente -SDA (2015) Guía para la Elaboración del Plan de Gestión de Residuos de Construcción y demolición – RCD en la Obra. (3 Ed). Bogotá. SDA.

Vanegas y Robles, “propiedades mecánicas del concreto reciclado para su uso en edificaciones convencionales”, estudio experimental, Pontificia Universidad Javeriana , Bogotá D.C., 2008.

Vivian ULOA, Alberto DOMINGO, María J. PELUFO, Pedro SERNA. “Uso de los residuos de construcción y demolición en la fabricación de hormigón”, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2009

© 2013 Project Management Institute. Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK®) — Quinta edición.