

**ALTERNATIVA PARA EL CONTROL, MANEJO Y APROVECHAMIENTO DEL
CONCRETO PROVENIENTE DE DEMOLICIONES EN OBRA**

Autores

CARLOS DAVID ALLADO ARGÜELLO – ID 000417943

CRISTIAN FERNANDO SIERRA JOYA – ID 000402730

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA E INTERVENTORÍA DE OBRAS CIVILES
BUCARAMANGA
2020**

**ALTERNATIVA PARA EL CONTROL, MANEJO Y APROVECHAMIENTO DEL
CONCRETO PROVENIENTE DE DEMOLICIONES EN OBRA**

Autores

CARLOS DAVID ALLADO ARGÜELLO – ID 000417943

CRISTIAN FERNANDO SIERRA JOYA – ID 000402730

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:
ESPECIALISTA EN GERENCIA E INTERVENTORIA DE OBRAS CIVILES

Director del Proyecto

MARGARETH VIECCO MARQUEZ

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA E INTERVENTORÍA DE OBRAS CIVILES
BUCARAMANGA**

2020

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCION.....	10
1.1.	OBJETIVOS	11
1.1.1.	Objetivo general	11
1.1.2.	Objetivos específicos.....	11
1.2.	ALCANCE.....	12
1.3.	MOTIVACION.....	12
2.	METODOLOGIA.....	13
2.1.	DEFINICIONES	13
2.2.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.3.	EXPERIENCIAS PREVIAS:	14
2.4.	PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN EN BUCARAMANGA:.....	14
2.5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:	14
3.	DEFINICIONES	15
4.	ANTECEDENTES TEORICOS.....	17
4.1.	PROBLEMÁTICA DE LOS RCD.	17
4.2.	GESTIÓN DE LOS RCD EN EL ÁMBITO INTERNACIONAL.....	17
4.3.	GESTIÓN DE LOS RCD EN EL ÁMBITO NACIONAL.....	22
4.4.	GESTIÓN DE LOS RCD EN EL ÁMBITO LOCAL.	27
5.	PLANTAS DE TRATAMIENTO RCD.....	29
5.1.	TIPOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO RCD.....	29
5.1.1.	Plantas fijas	29
5.1.2.	Plantas móviles o semimóviles.....	30
5.2.	NIVELES TECNOLOGICOS PLANTAS RCD	30
6.	EXPERIENCIAS PREVIAS	33
6.1.	PLANTA: CONCRETOS RECICLADOS S.A. (CIUDAD DE MEXICO, MEXICO)	33
6.1.1.	Procesos en planta.....	34
6.1.2.	Material producido	37
6.1.3.	Participación en proyectos	38
6.1.4.	Resultados obtenidos	40

6.2.	PLANTA: RECICLADOS INDUSTRIALES DE COLOMBIA S.A.S. (BOGOTA D.C., COLOMBIA).....	41
6.2.1.	Procesos en planta.....	42
6.2.2.	Material producido.....	43
6.2.3.	Participación en proyectos	44
6.2.4.	Resultados obtenidos	45
6.3.	PLANTA: RECICLADOS LA TINCHERA S.L. (GRANADA; ESPAÑA)	49
6.3.1.	Procesos en planta.....	51
6.3.2.	Material producido.....	52
6.3.3.	Participación en proyectos	53
6.3.4.	Resultados obtenidos	56
7.	PROPUESTA A IMPLEMENTAR EN EL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA	60
7.1.	LOCALIZACION	60
7.2.	CONSTRUCCION Y RCD EN EL AREA METROPOLITANA	61
7.3.	PROPUESTA TECNICA PLANTA RCD	64
7.3.1.	Tipología de la planta	64
7.3.2.	Ubicación.....	65
7.3.3.	Características del predio.....	66
7.3.4.	Procesos en planta.....	66
7.3.5.	Material para producir.....	69
7.3.6.	Maquinaria y equipo requerido	69
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 - Resumen de Concreto Reciclado - 1. Millones de toneladas de concreto reciclado, 2. Territorio de país en km ² , 3. Habitantes en millones, 4. Relación de concreto reciclado en millones de toneladas por cápita, 5. Relación de toneladas de concreto reciclado producidas por km ²	19
Tabla 2 - Clasificación de RCD	26
Tabla 3 - NTC para RCD	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estimación de la caracterización de los RCD, Datos estimados; Fuente: CMIC, 2013	21
Figura 2 - Proyección de Producción de RDC en Bogotá; Fuente: Adapta de la UAESP, 2015	23
Figura 3 - Proyección de RCD por Sector; Fuente: Adapta de la UAESP, 2015 ...	24
Figura 4 - Proyección de RCD por Sector; Fuente: Lineamientos ambientales para los Centros de Tratamiento y Aprovechamiento de RCD	24
Figura 5 - Planta RCD CONCRETO RECICLADO, México D.F.; Fuente: Facebook CONCRETOS RECICLADOS S.A.	33
Figura 6 - Línea 12 (dorada) del metro, CDMX; Fuente: Facebook CONCRETOS RECICLADOS S.A.	38
Figura 7 - Parque Bicentenario, CDMX; Fuente: portal web parque Bicentenario.	39
Figura 8 - 2do piso de la pista metropolitana del sur, CDMX; Fuente: Facebook CONCRETOS RECICLADOS S.A.	39
Figura 9 - Planta RCD RECICLADOS INDUSTRIALES DE COLOMBIA S.A.S., Bogotá D.C.; Fuente: Facebook RI S.A.S.	41
Figura 10 - Planta prefabricados RECICLADOS INDISTRIALES S.A.S.; fuente: Facebook RI S.A.S.	47
Figura 11 - Ensayo de compresión bloque prefabricado producido en RECICLADOS INDUSTRIALES S.A.S.; fuente: Facebook RI S.A.S.	47
Figura 12 - limpieza de material; fuente: Facebook RI S.A.S.	48
Figura 13 - Planta RCD RECICLADOS LA TRINCHERA S.L.; fuente: Facebook Reciclados la trinchera	49
Figura 14 - Participación en proyectos Reciclados la Trinchera; fuente: Facebook Reciclados la trinchera	54
Figura 15 - Participación en proyectos Reciclados la Trinchera; fuente: Facebook Reciclados la trinchera	55
Figura 16 - Laboratorio Planta RCD RECICLADOS LA TRINCHERA S.L.; fuente: Facebook Reciclados la trinchera	57

Figura 17 - Laboratorio Planta RCD RECICLADOS LA TRINCHERA S.L.; fuente: Facebook Reciclados la trinchera	58
Figura 18 - Trituración, Planta RCD RECICLADOS LA TRINCHERA S.L.; fuente: Facebook Reciclados la trinchera	58
Figura 19 - Bucaramanga (Neomundo, centro de convenciones); Fuente: Autores del articulo	60
Figura 20 - Mapa área metropolitana de Bucaramanga; Fuente: Wikipedia	65
Figura 21 - Diagrama de procesos plantas RCD Área metropolitana de Bucaramanga (fija, nivel tecnológico 3)	68
Figura 22 - trituradora McCloskey 144; Fuente: interempresas.net	70
Figura 23 - trituradora de cono VIPEAK WKS-75-D; Fuente: vipeakgroup.com	71
Figura 24 - Retrocargador Caterpillar 420D; Fuente: zonapesada.com	72

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: ALTERNATIVA PARA EL CONTROL, MANEJO Y APROVECHAMIENTO DEL CONCRETO PROVENIENTE DE DEMOLICIONES EN OBRA

AUTOR(ES): CARLOS DAVID ALLADO ARGÜELLO
CRISTIAN FERNANDO SIERRA JOYA

PROGRAMA: Esp. en Gerencia e Interventoría de Obras Civiles

DIRECTOR(A): MARGARETH VIECCO MARQUEZ

RESUMEN

El presente documento tiene como fin, la presentación de una propuesta técnica para el control, manejo y aprovechamiento del concreto proveniente de demoliciones, en el área metropolitana de Bucaramanga. Para lo anterior, se inició realizando una revisión bibliográfica de la actual problemática de los residuos de concreto provenientes de la construcción o demoliciones en el ámbito nacional e internacional, los tipos de planta de tratamiento RCD existentes, cuyo fin es la transformación del residuos en un material reutilizable y eficiente, los diferentes niveles tecnológicos con los que operan, y las experiencias de plantas de tratamiento en actual operación en México, España y Colombia; analizando su problemática local, los procesos llevados a cabo en planta, el material producido, la participación en proyectos de ingeniería, y los resultados obtenidos durante el periodo de operación de estos centros de reciclaje y transformación. De lo anterior, y como alternativa para el control, manejo y aprovechamiento de los residuos de concreto proveniente de la construcción y demolición, en el área metropolitana de Bucaramanga, se realiza una propuesta técnica basada en la cantidad de escombros o residuos de concreto producidos diariamente en los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta; formulando un diagrama de procesos en planta para la recepción, limpieza, almacenamiento, trituración, tamizaje y despacho, además, el tipo de material a producir según los requerimientos del sector de la construcción en el área metropolitana de Bucaramanga y municipios cercanos. A lo largo del documento, se reitera la importancia socioambiental de la implementación en el área metropolitana de Bucaramanga, de una planta de tratamiento de residuos de concreto, permitiendo la transformación de estos en agregados gruesos y finos, reutilizables, y convirtiendo a las actuales escombreras en gestores de residuos, permitiéndoles hacer parte del proceso y haciendo que el ciclo de reciclaje del concreto se complete.

PALABRAS CLAVE:

RCD, Propuesta, Alternativa, Problemática, Agregados, Proceso, Planta, Gestor

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: ALTERNATIVE FOR THE CONTROL, HANDLING AND USE OF THE CONCRETE FROM DEMOLITION ON SITE

AUTHOR(S): CARLOS DAVID ALLADO ARGÜELLO
CRISTIAN FERNANDO SIERRA JOYA

FACULTY: Esp. en Gerencia e Interventoría de Obras Civiles

DIRECTOR: MARGARETH VIECCO MARQUEZ

ABSTRACT

The purpose of this document is to present a technical proposal for the control, management and use of concrete from demolitions in the metropolitan area of Bucaramanga. For the above, a bibliographic review of the current problem of concrete waste from construction or demolition at the national and international level, the types of existing C&DW treatment plant, whose purpose is the transformation of waste into a reusable and efficient material, the different technological levels with which they operate, and the experiences of treatment plants currently in operation in Mexico, Spain and Colombia; analyzing their local problems, the processes carried out in the plant, the material produced, the participation in engineering projects, and the results obtained during the operating period of these recycling and transformation centers. From the above, and as an alternative for the control, management and use of concrete waste from construction and demolition, in the metropolitan area of Bucaramanga, a technical proposal is made based on the amount of rubble or concrete waste produced daily. in the municipalities of Bucaramanga, Floridablanca, Girón and Piedecuesta; formulating a diagram of processes in the plant for reception, cleaning, storage, crushing, screening and dispatch, in addition, the type of material to be produced according to the requirements of the construction sector in the metropolitan area of Bucaramanga and nearby municipalities. Throughout the document, the socio-environmental importance of the implementation in the metropolitan area of Bucaramanga of a concrete waste treatment plant is reiterated, allowing the transformation of these into coarse and fine aggregates, reusable, and converting the current dumps in waste managers, allowing them to be part of the process and making the concrete recycling cycle complete.

KEYWORDS:

C&DW, Proposal, Alternative, Problematic, Aggregates, Process, Plant, Manager

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCION

La industria de la construcción es una de las más importantes y con mayor crecimiento de la económica colombiana, es dinámica y con capacidad de adaptación ante los nuevos retos y requerimientos que el ámbito socioambiental demanda en la actualidad. A su vez, este sector genera grandes cantidades o volúmenes de residuos sólidos, provenientes de cada una de las etapas de la construcción, o de las intervenciones realizadas a proyectos civiles ya ejecutados, como lo son, las reformas o demoliciones.

Aunque dichos residuos son de naturaleza inerte, son un material contaminante, que, si no es tratado adecuadamente, pueden llegar a generar peligrosidad o afectaciones a corto y largo plazo, como lo son las enfermedades en vías respiratorias, fauna nociva, contaminación visual y obstrucción en las vialidades (Concretos Reciclados S.A., 2019). En la actualidad, y como solución a esta problemática, se buscan constantemente nuevas alternativas que generen disminución y/o aprovechamiento de estos residuos, mediante la transformación y el reintegro de estos materiales, dentro de los procesos de construcción o de fabricación de elementos prefabricados a partir de los mismos, mediante la utilización de nuevas tecnologías, mediante procesos más inteligentes y sostenibles. “Es evidente que el modelo lineal de crecimiento económico en el que confiábamos en el pasado, no se ajusta ni es compatible con las necesidades actuales”, según (RETEMA, 2015).

El planteamiento de estrategias para el correcto manejo, control y aprovechamiento de los residuos proveniente de la construcción y demolición, reguladas por los entes ambientales locales, en diferentes lugares del mundo, como: México (CONCRETOS RECICLADOS S.A.), Colombia (RECICLADOS INDUSTRIALES S.A.S.) y España (RECICLADOS LA TRINCHERA (S.L.); con plantas fijas de nivel tecnológico 3, se da bajo la necesidad socio ambiental, provenientes del mal manejo, o falta de este, de los escombros por demoliciones que producen estas Ciudades.

Apoyados en las estrategias y experiencias exitosas, nacionales e internacionales, mencionadas y detalladas en el presente documento, es fundamental la elaboración de un plan para el manejo, control y aprovechamiento de los residuos provenientes de la construcción y demolición (RCD), que permita optimizar la gestión ambiental, y sensibilizar a la población involucrada, mediante una propuesta técnica para la implementación de una Planta de tratamiento RCD, en el área metropolitana de Bucaramanga, garantizando mediante procesos eficientes, que los residuos de concreto sean tratados de manera responsable y transformados en agregados gruesos y finos, para su reutilización en obras nuevas u otro tipo de proyectos civiles, que generen beneficio socioambiental a los municipios involucrados.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

Presentar una propuesta técnica de alternativa para el control, manejo y aprovechamiento del concreto proveniente de demoliciones o de reciclaje.

1.1.2. Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica y del estado del arte, resumiendo las principales estrategias implementadas en el mundo, respecto al manejo y aprovechamiento del concreto proveniente de demoliciones de obras civiles.
- Definir criterios de selección, manejo, procesamiento, control y almacenamiento del concreto proveniente de las demoliciones, para reciclaje, bajo parámetros de eficiencia y seguridad.
- Formular una alternativa para la reutilización y aprovechamiento del concreto proveniente de demoliciones, ajustado a las condiciones medioambientales del área metropolitana de Bucaramanga, que permitan generar conductas constructivas de bajo impacto ambiental.

1.2. ALCANCE

Este trabajo incluye la formulación de una propuesta, para la implementación de una planta de tratamiento de concreto reciclado, o proveniente de demoliciones de obras civiles, en el municipio de Bucaramanga y su área metropolitana; fundamentada en la bibliografía e información recopilada, y en las experiencias exitosas previas de otros países e investigadores; considerando algunas condiciones medioambientales del lugar de implementación.

El objetivo de la planta es la obtención de agregados finos y gruesos, reutilizables, a partir de productos y residuos de concreto, lo cual disminuye la utilización de materiales de primera mano, reduciendo el volumen de material obtenido en minas y canteras, aminora la contaminación de recursos hídricos, aire y visual e incentiva el desarrollo urbano sostenible.

1.3. MOTIVACION

En la actualidad, el concreto proveniente de demoliciones o residuos de concreto, representan un grave problema, no solo de carácter económico sino también ambiental, en las ciudades en donde dicha materia prima posee una alta demanda de producción para nuevos proyectos de construcción y no se poseen sitios de acopio para los escombros o material reciclado. De este modo surge el reciclaje del concreto como una alternativa para solucionar el problema. Por otra parte, la reutilización del concreto es un negocio viable en muchas partes del mundo, por lo tanto, es necesario explorar esa posibilidad en el mercado local (Bucaramanga), evaluando las experiencias de otros países e investigadores.

2. METODOLOGIA

Con el fin de dar cumplimiento a los objetivos fijados para la investigación, se establecen las siguientes etapas de investigación, revisión y análisis dentro de la monografía.

2.1. DEFINICIONES

Tiene como objetivo definir los principales conceptos que se nombraran constantemente a lo largo del documento y dentro de los cuales se enmarca este trabajo. Se enfatiza en los diferentes tipos de concreto, empleados en los diversos tipos de proyectos u obras civiles, su composición, dosificaciones, control, manejo y usos; teniendo en cuenta los requerimientos y parámetros establecidos dentro de la normatividad vigente.

2.2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se realizó una revisión del estado del arte y la práctica, variada y extensa, con el fin de clarificar sobre las características de los diversos tipos de concreto utilizado como material reciclado, los efectos contaminantes que produce y el daño causado al medio ambiente, los procedimientos para su manejo y control, y los métodos implementados para la reutilización y aprovechamiento del mismo; teniendo siempre como una constante la viabilidad de implementar el más favorable en la ciudad de Bucaramanga - Santander.

Se utilizaron, especialmente, documentos y publicaciones sobre investigaciones llevadas a cabo en varias partes del mundo, las cuales se hallan en bibliotecas, centros de documentación de varias universidades y son de acceso libre vía internet. Adicional a lo anterior, también se revisaron varias tesis sobre el reciclaje de desechos de construcción y demolición, desarrolladas en universidades latinoamericanas.

2.3. EXPERIENCIAS PREVIAS

En base a la investigación bibliográfica recopilada y a las experiencias prácticas implementadas en Europa y Latinoamérica, referente al concreto reciclado, se realizará una contextualización de los tipos de plantas RCD que se dan actualmente a nivel mundial, los métodos usados para el reciclaje de concreto de las plantas bajo análisis, sus diferentes etapas y los resultados obtenidos por estas hoy en día.

2.4. PROPUESTA A IMPLEMENTAR EN EL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA

Teniendo en cuenta el capítulo denominado experiencias previas, se evaluaron los resultados obtenidos de los diferentes métodos empleados en Latinoamérica, para el control y manejo del concreto reciclado o proveniente de demoliciones. Se escogerá el sistema más idóneo a implementarse en la ciudad de Bucaramanga – Santander, y se realizó una propuesta para la implementación del método escogido.

2.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se presentaron las conclusiones y recomendaciones sobre los descubrimientos encontrados durante el desarrollo de la investigación, los cuales, se establecieron como base para continuar estudiando y ampliando el conocimiento en este campo del concreto en particular.

3. DEFINICIONES

Para fines del presente documento, se establecen y definen los principales conceptos citados constantemente, a lo largo del documento, y dentro de los cuales se enmarca este trabajo.

CONCRETO

El concreto es una mezcla heterogénea, constituida por una pasta ligante formada por cemento y agua, destinada a dar cohesión a un conjunto de materiales granulares (de relleno) llamados agregados y algunas veces con la inclusión de adiciones y aditivos, según las necesidades específicas. Una vez fraguado y endurecido, éste forma una piedra artificial que tiene la propiedad de resistir esfuerzos mecánicos. Suele utilizarse en obras de construcción como edificaciones, puentes, túneles, vías, etc., según (Romero Mendoza, 2004)

AGREGADO GRUESO Y FINO

Al mezclar cemento, agua y agregados (grueso y fino), se forma una masa densa y compacta llamada concreto. Los agregados representan el 70% del peso total del concreto, de tal manera que es responsable de la mayoría de las propiedades de este (dureza, resistencia, densidad y apariencia). El agregado fino (arena) posee partículas redondas y textura suave, y requiere menos agua para mezclar. El agregado grueso (triturado) muestra una alta resistencia a la compresión, según (Romero Mendoza, 2004).

AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO (ACR)

Material de origen pétreo, producido mediante procesos de reutilización de residuos provenientes de demoliciones en la construcción. El material es sometido a procesos de: selección, limpieza, trituración, clasificación y acopio. En la actualidad, los agregados reciclados son usados para la construcción de productos

prefabricados (bordillos, ladrillos, tubería, etc.), viviendas de interés social y en proyectos viales (capa de rodadura de bajo tránsito y subbase granular).

RECICLAJE

Proceso cuyo objetivo es la transformación de residuos o productos ya utilizados en materias primas nuevas y útiles, mediante un proceso cíclico o cadena de reciclaje. La principal característica del reciclaje es: la prevención del desuso de material primas con alto potencial de reutilización; Evitando así la utilización de materias primas nuevas, y generando reducciones en el uso de energía, la contaminación del aire y el agua y bajas en la emisión de gases de efecto invernadero.

RESIDUO DE CONSTRUCCION Y DEMOLICION (RCD)

“Corresponde a todo residuo sólido resultante de las actividades de construcción, reparación o demolición, de las obras civiles o de otras actividades conexas, complementarias o análogas, anteriormente conocidos como escombros” (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2015). Teniendo en cuenta lo anterior, se establece que los materiales pétreos, como el concreto, son susceptibles de aprovechamiento y reutilización en proyectos de naturaleza similar.

CENTROS DE TRATAMIENTO Y/O APROVECHAMIENTO (CTA)

“Sitios en donde se realizan actividades de separación, clasificación, tratamiento y almacenamiento temporal de los RCD implementando las medidas ambientales que manejen los impactos generados, para la producción de materiales de construcción” (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2015).

4. ANTECEDENTES TEORICOS

4.1. PROBLEMÁTICA DE LOS RCD

El ser humano siempre ha tenido la necesidad de convivir en sociedad y esta acción ha llevado a que se desarrollen actividades de construcción y edificación con el objetivo de mejorar la sostenibilidad social, el bienestar económico y ambiental de las regiones. En los últimos años la contaminación generada por los residuos de construcción y demolición conocidos como “RCD” de las obras civiles ha aumentado por la irregularidad, manejo y disposición final generando una inadecuada gestión y disposición, dado que no se realiza una clasificación adecuada de los materiales en la fuente para un mayor aprovechamiento en el reciclaje, la reutilización y/o transformación.

En los últimos años el sector construcción se ha caracterizado por el desarrollo de las comunidades en donde se están realizando diversos planes en mejora de las obras civiles a nivel internacional, nacional y local con el fin de mitigar un problema social y ambiental como es la generación de residuos de construcción y demolición conocidos como (RCD), lo cual gran porcentaje de dichos residuos son provenientes de sus proceso, manejo, disposición y transporte de los materiales. “Una gran parte de los residuos de reciclaje tiene una disposición inadecuada donde los eliminan en la red de espacios y corredores viales, en los cuerpos de agua, en los rellenos sanitarios, en las zonas verdes o en las escombreras.” (Pacheco, Fuentes, Sanchez, & Rondón, 2017).

4.2. GESTIÓN DE LOS RCD EN EL ÁMBITO INTERNACIONAL

Las previsiones detallan un crecimiento sostenible en el sector de la construcción desde inicio del 2017, donde países como Estados Unidos, India y China generan más de “4,5 trillones de dólares al crecimiento global de la construcción e ingeniería en el que representa un 57% del crecimiento mundial en el sector”. (Fernandez, 2017)

Los estudios proyectados para el 2025, los países en transición asumirán el 60% del gasto global del sector, además se planifica un crecimiento positivo con una estimación superior al Billón de dólares generado por las inversiones de países como Indonesia, Myanmar y Vietnam pertenecientes a la ASEAN en materia de ingeniería civil.

La construcción, ampliación, remodelación, restauración rehabilitación o la demolición de una obra civil tiene un alto impacto sobre el ambiente, afectando la calidad de los recursos naturales renovables y no renovables los cuales pueden demandar un alto consumo de energía antes, durante y después de las etapas mencionada con anterioridad “El sector de la construcción es responsable del 40% de la energía consumida, del 50% de los recursos naturales empleados y del 50% de los residuos generados a nivel mundial” (Arenas Ceballo, 2007). Debido a estos altos porcentajes, países como Alemania, España y Bélgica están implementado modelos óptimos en las materias primas y a su vez en el agotamiento de la vida útil en las diferentes áreas de la construcción disminuyendo de forma considerable los residuos generados.

En relación a la tipología de obra en Alemania, cabe señalar que el 69% del total de las obras se presentó en obras privadas, con un 18% en obras públicas y un 13% en obras mixtas para el 2016 “En el mundo, cada año se producen más de 6,5 mil millones de toneladas de RCD, de las cuales entre 2,6 y 3 mil millones de toneladas corresponden a residuos inertes de la construcción y de la demolición” según (Pogotech., 2017). Dichos residuos resultan de las actividades de acuerdo con su procedencia de demolición, modificación y transporte de materiales hacia las obras civiles, en una **economía circular** se busca un mayor aprovechamiento de recursos en donde Reducir, Reutilizar, Reparar, y Reciclar es la principal estructura ofreciendo múltiples soluciones viables a largo plazo, estos residuos se caracterizan por tener un alto nivel de aprovechamiento uno de los ejemplos es el ACR conocido como Agregado de Concreto Reciclado en donde es utilizado en las superestructuras viales en las capas de subbase y base con uso específico.

Otro de los ejemplos es el concreto reciclado en donde se presenta una variación en el agregado grueso como son las gravas por material RCD, el cual presenta características físicas y mecánicas muy similares al concreto tradicional usualmente se está implementando senderos peatonales, puentes, en ciclo rutas, vías vehiculares entre otros mencionados en el capítulo de experiencias previas.

Los estudios realizados por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Facultad de Arquitectura en México en el 2015 estimaron que la producción de residuos solidos de la construcción ascienden aproximadamente a 900 millones de toneladas /año como se ve en la tabla 1.

Tabla 1 - Resumen de Concreto Reciclado - 1. Millones de toneladas de concreto reciclado, 2. Territorio de país en km², 3. Habitantes en millones, 4. Relación de concreto reciclado en millones de toneladas por cápita, 5. Relación de toneladas de concreto reciclado producidas por km².

País	1	2	3	4	5
Alemania	120.00	357,121	80	1.5	336.02
Argentina	5.50	2 780 400	43	0.13	1.99
Australia	550.00	7,692,024	21.5	25.58	71.50
Austria	22.00	83,371	8.3	2.65	266.88
Bélgica	14.00	30,510	10.4	1.36	458.87
Brasil	50.00	8,500,000	200	0.25	5.88
China	200.00	9,600,000	1,300	0.15	20.83
Colombia	13.00	1,141,748	47.4	0.27	11.38
Costa Rica	0.50	51,100	5	0.10	9.78
Dinamarca	5.00	43,098	5.6	0.89	116.01
Estados Unidos	335.00	9,826,675	316	1.06	34.09
España	39.00	504,645	47.1	0.83	77.28
Finlandia	1.60	337,030	5.4	0.3	4.74
Francia	25.00	675,417	66	0.38	37.01
Holanda	26.00	41,526	16.8	1.55	626.11
Irlanda	17.00	84,421	6.2	2.74	201.37
Israel	7.50	22 145	8.6	0.87	3.39
Italia	40.00	301,338	59.4	0.67	132.74
Japón	77.00	377,835	126.7	0.61	203.79
Luxemburgo	2.70	2,586	0.54	5	1044.08
México	30.00	1,964,375	119	0.25	15.27
Portugal	4.00	92,391	10.6	0.38	43.29
Reino Unido	70.00	243,610	63.2	1.11	287.34
República Checa	9.00	78,866	10.5	0.86	114.12
Suiza	7.00	41,290	7.9	0.89	169.53
Suecia	1.20	449,964	9.6	0.13	2.67
Taiwán	67.00	35,980	23.1	2.9	1862.15
Tailandia	10.00	513,115	65.5	0.15	19.49
Mundial	900.00	150,386,640	7000	0.13	5.98

Fuente: Concreto reciclado vol.5, n.3, pp.235-248.

Se observa que respecto a la cantidad de reciclo per cápita que Colombia genera tan solo 13 millones de toneladas de concreto reciclado al año como se evidencia en la tabla 1, el cual es un valor inferior a países como Reino Unido con 70 millones de toneladas de concreto reciclado, México con 30 millones de toneladas de concreto reciclado y Australia con 550 millones de toneladas de concreto reciclado.

“Australia con la mayor cantidad, 25.78 Ton/habitante. Respecto a la cantidad de concreto reciclado en función al territorio del País (0,25 Ton/habitante) en cuestión, de forma teórica, a mayor territorio correspondería mayor construcción de obra civil y por tanto mayores residuos, sin embargo, se distingue Taiwán, con 1862.15 Toneladas por km² de territorio, siendo el mayor índice del resumen.” (Martinez, 2015)

El manejo que se presentó para el periodo 2014 - 2018 en México sobre los RCD donde se identifican fuentes de generación en las obras de autoconstrucción con un 14% de residuos de construcción (RC) y un 10% de residuos de demolición (RD), las obras público y privado con un 76% de residuos de construcción y demolición (RCD) y obras pequeñas con un 26% de residuos de construcción y demolición (RCD).

Según la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC) el comportamiento de la industria y la construcción para (2014 – 2018), atiende a un escenario donde la construcción estimara 9.9 millones de toneladas para el 2018 incrementando un 5.0% promedio anual esto quiere decir (27.000 toneladas / día) a comparación del 2015, donde los principales materiales presentan una caracterización de RCD como se demuestra en la Figura 1.

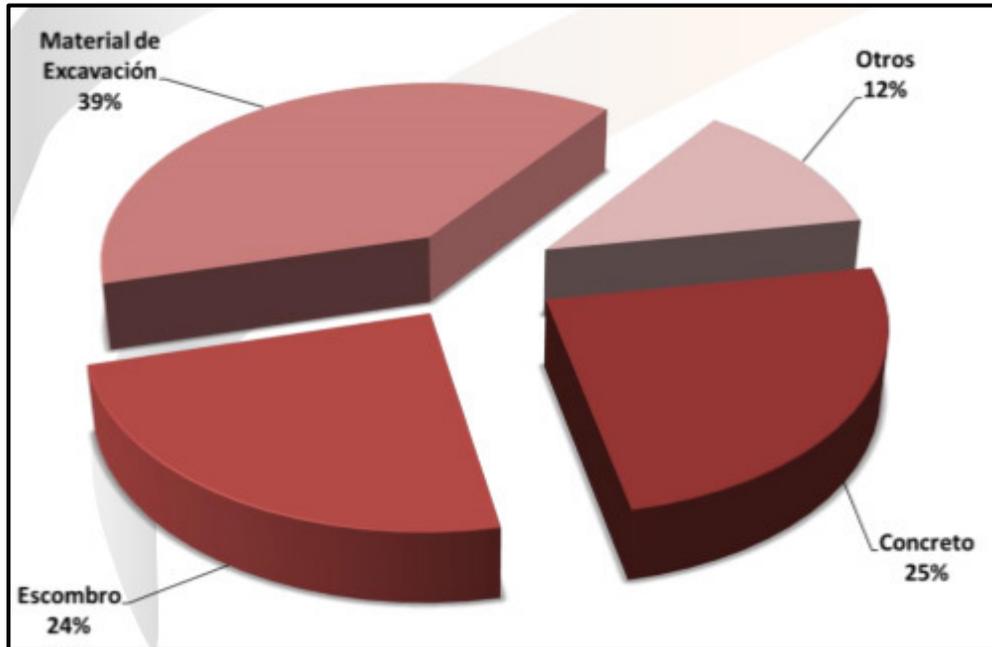


Figura 1 - Estimación de la caracterización de los RCD, Datos estimados;
Fuente: CMIC, 2013

Como en Japón los clientes y contratistas deben realizar una clasificación adecuada para las actividades que generan residuos de acuerdo con la Ley de reciclaje en los proyectos particulares.

“En China, la gestión de los residuos de RCD fue promovido y puesto bajo escrutinio por la ley de prevención de la contaminación ambiental producida por los residuos sólidos. En Alemania, de acuerdo con el ciclo cerrado y la gestión de residuos, todas las partes involucradas en el ciclo de materiales de construcción responsables de los residuos resultantes y de su uso.” (Labrincha, Ding, & Brito, 2013).

Otro de los países que anda a la vanguardia de la implementación a partir de una legislación donde implica que todo material reciclado debe ser reciclado, es Finlandia, en Australia se están realizando proyectos productivos con RCD y en Holanda está prohibido los residuos de concreto arrojarlos a escombreras, vertederos y están obligados a reciclar todo el concreto.

4.3. GESTIÓN DE LOS RCD EN EL ÁMBITO NACIONAL

En Colombia, el modelo lineal de la construcción es muy similar al de los de países emergentes donde los grandes aportes socioeconómico en el sector de la construcción, la alta actividad productiva implica la generación de grandes volúmenes de residuos de construcción y demolición RCD.

En marzo de 2017, (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018) informó que el 40% de los residuos generados a nivel nacional equivalen a los residuos de construcción y demolición, además concluyeron que para el 2011 se produjeron en las ciudades de Bogotá, Medellín, Santiago de Cali, Manizales, Cartagena, Pereira, Ibagué, Pasto, Barranquilla, Neiva, Valledupar y San Andrés 22.270.338 toneladas de Residuos de Construcción y Demolición” donde se presentaron problemas sociales, ambientales y urbanísticos cuando no se disponen, se reutilizan o se recicla adecuadamente.

Para el año 2019, Colombia genero alrededor de 22 millones de toneladas de RCD/año, de los cuales, 12 millones de Toneladas pertenecían a la capital colombiana. Para el 2015, Santiago de Cali produjo alrededor de 700 mil Ton/año, según el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA), donde se nos informó que solamente el 60% de los residuos generados en Cali se depositan en sitios autorizados, y el 40% restante se abandonan o ingresan a botaderos clandestinos o ilegales. Para el final del 2015 el panorama de Medellín no era el mejor, produciendo aproximadamente 2 millones Ton/año de residuos provenientes de la construcción y demolición.

Una de las alternativas que Bogotá implemento y por medio del acuerdo 489 del 2012 la ciudad adoptó en el plan de desarrollo el programa Basura Cero, cuyo plan tiene de promover estrategias de acción, para reducir, reutilizar y aprovechar en un 100% los residuos sólidos y reintegrarlos nuevamente a los ciclos productivos, ya que las entidades públicas como el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) y la

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) son los mayores generadores de residuos sólidos, como se ve en la Figura 2 para el 2019 se estimó alrededor de 3.341 millones de m³ de RCD.

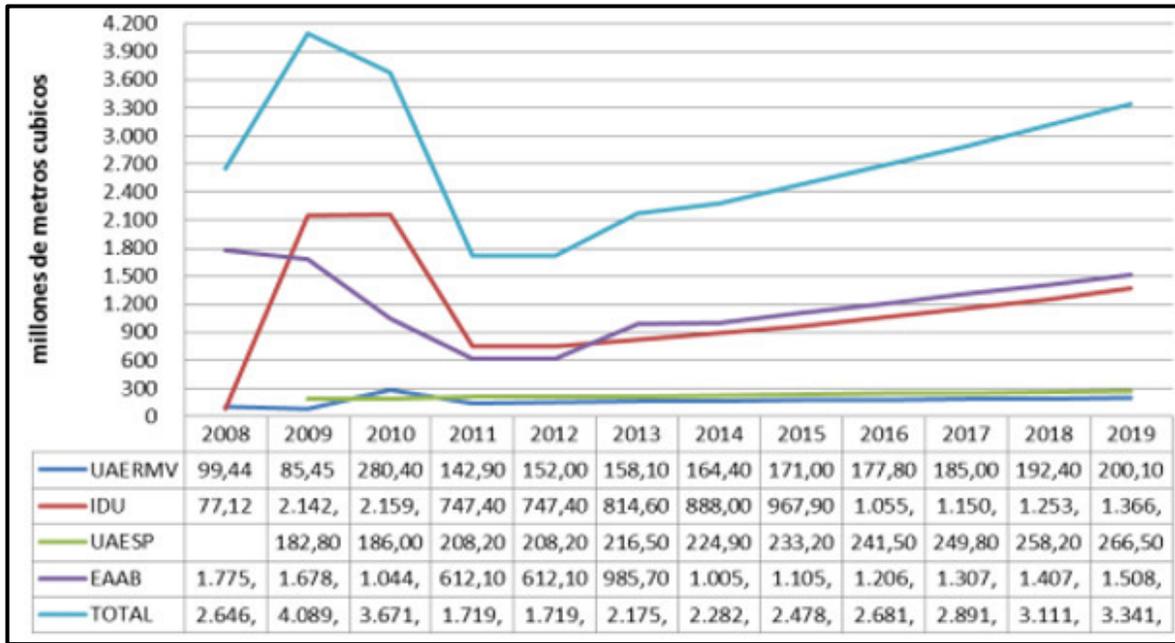


Figura 2 - Proyección de Producción de RCD en Bogotá; Fuente: Adapta de la UAESP, 2015

En la Figura 3, se observa que el mayor productor de RCD en Bogotá, es el privado con una proyección de 7,2 millones de metros cúbicos de RCD para el año 2021 y que el material aprovechable no superaría 1,6 millones de metros cúbicos de RCD para el año 2020, ni lo generado por el sector público.

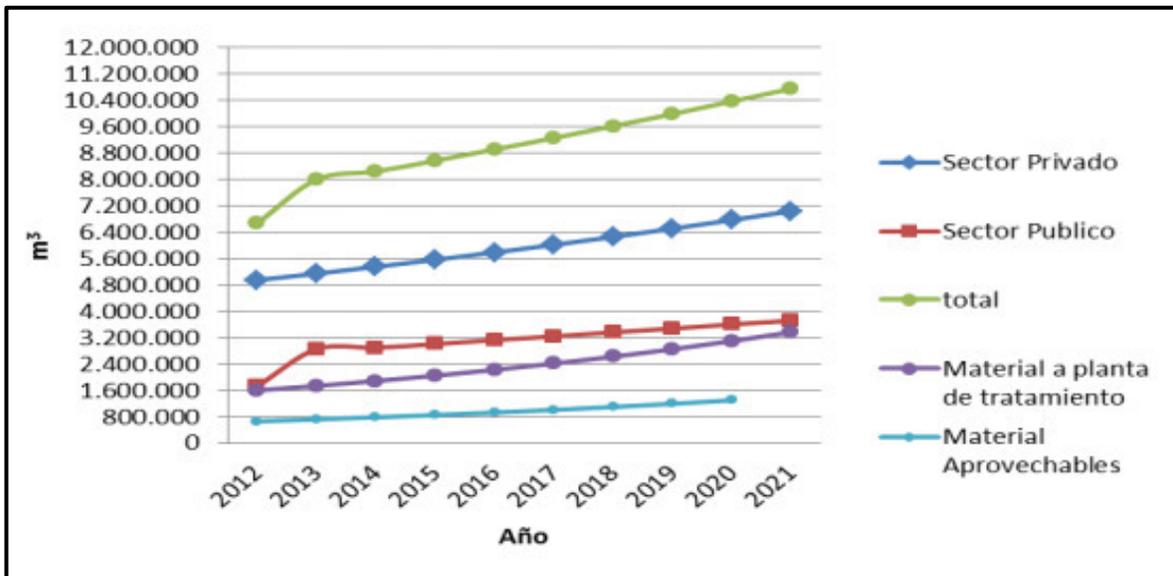


Figura 3 - Proyección de RCD por Sector; Fuente: Adapta de la UAESP, 2015

De acuerdo con la Figura 4 en Bogotá se presenta la siguiente estructura de los residuos provenientes de la construcción y demolición de obras civiles.

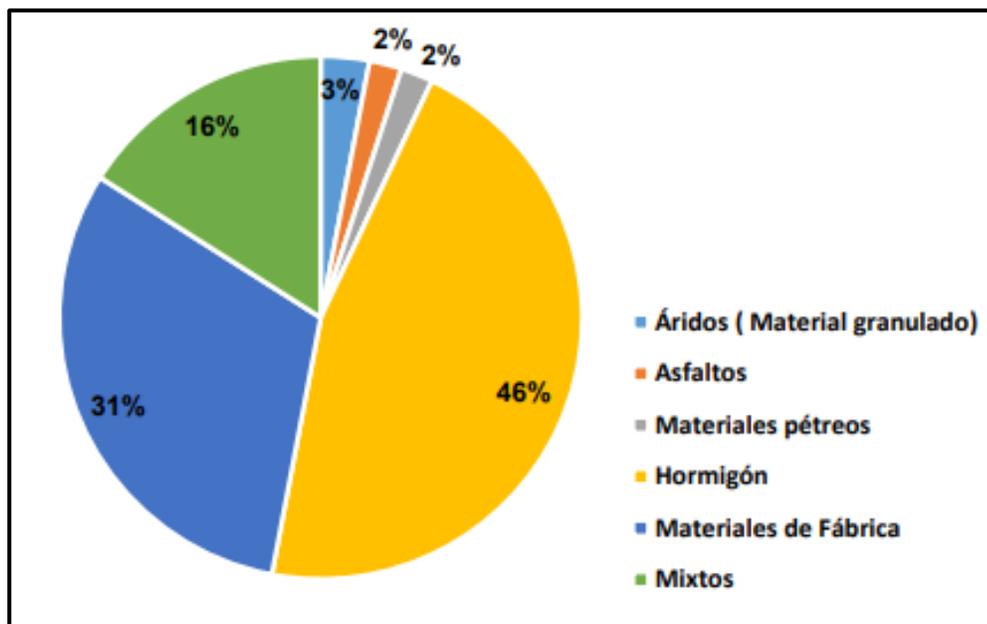


Figura 4 - Proyección de RCD por Sector; Fuente: Lineamientos ambientales para los Centros de Tratamiento y Aprovechamiento de RCD

El porcentaje de composición varia conforme a los orígenes y calidad de materia primas presentes en los diferentes factores de los RCD. La reutilización de agregados es una de las prácticas más usadas en Latinoamérica, en la recuperación de RCD, dado que el proceso de trituración no requiere industrialización sofisticada, además la disminución en costos para rellenos es significativa en los proyectos sobre todo de infraestructura

La caracterización de la Tabla 2, se observa los RCD que se presenta en la categoría de Aprovechables; puede ser potencialmente usados para la fabricación de nuevos elementos para suministrar materiales para procesos contractivos de obras civiles ya sea como base, subbase, morteros, materiales pétreos, asfaltos y elementos prefabricados

Tabla 2 - Clasificación de RCD

Categoría	Grupo	Clase	Componentes
RCD aprovechables	I. Residuos mezclados	Residuos pétreos	Concretos, cerámicos, ladrillos, arenas, gravas, cantos, bloques o fragmentos de roca, baldosín, mortero y materiales no pasantes al tamiz # 200
		Residuos finos no expansivos	Arcilla, limos y residuos inertes que sobrepasen el tamiz # 200
	II. Residuos de material fino	Residuos finos expansivos	Arcillas y lodos inertes con gran cantidad de finos altamente plásticos y expansivos que sobrepasen el tamiz # 200
		Residuos no pétreos	Plásticos, PVC, maderas, papel, siliconas, vidrios, cauchos
	III. Otros residuos	Residuos de carácter metálico	Acero, hierro, cobre, aluminio
		Residuos orgánicos	Residuos de tierra negra
		Residuos orgánicos vegetales	Residuos vegetales y otras especies bióticas
RCD No aprovechable	IV. Residuos peligrosos	Residuos corrosivos, reactivos, radioactivos, explosivos, tóxicos y patógenos	Desechos de productos químicos, emulsiones, alquitrán, pinturas, disolventes orgánicos, aceites, resinas, plastificantes, tintas, betunes
	V. Residuos especiales	No definida	Poliestireno, icopor, cartón, yeso (drywall)
	VI. Residuos contaminados con otros residuos	Residuos contaminados con residuos peligrosos	Materiales pertenecientes a los grupos anteriores que se encuentren contaminados con residuos peligrosos
No definida		Residuos contaminados con otros residuos que hayan perdido las características propias de su aprovechamiento	
Otros	VII. Otros residuos	No definida	Residuos que por requisitos técnicos no es permitido su reuso en obras

Fuente: Guía para la elaboración del Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición RCD en obra, Secretaría Distrital de Ambiente, Alcaldía Mayor de Bogotá D. C., 2015

4.4. GESTIÓN DE LOS RCD EN EL ÁMBITO LOCAL

En los últimos años, el área metropolitana de Bucaramanga ha tenido un crecimiento notable en la parte de obras civiles como en infraestructura vial, urbanística, motivo por el cual, hay mayor participación en la modernización de los municipios de la AMB en dicho ámbito, en paralelo al crecimiento de la construcción se presenta el déficit de los controles ambientales en materia de reutilización de RCD.

La situación del control y aprovechamiento de los RCD provenientes de los mega proyectos de construcción en la disposición final es crítica, ya que solamente se está aprovechando solo el 2% en promedio general según (Vanguardia, 2019) “se pudo conocer que Bucaramanga en 2017 aprovechó el 1,61% de los residuos sólidos y en 2018, el 2,05%; en Floridablanca, se pasó de 0,55% a 1,89%; en Girón, de 0,30% a 2,12%; y en Piedecuesta, de 0,24% a 1,93%”. con base a otras ciudades del país se mantiene una cifra muy baja en temas de aprovechamiento.

Para el 2030 se tiene una proyección aproximada del 30% de acuerdo con la política Nacional para la gestión integral de Residuos Sólidos con el fin de aumentar la cantidad de residuos para la reincorporación a la cadena de productividad, ya que, las obras públicas y privadas generan alrededor de 530 toneladas / día de ese material, solo el 40% (212 toneladas) es entregado en escombreras autorizadas y el otro 60% es abandonado o depositado ilegalmente.

Desde el 2010 se lleva adelantando múltiples investigaciones donde el planteamiento de los proyectos se priorice los diferentes materiales provenientes de RCD y su objetivo principal ha sido realizar un aporte responsable a la sociedad para entrar en una cultura del reciclaje de materiales de la construcción, en estas investigaciones se han producido concretos con reemplazos importantes de agregado natural por agregado reciclado donde se ha estudiado sus propiedades mecánicas y durabilidad a través del tiempo, para las estructuras de pavimento como bases y sub bases granulares, países urbanísticos, Losetas: requisitos de

losetas de concreto no reforzadas y sus complementos para la construcción de pavimentos peatonales y vehicular liviano, tipos de cimentación para tubería de alcantarillado como los atraques, filtros y drenajes, donde se obtienen un mayor rendimiento de la materias con excelentes resultados los cuales garantizan el cumplimiento de las diferentes normas de los materiales y su utilización y aplicación en base a los parámetros estipulados por las diferentes normas técnicas colombiana mencionadas algunas en la Tabla 3.

Tabla 3 - NTC para RCD

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA	TITULO
NTC 4026 Bloques y ladrillos	Requisitos de los materiales que los componen y requisitos físicos para unidades de mampostería, perforadas o macizas de concreto
NTC 2017 Adoquines	Requisitos para adoquines de concreto no reforzados y piezas complementarias, para la construcción de pavimentos peatonales, vehiculares y cargas estáticas distribuidas.
NTC 4109 Prefabricados	Requisitos físicos y mecánicos, y los métodos de ensayo para bordillos, cunetas y topellantas prefabricados o construidos en sitio.
NTC 174	Especificaciones de los agregados para concreto

Fuente: Elaboración propia

5. PLANTAS DE TRATAMIENTO RCD

Se cataloga como planta de tratamiento RCD, a los centros dedicados a la gestión, valoración y transformación, de los residuos provenientes de la construcción o demolición, generados a partir de obras nuevas, reformas o ampliaciones, reparaciones, etc., y cuyo fin es el aprovechamiento de estos, según (Tello Gonzales, 2017).

A continuación, se describen los tipos de plantas existentes, y su clasificación, según los procesos realizados dentro de ellas, y su nivel de complejidad.

5.1. TIPOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO RCD

Las plantas de tratamiento RCD, pueden clasificarse en dos (2) grupos: móviles o semimóviles y fijas. La diferencia radica en que el primer grupo, puede operar directamente en obra o en el punto de generación de los residuos, mientras que las plantas fijas deben contar con un terreno propio y maquinaria de gran robustez, generando esto costos más elevados para su implementación, lo anterior, según (Rodriguez-Avello & Iainez Arribas, 2018).

5.1.1. Plantas fijas

Este tipo de planta permite el tratamiento más heterogéneo de residuos, obligando a estas a contar con equipos y maquinaria más grande y sobredimensionada, que de tratamiento a mayores volúmenes de residuos. Este tipo de plantas son implementadas, teniendo en cuenta no solo el volumen de RCD generado en un radio de influencia, sino también el material que esta produce y puede ser aprovechado en el entorno. El radio de influencia es la distancia desde el lugar de producción de los residuos, ya sea, hasta la planta de tratamiento de RCD o hasta el botadero; teniendo en cuenta que la distancia de recorrido de los residuos es proporcional a la rentabilidad para el generador de este, según (Rodriguez-Avello & Iainez Arribas, 2018).

5.1.2. Plantas móviles o semimóviles

La característica principal de este tipo de plantas y como su nombre lo indica, es la de poder ubicarse transitoriamente en los sitios de generación del residuo y con disponibilidad constante de operación. El traslado de la maquinaria que hace parte de este tipo de plantas se realiza por medio de sistemas de oruga y/o neumáticos. El sistema de traslado depende del tipo de terreno, y distancia a recorrer, siendo más recomendable para terrenos en mal estado o irregular el sistema de orugas autopropulsadas y para distancias grandes, pero sobre terreno estable ruedas con neumáticos con cabeza tractora de arrastre. Este tipo de planta son de tipo modular, permitiendo adaptar diferentes elementos, según sus necesidades.

En términos económicos, las plantas móviles y semimóviles producen más gastos, o su costo de operación es más elevado que las fijas, por unidad de tonelaje tratado, debido a los gastos por mantenimiento y movimiento. Otra característica para resaltar es la tipología y tamaño del escombros a tratar, siendo más versátiles, y menos selectivas las plantas fijas.

Lo anterior, según (Rodríguez-Avello & Iainez Arribas, 2018).

5.2. NIVELES TECNOLÓGICOS PLANTAS RCD

El objetivo principal de una planta RCD, es la individualización de los materiales que hace parte de un todo en uno, agrupando homogéneamente los materiales, con el fin de ser reutilizados mediante el proceso de reciclado.

En la actualidad, existen 4 tipos de niveles para plantas de tratamiento RCD, las cuales se clasifican según el nivel de complejidad de las operaciones que en ellas se realizan. A continuación, se realiza una breve descripción de cada uno de ellos.

- **Nivel tecnológico tipo 1:** Es el nivel tecnológico de menor complejidad. En este tipo de planta se procede inicialmente a hacer una limpieza o

desbrozado, retirando elementos no aptos y haciendo una clasificación de los materiales según su naturaleza y tamaño. En algunos casos es requerida la mano de obra, con el fin de hacer la selección de materiales mediante maquinaria pesada (retroexcavadora, buldócer, etc.) o en banda transportadora. La separación puede efectuarse también por medio de un trómel con 2 tamices, obteniéndose así 3 tipos de granulometría: fina, mixta y grueso (transportado a planta de nivel 2 o 3, para trituración tras selección manual). Se recomienda la instalación de este tipo de plantas en centros de transferencia de residuos (CTR), con el fin de acceder a material con mayor facilidad de valoración, reciclaje o eliminación de estos. Lo anterior, según (Fueyo casado, 2012).

- **Nivel tecnológico tipo 2:** Las plantas pertenecientes a este nivel, son aquellas que dentro de sus procesos incorporan reducción de tamaño del material procesado, permitiendo la separación de materiales (ejemplo: concreto y ferralla). Posterior a la trituración, y por medio de separación magnética, se extrae el material metálico separado del concreto. Finalmente se realiza un tamizado, y de esta manera se obtienen los materiales reciclados. Lo anterior, según (Fueyo casado, 2012).
- **Nivel tecnológico tipo 3:** A diferencia de las plantas de Nivel 2, estas plantas incorporan dentro de su proceso 2 trituraciones, primaria y secundaria, cuyo objetivo es una mayor liberación de material. En la segunda etapa de trituración, se emplea nuevamente el separador magnético y eliminador de material ligero (plástico, papel, etc.) por medio de equipo neumático, generando así un producto de calidad superior. En algunos casos el material obtenido llega a certificarse, pudiéndose de esta manera comercializar. Lo anterior, según (Fueyo casado, 2012).
- **Nivel tecnológico tipo 4:** Estas plantas incorporan dentro de sus procesos, trituraciones terciarias selectivas y la clasificación del material en húmedo;

obteniéndose de esta manera productos de mayor calidad que las de nivel 3, y que cumplen con los requerimientos y especificaciones más estrictas, según (Fueyo casado, 2012). Este tipo de plantas aun no has sido puestas en marcha, debido a temas de reglamentación, normatividad y a que los inversores no ven rentabilidad financiera en este sector de la industria.

Dos plantas, que posean el mismo tipo nivel, pueden generar un producto final de diferente calidad, ya que este depende de los sistemas de separación y clasificación que emplee cada una de ellas. Debe prestarse atención en los requerimientos granulométricos, los cuales dependerán de la regulación y calibración de los equipos de trituración y cribado, lo anterior según (Rodriguez-Avello & Iainez Arribas, 2018).

6. EXPERIENCIAS PREVIAS

Se analizaron 3 plantas de tratamiento RCD, de Nivel tecnológico 3, cuya principal materia prima reciclada es el concreto; actualmente se encuentran en operación, y están ubicadas en: México, Colombia y España. Los criterios de selección de las plantas fueron: material predominante reciclado (concreto), eficiencia, montaje, operación y similitud de las condiciones geográficas y ambientales respecto a Bucaramanga y su área metropolitana. Se revisaron los procesos de cada planta, y los resultados obtenidos, Con el fin de valorar cual modelo se ajusta y es más viable, técnica y económicamente, para la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana, (Capítulo 7 – Propuesta a implementar en el área metropolitana de Bucaramanga).

6.1. PLANTA: CONCRETOS RECICLADOS S.A. (CIUDAD DE MEXICO, MEXICO)



Figura 5 - Planta RCD CONCRETO RECICLADO, México D.F.; Fuente: Facebook CONCRETOS RECICLADOS S.A.

Esta planta fija, de tratamiento de concreto reciclado de nivel tecnológico tipo 3, fundada en 2004 en Iztapalapa, ciudad de México, y una de las más grandes de Latinoamérica, se creó bajo una necesidad socio ambiental, debido a los grandes volúmenes de material proveniente de demoliciones que produce esta ciudad. Según la información difundida por CONCRETOS RECICLADOS S.A. en su portal web (Concretos Reciclados S.A., 2019) y redes sociales (Concretos Reciclados S.A. (facebook), 2017); el 70% de las 10.000 toneladas de cascajo que se producen al día en la ciudad de México (30.000 ton por día a nivel nacional), paran en depósitos irregulares como barrancos, canales, caminos o carreteras vecinales, reservas ecológicas. Etc., y solo el 30% se destinan a rellenos sanitarios y plantas de reciclaje. El cascajo o escombros, es un material contaminante, que provoca Enfermedades en vías respiratorias, genera fauna nociva, contaminación visual y obstrucción en las vialidades.

En la planta de tratamiento CONCRETOS RECICLADOS S.A., a 2009, se trataban 100 toneladas de material proveniente de demoliciones por día. Este volumen se duplicó a 2019, pero la planta tiene capacidad instalada de operación de hasta 2000 toneladas por día. Dicha planta opera según los lineamientos establecidos dentro de la norma ambiental del distrito federal NADF-007-RNAT-2004 (Secretaría del Medio Ambiente, 2004), para la clasificación y especificaciones de manejo de los residuos provenientes de la construcción, para el distrito federal, citando también los posibles usos para los agregados reciclados, en los diversos proyectos de obra civil.

6.1.1. Procesos en planta

Los procesos para la recepción, almacenamiento, manejo y control de los RCD, en planta, se describen a continuación:

- **Recepción, Clasificación y almacenamiento:** El material es recepcionado directamente de las demoliciones y acopiado en almacenes o sectores según su composición: concretos simples o armados, materiales simples o

mezclados (morteros, ladrillo, cerámica, etc.), arenas y arcillas, productos asfálticos. Etc. Cuando se tiene previo conocimiento de la procedencia del concreto, derivado de la demolición de una misma edificación o proyecto en específico, se acopia este en un mismo lote, con el fin de realizarle ensayos, que permitan identificar propiedades físico-mecánicas, garantizando un mejor uso y aprovechamiento del material.

- **Limpieza:** Ya en el almacén de concreto simples o armado, se continua con la inspección visual, para identificar si el concreto viene adherido a otro material (ladrillo, cerámico, papel, etc.), el cual se le retira manualmente. En ocasiones el material llega limpio debido a que fue sometido a procesos de nivel tecnológico 1.

- **Ensayos y laboratorios:** de los lotes previamente separados, se extraen muestras de concreto y se reduce el tamaño de este por medio de porra a un diámetro de entre 1/2" y 1", para realizar ensayos y proceder a la realización del diseño de mezcla. Los ensayos realizados al agregado reciclado son:
 - ✓ Ensayo de porcentaje de humedad
 - ✓ Ensayo de porcentaje de absorción y peso específico
 - ✓ Ensayo de peso unitario suelto y compactado
 - ✓ Granulometría

Se procede entonces a realizar el cálculo de las cantidades de material, para continuar con la mezcla de estos, por medio de una mezcladora de concreto o mixer. A continuación, se procede a realizar el ensayo de asentamiento al concreto con agregado reciclado, para mezclas con y sin aditivos. Se procede a llenar las probetas con concreto (teniendo en cuenta normatividad), y se dejan endurecer 24 horas. Después de este tiempo se retiran de los moldes y se sumergen en agua durante 7 días para su correcto curado. Se sacan del agua y se dejan secar durante 24 horas, para iniciar con el ensayo de

compresión y así determinar el esfuerzo máximo al que puede ser sometido el lote de concreto reciclado analizado.

- **Reducción de tamaño:** Se procede a hacer la fragmentación o demolición del material por medio de retroexcavadoras adaptado con una punta de martillo hidráulico, con el fin de reducir el sobre tamaño con el que ingresa el material a planta.
- **Separación magnética y trituración 1:** Por medio de un retro cargador se alimenta la trituradora de concreto, la cual posee un electroimán que realiza la separación del acero de refuerzo, durante el proceso de trituración, que en la mayoría de los casos viene adherido al concreto y que no se retiró manualmente. La trituradora procesa el material y reduce el sobre tamaño, generando cascajo de hasta un diámetro máximo de 3 pulgadas.
- **Clasificación granulométrica 1:** Este cascajo es pasado a una zaranda o cama vibratoria la cual hace la separación de material según su diámetro. El material que queda con sobre tamaño (diámetro mayor a 3”), es conducido por medio de una banda transportadora a un proceso de retriturado.
- **Trituración 2 y clasificación granulométrica 2:** Teniendo en cuenta el diámetro de agregado deseado, y si este es menor a 3 pulgadas, se pasa nuevamente el cascajo por la máquina trituradora, en un reproceso de trituración, hasta obtener el tamaño o diámetro buscado. De igual manera, si en el proceso de clasificación granulométrica el cascajo quedo con un diámetro mayor a 3 pulgadas, también es re triturado para reducir su tamaño. Posterior al proceso de trituración 2, se realiza nuevamente una clasificación granulométrica del material obtenido, en cama vibratoria.
- **Cono de trituración:** si desea producirse material de gran calidad, con proporción deseada de finos, según requerimientos del consumidor, se

ingresa el material al cono de trituración (equipo terciario) para obtener la granulometría buscada.

- **Acopio y despacho de material:** Se acopia el material o se procede con el suministro de este.

Es importante recalcar que la planta se encuentra a 40 metros por debajo del nivel de la vía, evitando de esta manera, y por medio de aspersores de agua y cortinas forestales, que el polvo salga de la planta de tratamiento causando daño ambiental.

Aunque esta planta es de tipo fijo, sus equipos al ser móviles pueden ser llevados hasta el lugar de la demolición, ubicándose temporalmente para realizar los procesos de demolición y clasificación in situ, generando ahorros en transporte y tarifa de recibido de material.

La información presentada en este numeral (5.2.1.1.), se obtuvo a partir del portal web (Concretos Reciclados S.A., 2019) y redes sociales (Concretos Reciclados S.A (facebook), 2017) de CONCRETOS RECICLADOS S.A.

6.1.2. Material producido

La planta produce gran variedad de diámetros de agregado grueso y fino reciclado, según los requerimientos y demanda del sector. Los diámetros de cascajo de mayor producción y algunos de sus usos, según (Concretos Reciclados S.A., 2019), son:

- **Finos:** rellenos, para mezcla de gravas controladas, metros o transporte ferroviario, etc.
- **3/8”:** material producido a pedido para la construcción de las ciclopistas de la ciudad.

- **3/4”**: construcción de banquetas, pistas, ciclo pistas, pisos, elementos prefabricados, etc. combinado con el material fino, se produce una grava controlada, utilizada en rellenos, material para filtro, entre otros.
- **3”**: estabilización de suelos, rellenos, filtros o pedraplenes, conformación de terrenos parques o jardines, subbase en vías, etc.

6.1.3. Participación en proyectos

Teniendo en cuenta que esta planta de tratamiento cuenta con los avales y certificaciones de la secretaria del medio ambiente de la ciudad de México (SEDEMA), garantizando un correcto manejo de los RCD, se ha dado participación de esta en proyectos de construcción tales como:

- **línea 12 (Dorada) del metro:** utilización de material en la construcción de plataformas, fabricación de pilotes, relleno en zapatas, bases y subbases (Fig. 2).



Figura 6 - Línea 12 (dorada) del metro, CDMX; Fuente: Facebook CONCRETOS RECICLADOS S.A.

- **Parque bicentenario, ex-refinería 18 de marzo:** se procesaron el 100% de los residuos demolidos para la construcción de elementos prefabricados, rellenos, bases, subbases, etc. (Fig. 3).



Figura 7 - Parque Bicentenario, CDMX; Fuente: portal web parque Bicentenario

- **2do piso de la pista metropolitana del sur:** se utilizó material reciclado en rellenos, bases y subbases.

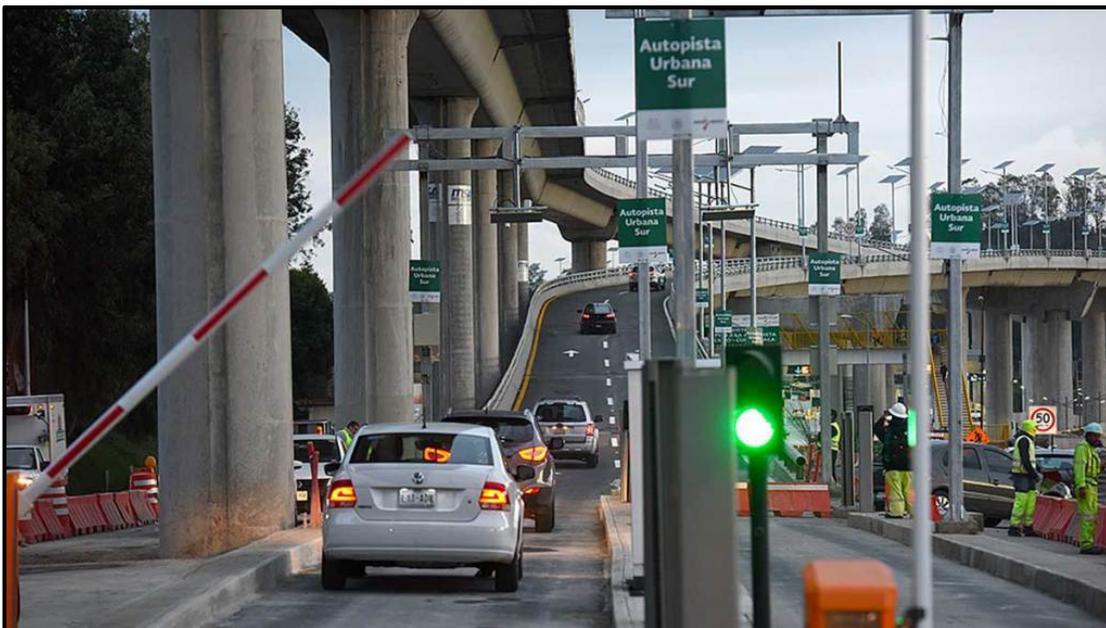


Figura 8 - 2do piso de la pista metropolitana del sur, CDMX; Fuente: Facebook CONCRETOS RECICLADOS S.A.

6.1.4. Resultados obtenidos

A la fecha, la implementación de esta planta de tratamiento de concreto reciclado, en la ciudad de México, ha traído grandes beneficios socio ambientales a la ciudad, pero aun solo es tratado el 2% (200 ton) del volumen total de escombros producidos en esta ciudad y el 0,6% de los escombros producidos a nivel nacional; teniendo en cuenta que en la ciudad de México, el 28% (2800 ton) de los escombros producidos paran en rellenos sanitarios certificados y el 70% (7000 ton) quedan distribuidos ilegalmente por la ciudad, según (Concretos Reciclados S.A., 2019).

Actualmente la secretaria del medio ambiente de la ciudad de México (SEDEMA), en compañía del sector privado de la construcción, y de los funcionarios públicos encargados de la proyección, supervisión y acompañamiento de proyectos civiles de la ciudad, se encuentran trabajando bajo 2 fines: 1. Aumentar el volumen de concreto proveniente de demoliciones, que ingresa a la planta de tratamiento, para producción de agregados. 2. incentivar proyectos que incluyan dentro de sus obras, materiales reciclados, reduciendo a necesidades técnicas puntuales e inevitables el uso de materiales de 1ra mano.

6.2. PLANTA: RECICLADOS INDUSTRIALES DE COLOMBIA S.A.S. (BOGOTÁ D.C., COLOMBIA)

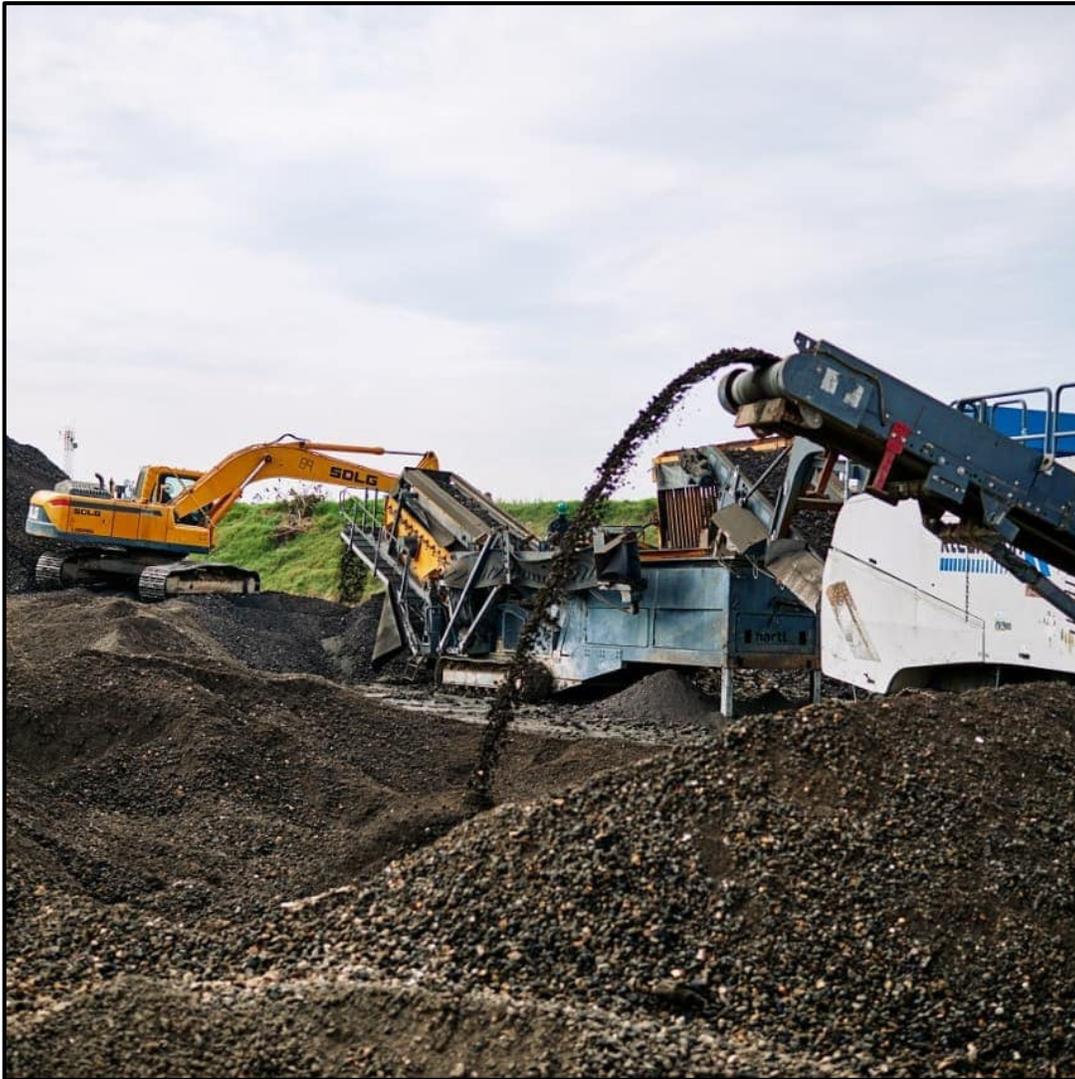


Figura 9 - Planta RCD RECICLADOS INDUSTRIALES DE COLOMBIA S.A.S., Bogotá D.C.; Fuente: Facebook RI S.A.S.

En la actualidad, CONCRETOS RECICLADOS DE COLOMBIA S.A.S., posee 2 plantas RCD de agregado reciclado y 1 planta de prefabricados con agregados de la misma naturaleza. Para el presente estudio se realizó la revisión de la planta de agregados de la calle 80 (Km 1.5 - Costado Sur Vía Bogotá - Siberia. Cota, Cundinamarca), la cual se denomina la más grande de su tipo en Colombia. Esta planta fija se clasifica como de nivel tecnológico tipo 3, e inicio operaciones en 2010,

debido a la necesidad de tratar los residuos provenientes de la construcción y demolición en la capital colombiana, ya que, según las cifras de la secretaria distrital de ambiente, la mayoría de los escombros que se producen en Bogotá, se abandonan en más de 200 botaderos o lugares no autorizados de la ciudad.

Según el portal web, (Martínez Albornoz, 2019), en Colombia se producen 22 millones de toneladas de residuos de provenientes de la construcción y demoliciones (RCD), al año. Basados en los datos de la Unidad Administrativa Especial De Servicios Públicos (UAESP), en Bogotá se producen 12 millones de toneladas de RCD anualmente, lo que representaría un 54% de lo producido a nivel nacional.

De acuerdo con el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible,

En Colombia, la industria de la construcción consume el 40% de la energía, genera el 30% del CO₂ y el 40% de los residuos, además de consumir el 60% de los materiales extraídos de la tierra. Adicionalmente, en la construcción se desperdicia en promedio el 20% de todos los insumos y materiales empleados en la obra (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2017)

6.2.1. Procesos en planta

Basados en la información suministrada por RECICLADOS INDUSTRIALES DE COLOMBIA S.A.S., en su portal web (Reciclados Industriales, 2019), los procedimientos realizados a los RCD que se llevan a la planta de tratamiento son:

- Recepción, clasificación y almacenamiento
- Limpieza
- Ensayos de laboratorio
- Reducción de tamaño

- Separación magnética y trituración 1
- Clasificación granulométrica
- Trituración 2 y clasificación granulométrica 2
- Cono de trituración (según tamaño del agregado)
- Acopio y despacho de material

los procedimientos antes citados, para el tratamiento del escombros recepcionado en planta, cuyo fin es la obtención por medio de procesos mecánicos de agregados gruesos y finos, tienen la misma naturaleza de los llevados a cabo en la planta de tratamiento de RCD CONCRETOS RECICLADOS S.A., descritos en el numeral 5.2.1.1; por tal razón, se toma como descripción o explicación de estos, los definidos en el numeral antes citado.

Esta planta de tratamiento RCD, opera según lo consignado en la resolución No.01115 del 2012 (Secretaría distrital de Ambiente, 2012), en la cual se establecen los lineamientos Técnico - Ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción y demolición en el Distrito Capital. En el ARTÍCULO 4to – DE LAS ENTIDADES PÚBLICAS Y CONSTRUCTORAS, de la misma resolución, se establece que todas las obras civiles en Bogotá están obligadas a usar no menos del 25% de materiales de origen reciclado. Además, cumplen con las especificaciones técnicas ICONTEC, IDU y INVIAS, según su portal web (Reciclados Industriales, 2019).

6.2.2. Material producido

Esta planta produce al menos unos 20 tipos de agregados o materiales en planta, según su catálogo virtual de productos (Reciclados Industriales, 2019). Entre los más comunes y con mayor demanda en el sector de la construcción se encuentran:

- **Base granular tipo A (BG-A):** pavimento asfáltico, pavimento de losas de concreto de cemento portland.

- **Base granular tipo B (BG-B):** pavimento asfáltico, pavimento de losas de concreto de cemento portland.
- **Base granular tipo C (BG-C):** pavimento asfáltico, pavimento de losas de concreto de cemento portland.
- **Sub Base Granular tipo A (SBG-A):** pavimento asfáltico, pavimento de losas de concreto de cemento portland.
- **Sub Base Granular tipo B (SBG-B):** pavimento asfáltico, pavimento de losas de concreto de cemento portland.
- **Sub Base Granular tipo C (SBG-C):** pavimento asfáltico, pavimento de losas de concreto de cemento portland.
- **Sub Base Granular tipo PEA:** “material granular grueso, el cuál dentro de la estructura de pavimentos, se encuentra entre el asfalto o el concreto y la subbase granular” (ECONSTRUCTION, 2018).
- **Material granular de mejoramiento:** subrasantes
- **Recebo B400:** Rellenos, para estructura de vías y mejoramiento de suelo.
- **Recebo B600:** Rellenos, para estructura de vías y mejoramiento de suelo.
- **Arenas:** Arena gris fina para morteros, grouting, filtros y concretos de alta resistencia
- **Gravas- Gravilla:** “Triturado de diámetro de 1/2 y 3/4 utilizado para decoración y construcción como: concretos, filtros, parqueaderos y otros” (ECONSTRUCTION, 2018).
- **Rajón:** mejoramiento de subrasantes, vías gaviones, etc.

6.2.3. Participación en proyectos

Esta planta de tratamiento y transformación de RCD, ha suministrado agregados para diversas constructoras o empresas del sector de la construcción, tanto del sector público, como del privado (Reciclados Industriales, 2019); entre las que se encuentran:

- Arquitectura y Concreto
- BYR constructores S.A.S.

- CAM Colombia multiservicios S.A.S.
- Constructora CAMACON S.A.S.
- CCA ingenieros contratistas C.I.A. L.T.D.A.
- Constructora Colpatria
- CONCRESCOL
- CON & CON S.A.S.
- C.S.I ingeniería
- CUSEZAR
- Doble A ingeniería
- En tu obra (gestión de residuos de construcción)
- G2 ingenieros civiles
- Las Galias constructora
- GAMA ingenieros y arquitectos
- Grupo YS
- Alcaldía mayor de Bogotá D.C.
- IDU
- JMV ingenieros
- Constructora LARES
- Pavimentos Colombia S.A.
- PAVIOBRAS L.T.D.A.
- Construcciones planificadas
- PROCOPAL S.A.
- SOFAN ingeniería S.A.S.
- Yamil Montenegro
- Acueducto de Bogotá D.C.
- Constructora AMARILO

6.2.4. Resultados obtenidos

Esta compañía colombiana, es la primera dedicada al aprovechamiento de residuos de construcción y demolición, buscando el cuidado del medio ambiente y

promoviendo procesos de construcción y desarrollo urbano sostenible. dentro de las ventajas medio ambientales se encuentran:

- cumplimiento de la normatividad ambiental en la gestión de escombros y RCD.
- Reducción de la contaminación de humedales y cuencas de ríos.
- Reducción de la explotación de recursos naturales minas y canteras.
- Disminución de la invasión de espacios públicos, vías y lotes con escombros.
- Construcción y desarrollo urbano sostenible.

Teniendo en cuenta los lineamientos y requerimientos establecidos en la resolución No.01115 de 2012 (Secretaria distrital de Ambiente, 2012), citada en el numeral 5.2.2.1., del presente documento, en donde se establece un uso mayor o igual al 25% de materiales de origen reciclado en obras civiles, en Bogotá; y basados en el alto volumen de construcción de la ciudad, Concretos reciclados de Colombia, cuenta actualmente con 2 planta RCD ubicadas estratégicamente en la ciudad, y una planta de materiales prefabricados (ladrillos, adoquines, losetas, bordillos, etc.), producidos con materiales ambientalmente responsables y producidos en planta, contribuyendo al cumplimiento de la normatividad y a la construcción de una ciudad más sostenible.

En agosto de 2020, Reciclados Industriales de Colombia es el ganador de la tercera edición del Reconocimiento a las Buenas Prácticas de Desarrollo Sostenible en el ODS 12, en la categoría empresarial que lidera la organización Pacto Global Colombia.

En enero de 2019, la planta despacho 30.000 toneladas de material, para diversos usos de la construcción (vías, rellenos, prefabricados, etc.), siendo esta cifra una excepción, ya que del total de los RCD producidos diariamente en la capital, solo el 50% (16.500 toneladas por día) es tratado y reusado, y el otro 50% es abandonado en lugares clandestinos o en la misma ciudad.



Figura 10 - Planta prefabricados RECICLADOS INDUSTRIALES S.A.S.; fuente: Facebook RI S.A.S.



Figura 11 - Ensayo de compresión bloque prefabricado producido en RECICLADOS INDUSTRIALES S.A.S.; fuente: Facebook RI S.A.S.



Figura 12 - limpieza de material; fuente: Facebook RI S.A.S.

6.3. PLANTA: RECICLADOS LA TRINCHERA S.L. (GRANADA; ESPAÑA)



Figura 13 - Planta RCD RECICLADOS LA TRINCHERA S.L.; fuente: Facebook Reciclados la trinchera

Esta planta fija de tratamiento o gestor de residuos RCD, de nivel tecnológico 3, se encuentra ubicada en el municipio de Motril, provincia de Granada, España, y opera desde el 2011. En esta se reciben y procesan diversos tipos de materiales, para lo cual cuenta con una previa autorización administrativa como gestor de residuos no peligrosos, por parte de la junta de Andalucía (Consejería del medio ambiente y ordenación del territorio – Delegación territorial de granada), para la manipulación y reciclaje de los siguientes materiales:

- **RCD:** Hormigón, ladrillos, Tejas y materiales cerámicos, Mezclas de los anteriores, tierras y piedras.

- **Residuos plásticos:** residuos de plástico (excepto embalajes), envases de plástico, envases compuestos, envases mixtos, plásticos y caucho, plásticos.
- **Residuos de madera y poda:** residuos de selvicultura, Serrín, virutas, recortes, madera, tableros de partículas, chapas, Envases de madera, Residuos biodegradables, etc.
- **Residuos de papel y cartón:** papel y cartón en general.
- **Residuos metales:** metales férricos y no férricos.

De los materiales antes citados, y autorizados para manipulación por parte de la planta, nos centraremos particularmente en el concreto u hormigón (reforzado o no), lo cual es el fin del presente estudio.

Según RECICLADOS LA TRINCHERA, Esta planta cumple con los requerimientos para operación, establecidos en:

El real decreto 105/2008, del 1ro de febrero, sobre por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición y el Decreto 73/2012 por el que se aprueba el Reglamento de Residuos de Andalucía y es gestor autorizado en operaciones de valorización y/o eliminación de RCD por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (Reciclados la trinchera, 2018).

El centro de estudios y experimentación de obras públicas (CEDEX), del ministerio de fomento de España, basados en:

el plan nacional integrado de residuos (PNIR) 2008 - 2015, estima que la producción de RCD en España, creció en el periodo 2001 - 2006 a un ritmo medio del 8,7% anual. Esta tendencia se rompió en 2007 para pasar a tasas negativas a partir de 2008 como resultado del descenso en la actividad constructora, más acusado en obras de edificación residencial (CEDEX, 2015).

Basados en la información suministrada por el portal web IRESIDUO, referente a los volúmenes de RCD producidos en España, en la actualidad, establecen que estas cifras han vuelto a aumentar, evidenciándose para el año 2019, una producción de RCD de aproximadamente 1 tonelada por habitante por año, que equivalen a alrededor unos de 46 millones de toneladas de RCD por año, de los cuales solo el 25% de ellos se gestionan en plantas autorizadas, significando esto, que el 75% de estos materiales tienen un fin inadecuado e ilegal, “generando graves impactos ambientales y paisajísticos, contaminación de suelos y acuíferos y además despilfarrando una materia prima necesaria y comprometiendo la existencia misma del sector del reciclado y valorización” (IRESIDUO, 2018).

La meta planteada en el año 2017, en el Congreso de Economía Circular en el sector de la Construcción, celebrado en el marco del *Barcelona Building Construmat*, es que para el 2020, al menos el 70% de los RCD, deben ser sometidos a procesos de valorización y reutilización, disminuyéndose el consumo de áridos naturales y el consiguiente impacto ambiental y consumo de energía en su extracción y elaboración según (Residuos Profesional, 2017).

6.3.1. Procesos en planta

Teniendo en cuenta la revisión realizada a los procedimientos llevados a cabo por RECICLADOS LA TRINCHERA, al concreto de origen RCD ingresado a planta, según su portal web (Reciclados la trinchera, 2018), se pueden establecer que estos son:

- Recepción, clasificación y almacenamiento
- Limpieza
- Ensayos de laboratorio
- Reducción de tamaño
- Separación magnética y trituración 1
- Clasificación granulométrica
- Trituración 2 y clasificación granulométrica 2

- Cono de trituración (según tamaño del agregado)
- Acopio y despacho de material

Estos procedimientos poseen la misma tipología de operación de las plantas RCD de México y Colombia, citadas en los numerales 6.1.1 y 6.1.2, evidenciándose de esta manera, una casi estandarización en el manejo y control de los RCD, en Latinoamérica y Europa.

6.3.2. Material producido

Teniendo en cuenta lo antes citado, respecto a los materiales RCD recepcionados y tratados en planta (Hormigón, ladrillos, Tejas y materiales cerámicos, Mezclas de los anteriores, tierras y piedras) y el catálogo de productos ofrecidos por la planta de tratamiento en su portal web (Reciclados la trinchera, 2018), se pueden establecer como materiales disponibles los siguientes:

ZAHORRA

- ZAHOR (ZAHORRA ARTIFICIAL RECICLADA DE HORMIGÓN): realizada mediante la trituración de residuos de hormigones. Árido para capas granulares. Uso previsto: Firmes de carreteras, vías ciclistas y peatonales, relleno de zanjas
- ZARM I (ZAHORRA ARTIFICIAL RECICLADA MIXTA TIPO I): procedente de la trituración de RCD.
- ZARM II (ZAHORRA ARTIFICIAL RECICLADA MIXTA TIPO II): procedente de la trituración controlada de RCDs.
- ZARA (ZAHORRA ARTIFICIAL RECICLADA ASFÁLTICA)

SUELO RECICLADO

- SR-SEL (SUELO RECICLADO SELECCIONADO): Producto procedente del tratamiento de residuos de RCDs, con características físico, químicas y mecánicas que le confieren la categoría de suelo seleccionado.

- SR-TOL (SUELO RECICLADO TOLERABLE): Producto procedente del tratamiento de residuos de RCDs, con características físico, químicas y mecánicas que le confieren la categoría de suelo tolerable, inferiores a las necesarias para calificarlo como suelo adecuado.
- MATERIAL PARA CAMA DE TUBERÍAS: material para colocar en el fondo de las zanjas.
- MATERIAL DRENANTE: árido Grueso para evitar la acumulación de aguas en distintos terrenos.
- SCR: Suelo-cemento reciclado de RCD.
- HRC: Hormigón seco compactado reciclado.
- AR: Arena Reciclada.
- GR: Grava Reciclada.
- GCR: Grava-cemento reciclada de RCD.

El material que se tratará con cemento será la fracción de árido grueso procedente de la trituración exclusiva de residuos de hormigón y la fracción de árido fino procedente de la trituración de árido de cantera o gravera natural (Reciclados la trinchera, 2018).

6.3.3. Participación en proyectos

No se pudo establecer puntualmente los proyectos o clientes a los que reciclados la trinchera suministra material transformado a partir de concreto reciclado, pero si por medio de fotografías en su portal web y redes sociales (Reciclados la trinchera, 2018), se lograron evidencian algunos de los trabajos realizados con los agregados que se producen en esta planta.

Zahorra artificial reciclada de hormigón:

Formada por hormigón molido que al humedecerse, el cemento vuelve a actuar y endurece la capa. Ideal para firmes de caminos y explanadas.



Zahorra artificial reciclada mixta:

Formada por hormigón molido y material asfáltico, que al humedecerse, es ideal para firmes de caminos y explanadas.



Figura 14 - Participación en proyectos Reciclados la Trinchera; fuente: Facebook Reciclados la trinchera

Suelo seleccionado reciclado de RCD:

Ideal en relleno de fincas, sirve para todo tipo de capas, terraplén, bases, subbases.



Tierra vegetal cribada:

Ideal para la última capa en relleno de fincas y/o jardines.



Figura 15 - Participación en proyectos Reciclados la Trinchera; fuente: Facebook Reciclados la trinchera

6.3.4. Resultados obtenidos

Reciclados la trinchera, es una empresa comprometida con el medio ambiente, la cual se establece bajo el criterio de que una correcta gestión de los residuos provenientes de la construcción y demolición, ingresados a planta, supone grandes beneficios en cuanto a la sostenibilidad y la calidad de vida, además de económicos. Teniendo en cuenta lo anterior y apostando por una economía circular, “el reciclaje y valorización de los RCD disminuiría el consumo de áridos naturales y el consiguiente impacto ambiental y consumo de energía en su extracción y elaboración” (IRESIDUO, 2018).

Los materiales obtenidos de los procesos llevados a cabo en la planta de tratamiento RCD, citados en el numeral 6.1.3.2, se distribuyen en diversos proyectos de Granada, teniendo en cuenta las actuales regulaciones del ministerio de fomento de España (reutilizar al menos el 70% de los RCD). Los proyectos en los que se incorpora el concreto reciclado son de infraestructura vial (bases, subbases, recebo de nivelación), rellenos, mejoramiento del suelo, muros, gaviones o barreras de contención, etc. En la actualidad, se incorporó a la planta un área de investigación y desarrollo, con el fin de establecer los alcances de los agregados producidos en planta tanto en elementos prefabricados como de fabricación directa.



Figura 16 - Laboratorio Planta RCD RECICLADOS LA TRINCHERA S.L.; fuente: Facebook Reciclados la trinchera



Figura 17 - Laboratorio Planta RCD RECICLADOS LA TRINCHERA S.L.; fuente: Facebook Reciclados la trinchera



Figura 18 - Trituración, Planta RCD RECICLADOS LA TRINCHERA S.L.; fuente: Facebook Reciclados la trinchera

Los procesos identificados en la planta de México (CONCRETOS RECICLADOS S.A.), Colombia (RECICLADOS INDUSTRIALES DE COLOMBIA S.A.S.) y España (RECICLADOS LA TINCHERA S.L.); son Similares y obedecen a la obtención de agregados con características físicas y mecánicas de igual naturaleza. La producción de materiales (cantidad y tamaño) varía según la demanda del sector de la construcción en donde se encuentre ubicada la planta, pero cabe la pena resaltar que, de los RCD, se pueden obtener una gran diversidad de agregados, finos y gruesos, que permiten suplir un volumen significativo de material de 1ra mano, disminuyendo el gran impacto ambiental que produce la extracción que estos, aprovechando una materia prima reutilizable, de excelente calidad y a un menor costo.

7. PROPUESTA A IMPLEMENTAR EN EL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA



Figura 19 - Bucaramanga (Neomundo, centro de convenciones); Fuente: autores del documento

La ciudad de Bucaramanga, capital del departamento de Santander, núcleo del área metropolitana, posee una población aproximada de 607.428 habitantes, y en conjunto con los municipios de Floridablanca, girón y Piedecuesta, sus satélites, los cuales poseen una población unificada de aproximadamente 718.000 de habitantes, conforman el área metropolitana de Bucaramanga, con una población total aproximada de 1.325.428 habitantes, según (DANE, 2010). El área metropolitana posee una extensión de 1479 km². En el año 2015, fue declara en el estudio *ciudades competitivas para estudios y crecimientos*, realizado por el banco mundial (BANCO MUNDIAL, 2015), la ciudad más próspera de América Latina y ejemplo para el mundo (wikipedia, 2019).

7.1. LOCALIZACION

Se encuentra ubicada al nororiente del país, en una terraza inclinada de la Cordillera Oriental, que a su vez es una rama de la cordillera de los Andes, a orillas del río de

Oro, a los 7°08'00" N 73°08'00" O. Posee una altura media de 959 msnm. Lo anterior, según (wikipedia, 2019).

7.2. CONSTRUCCION Y RCD EN EL AREA METROPOLITANA DE BGA

En los últimos años se ha visto un crecimiento y expansión en la construcción en el área metropolitana de Bucaramanga, lo cual, según los expertos en esta rama a nivel nacional, indican que los municipios de “Floridablanca, Girón y Piedecuesta serán los principales focos de desarrollo en términos de viviendas e infraestructura vial, mientras que en Bucaramanga primará la construcción vertical en zonas de renovación urbana”, según (Reyes, Forero, & Figueroa, 2019).

En la actualidad, el área metropolitana de Bucaramanga no cuenta con una planta especializada para tratar los RCD producidos diariamente, y proceder a una transformación de estos como alternativa de aprovechamiento y reutilización. Dichos residuos, son depositados en escombreras, avaladas y controlados por el AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA (AMB), que es una entidad administrativa, cuya misión es:

Programar y coordinar el desarrollo armónico e integrado del territorio, mediante el plan integral de desarrollo metropolitano, identificando, declarando y gestionando los hechos metropolitanos, para alcanzar una administración eficiente del territorio en materia ambiental, de movilidad, económica, social, demográfica, cultural y tecnológica, en busca del desarrollo humano sustentable, el ordenamiento territorial y la racional prestación de los servicios públicos (amb).

De igual manera, y como sucede en otras ciudades del mundo, el material o residuos provenientes de construcciones o demoliciones, es abandonado en vías internas del casco urbano, a las afueras de la ciudad, en rellenos sanitarios y/o

escombreras ilegales o no autorizadas, etc., generando todo tipo de problemas ambientales, sociales y económicos a los municipios involucrados y sus habitantes.

Actualmente, y según el plan estratégico de gestión, de la empresa pública de alcantarillado de Santander (EMPAS) S.A. E.S.P., en el área metropolitana de Bucaramanga, se producen 2 Kg/persona al día de RCD, entendiéndose que, dentro de los RCD, según (EMPAS, 2016), se identifican 3 subgrupos:

1. Residuos provenientes de la demolición, ya sea de edificios, obras públicas, carreteras, etc.
2. Residuos de excavaciones y movimientos de tierra, son básicamente arcillas, tierras, arenas, etc., que resultan sobrantes a la hora de ejecutar la obra.
3. Residuos mixtos, son aquellos que se generan durante la construcción, compuestos por restos de materiales de construcción, embalajes etc.

Teniendo en cuenta la anterior clasificación, y basados en plan estratégico de gestión, se establece que,

La presencia de residuos es un factor común en proyectos de infraestructura. En general, se puede decir que el escombros y el residuo de construcción está compuesto por un 20% de hormigón, un 50% de material de albañilería (cerámico, escayolas, etc.), un 10% de asfalto y un 20% de otros elementos como maderas. Como se puede apreciar, el ejercicio de esta actividad genera gran cantidad de residuos de diferentes clases provenientes de las distintas etapas constructivas; desde la localización y preparación del terreno hasta la entrega de la obra (EMPAS, 2016).

De esta manera, y basados en los datos poblacionales del área metropolitana de Bucaramanga, establecidos al inicio del presente capítulo (1.325.428 Hab), la producción de RCD diaria por persona (2 kg/día), y el porcentaje de concreto que

hace parte del total de los RCD producidos diariamente en el área metropolitana (20%); deduciríamos que la producción de hormigón o concreto producto de demoliciones, por día, en el área metropolitana de Bucaramanga, es de aproximadamente 530.000 Kg (530 toneladas), lo cual representa un 5,3% del volumen de concreto proveniente de demoliciones producido en Bogotá, y el 8% del producido en la ciudad de México. De ese material, solo el 40% (212 toneladas) es entregado en escombreras autorizadas y el otro 60% es abandonado o depositado ilegalmente.

Actualmente, y apoyados en la experiencia y ejercicio profesional de nuestros colegas civiles y ambientales, cuyo radio de acción laboral es el área metropolitana de Bucaramanga, y en nuestra experiencia profesional, concluiríamos que el área metropolitana de Bucaramanga cuenta con 4 escombreras o sitios de disposición final, autorizadas para descarga de material y alrededor de 20 escombreras que operan ilegalmente. Las escombreras autorizadas por las autoridades ambientales son:

- Escombrera 3 esquinas – municipio de Piedecuesta
- Escombrera del Bosque – municipio de Girón
- Escombrera de relleno sanitario el carrasco - municipio de Bucaramanga
- Escombrera el Doradal – Municipio de Bucaramanga

la disposición en escombreras autorizadas es una solución a corto plazo y no resuelve los problemas causados por los RCD. Un ejemplo de esto es la escombrera el parque, actualmente fuera de servicio, y la encargada en su época de funcionamiento de recibir los RCD de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta; en la cual, mediante el uso de maquinaria pesada, se compactaban y apilaban los materiales hasta que el volumen depositado alcanzo un 100% y tuvo que dejar de recibir material. Dicho esto, lo más viable en términos socioambientales y financieros, es la transformación y reutilización del concreto proveniente de la construcción y/o demoliciones.

el ministerio del medio ambiente y desarrollo sostenible, en la resolución No.0472 del 2017, Capítulo 4, artículo 19, establece que “Los grandes generadores, deberán utilizar RCD aprovechables en un porcentaje no inferior al 2% en peso del total de los materiales usados en obra” (Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible, 2017). En el mismo artículo, y según la categoría del municipio, se establece una fecha de cumplimiento de dicha meta, la cual, para el caso de Bucaramanga, sería a 1ro de enero de 2018. Posterior a esta fecha, los municipios deben garantizar un aumento del 2% anual, hasta alcanzar mínimo un 30% de RCD aprovechables del peso total de los materiales usados en obra.

7.3. PROPUESTA TECNICA PLANTA RCD

Teniendo en cuenta los capítulos anteriores, 5 (Plantas de tratamiento RCD) y 6 (experiencias previas), la normatividad vigente y los requerimientos municipales y nacionales, se procede a presentar una propuesta técnica para el manejo y control del concreto proveniente de construcciones o demoliciones, con el fin de implementar una planta de tratamiento RCD, en el área metropolitana de Bucaramanga, que genere una opción o alternativa para el aprovechamiento de estos residuos, mediante la transformación de los mismos.

7.3.1. Tipología de la planta

Considerando los volúmenes de concreto procedentes de construcciones o demoliciones, producidos diariamente en el área metropolitana de Bucaramanga (530 toneladas/día), los diversos puntos de suministro de RCD (obras públicas o privada en demolición, escombreras, etc.) y teniendo como base teórica los conceptos establecidos en el capítulo 5 y las experiencias alrededor del mundo del capítulo 6, del presente documento, se propone una planta Fija de nivel tecnológico 3. De igual manera, los equipos empleados para la transformación de los RCD en agregados reutilizables pueden ser llevados al lugar de demolición (si la obra donde los RCD reutilizados van a ser incorporados es cerca) o directamente al punto de ejecución del proyecto, con el fin de procesar el concreto reciclado *in situ*, y mitigar

el impacto ambiental que representa la movilización de volquetas y/o camiones, y los costos por transporte.

7.3.2. Ubicación

Basados en la distribución espacial de los municipios que conforman el área metropolitana de Bucaramanga (Floridablanca, Girón, Piedecuesta y Bucaramanga), Fig. 20; lo recomendado es que la planta se ubique en un punto medio y equidistante entre los municipios, el cual sea de fácil acceso de volquetas, camiones y maquinaria pesada, y que no esté dentro del casco urbano de ninguno de los 4 municipios, con el fin de evitar afectaciones por material particulado desprendido durante el procesamiento del concreto (debe controlarse la retención de polvo dentro de la planta mediante aspersores de agua y cortinas forestales, evitando que el polvo salga de la planta de tratamiento causando daño ambiental), y problemas en la movilidad de las volquetas o camiones que entran y salen de la planta. Se sugiere como punto idóneo para la operación de la planta RCD, un predio cercano al sector denominado la zona industrial, perteneciente al municipio de Girón o de características similares.

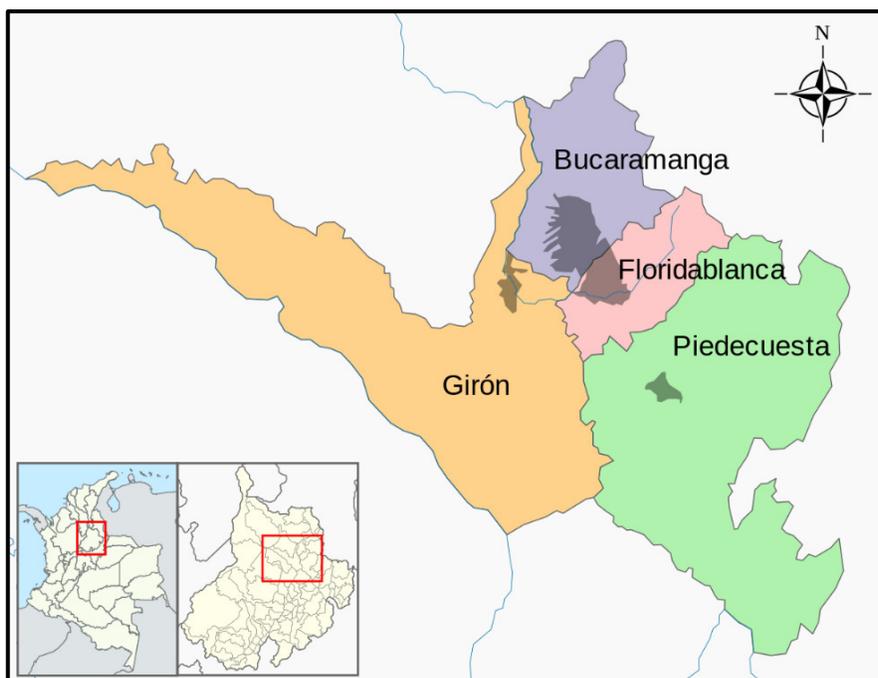


Figura 20 - Mapa área metropolitana de Bucaramanga; Fuente: Wikipedia

7.3.3. Características del predio

El área del predio depende directamente del volumen de material a tratar diariamente en la planta de tratamiento de RCD, lo cual influye directamente en los equipos y maquinaria empleada, área de operación, zonas de almacenamiento y acopio, y en el área de ensayos y laboratorio. En las plantas estudiadas en el capítulo de experiencias previas, se establece que estas tienen una capacidad instalada de operación y producción de 2000 toneladas por día, aunque el volumen real tratado diariamente oscila entre las 200 ton y 300 ton de concreto reciclado. Estas plantas manejan un promedio de 1 m² por 60 kg de material ingresado, según lo evidenciado a lo largo de la investigación, en lo que respecta al montaje de estas.

Teniendo en cuenta la cantidad de residuos de concreto proveniente de la construcción o demolición, producido diariamente en el área metropolitana de Bucaramanga (530 Ton) y los kilogramos de concreto aceptable por metro cuadrado de terreno, se determinó que el área en planta del predio debe estar entre los 8.800m² y 10.000m², con cerramiento forestal perimetral. Lo anterior, con el fin de dar cumplimiento a los procesos de recepción, almacenamiento, transformación, ensayos y acopio, que demanda una planta RCD fija de nivel tecnológico 3 (numeral 7.3.1.).

Los valores o cantidades antes mencionadas se derivan de la investigación realizada a las plantas de tratamiento analizadas en el capítulo 6, de características similares a la planteada en el presente capítulo, ya que no se encontró documentación definitiva referente a las áreas mínimas para el montaje de plantas fijas RCD.

7.3.4. Procesos en planta

Basados en los procesos identificados en las plantas de tratamiento de México (CONCRETOS RECICLADOS S.A.), Colombia (RECICLADOS INDUSTRIALES DE

COLOMBIA S.A.S.) y España (RECICLADOS LA TINCHERA S.L.), capítulo 6; se establecen para la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana los siguientes:

- Recepción, clasificación y almacenamiento
- Limpieza
- Ensayos de laboratorio
- Reducción de tamaño
- Separación magnética y trituración 1
- Clasificación granulométrica
- Trituración 2 y clasificación granulométrica 2
- Cono de trituración (según tamaño del agregado)
- Acopio y despacho de material

Los procesos antes citados, poseen en mismo orden y objeto que los llevados a cabo en las plantas de tratamiento RCD, estudiadas en el capítulo de experiencias previas, numeral 6.1.1. Además, cumplen con lo establecido en el capítulo 2, de la resolución 0472, expedida por el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible de Colombia (Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible, 2017), concerniente al aprovechamiento de los RCD y áreas de operación.

En la Fig. 21 se puede evidenciar el diagrama de procesos llevados a cabo en las plantas RCD de nivel tecnológico 3, estudiadas en el capítulo 6 y propuesta para ser implementada en el área metropolitana de Bucaramanga, como alternativa de transformación de los RCD en agregados gruesos y finos.

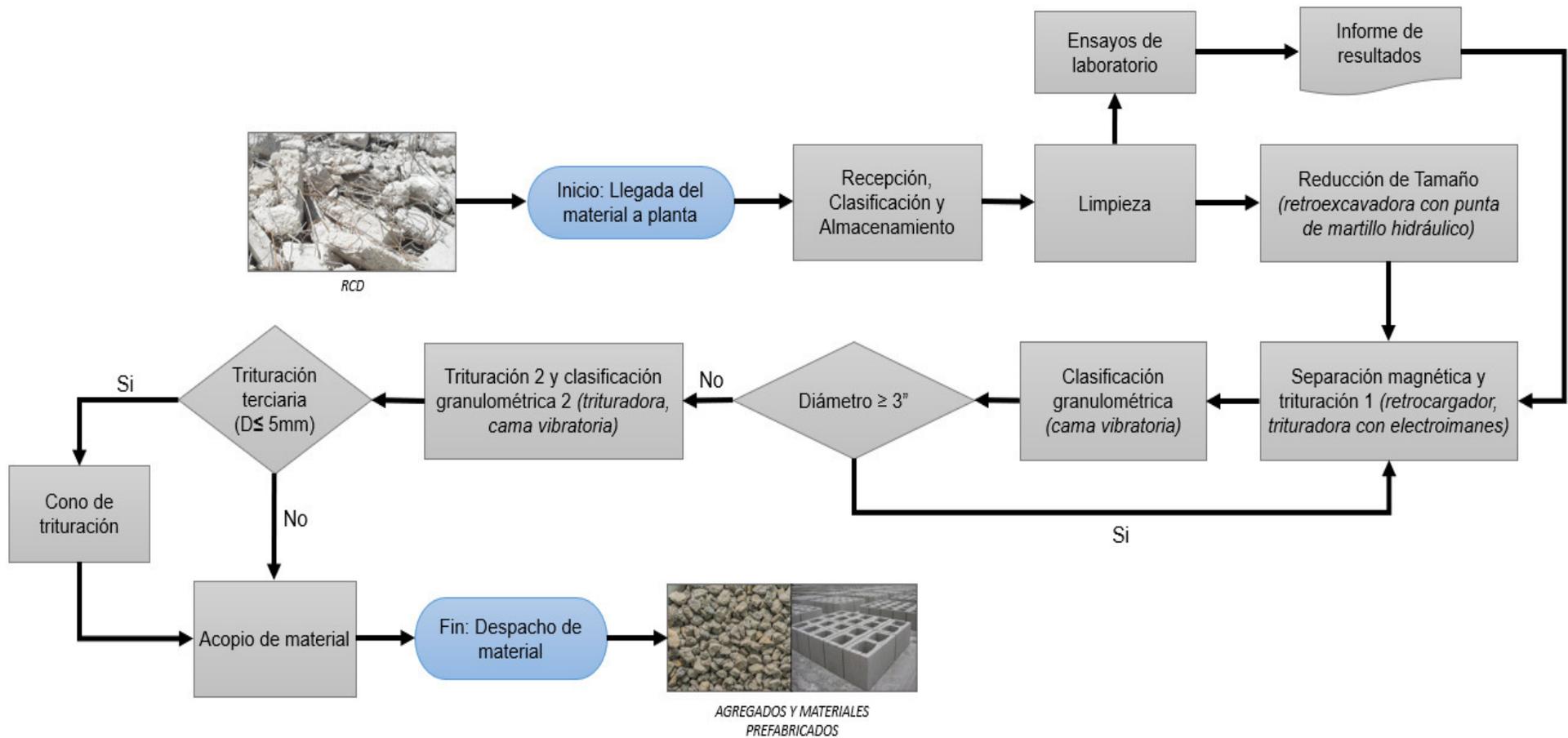


Figura 21 - Diagrama de procesos plantas RCD Área metropolitana de Bucaramanga (fija, nivel tecnológico 3); Fuente: autores del documento

7.3.5. Material para producir

Como se pudo evidenciar en los numerales del capítulo anterior, **Material producido**, para cada una de las plantas RCD estudiadas, existe una gran diversidad de material a producir a partir del concreto reciclado, pero esto depende en gran medida de las necesidades que el sector de la construcción local demande. Se propone como punto de partida la producción de 8 tipos de agregado de diferente diámetro, que, según las experiencias de los constructores del sector, y la de los autores del presente documento, son los más empleados en el área metropolitana de Bucaramanga. Estos agregados son:

- **Grava diámetros 1 1/2" - 1" - 1/2" - 3/4" - 3/8"**: concretos, mezclas asfálticas, rellenos, filtros, prefabricados, etc.
- **Base granular**: Su principal uso se da en la conformación de estructuras de pavimento.
- **Subbase granular**: Se emplea como capa en la instalación de pavimentos asfálticos y de concreto.
- **Arena**: morteros, grouting, prefabricados, filtros, concretos de alta resistencia, etc.

7.3.6. Maquinaria y equipo requerido

Con el fin de dar cumplimiento a los procesos para la transformación del concreto proveniente de demoliciones y construcción, en agregados finos y gruesos, y poder producir el material propuesto en el numeral 7.3.5., se propone como maquinaria y equipos mínimos requeridos, para el funcionamiento de una planta RCD, en el área metropolitana de Bucaramanga, el siguiente:

- Equipo de trituración primario y/o secundario para obtención de agregados gruesos

- Cono de trituración para obtención de finos ($D \leq 5\text{mm}$), o equipo de trituración terciario
- Cama vibratoria o criba (tamices según material a producir)
- Retrocargador con punta de martillo hidráulico
- Aspiradoras para eliminación de papel o material liviano
- Instrumentos para toma de cilindros de concreto

Según lo evidenciado en las planta Reciclados industriales, de la ciudad de México, estudiada en el capítulo 6, se observó la implementación de una trituradora de marca McCloskey y referencia C38R, el cual es un equipo integral, computarizado y operado a control remoto, la cual dentro de sus características permitía la trituración para la obtención de agregados gruesos y finos (hasta 10mm por medio de cono incorporado), recirculación del material, clasificación granulométrica, separación magnética y contaba con un sistema de aspersion para la mitigación de polvo o material particulado producido durante su operación.

Se recomienda como equipo de trituración, la implementación de un equipo similar al McCloskey 144 (Fig.22), el cual tritura, criba, recircula el material, y es el ideal para el volumen a manejar en una ciudad con la producción de concreto proveniente de construcciones y demoliciones como Bucaramanga.



Figura 22 - trituradora McCloskey 144; Fuente: interempresas.net

Para la obtención de finos con diámetros menores o iguales a 5mm, se recomienda la incorporación dentro del proceso, de una trituradora de cono Symons de cabeza corta (Fig.23), independiente, y con características similares a la VIPEAK WKS-75-D, la cual alcanza diámetros de agregados de hasta 3mm.



Figura 23 - trituradora de cono VIPEAK WKS-75-D; Fuente: vipeakgroup.com

Para las actividades de carga de material a la tolva de trituración y acopio de este, y para la fase de reducción de tamaño del concreto reciclado ingresado a planta, se propone incorporar una maquina tipo retrocargador, de llantas, similar al modelo 420D de Caterpillar (Fig. 24), con accesorio adicional de punta de martillo hidráulico.



Figura 24 - Retrocargador Caterpillar 420D; Fuente: zonapesada.com

Para la eliminación de papel o material liviano que se aloja en el RCD ingresado a planta, por medio de succión, en el proceso inicial de *limpieza*, se recomienda la implementación de una aspiradora similar a las ofrecidas por la marca Stanley, con capacidad de trabajo húmedo/seco, potencia mínima 4HP y capacidad de almacenaje del material recogido no inferior a 6 galones.

Referente a los ensayos de laboratorio, se sugiere que inicialmente esta parte del proceso sea realizada por una empresa independiente, a la cual se le suministrará muestras del material ingresado a planta, para que ellos realicen los ensayos de diseño de mezcla y compresión; y por medio de informes, se den a conocer los resultados del tipo de material que se posee, determinándose así, el uso o disposición que se le dará a este.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se realizó una revisión bibliográfica extensa, la cual incluyó la problemática actual de los RCD en el ámbito local, nacional e internacional, los tipos de planta de tratamiento RCD y sus niveles tecnológicos, y las experiencias de plantas de tratamiento internacionales (México y España) y nacionales, en el control, manejo y aprovechamiento del concreto proveniente de la construcción y demolición, estableciendo los procesos, materiales producidos, participación en proyectos y los resultados obtenidos durante el funcionamiento de estos centro de reciclaje y transformación.
- Teniendo en cuenta la investigación realizada a las plantas de tratamiento de RCD de México (CONCRETOS RECICLADOS S.A.), Colombia (RECICLADOS INDUSTRIALES DE COLOMBIA S.A.S.) y España (RECICLADOS LA TINCHERA S.L.), en el capítulo 6; se concluyó que los procesos llevados a cabo en estas son similares y obedecen a la obtención de agregados con características físicas y mecánicas de igual naturaleza. Por lo anterior, se tomaron dichos procedimientos como guía en el desarrollo de la propuesta técnica para la implementación de una planta de tratamiento RCD, en el área metropolitana de Bucaramanga (capitulo 7, numeral 7.3), los cuales obedecen a parámetros de eficiencia en los procesos y seguridad en el punto de operación.
- En el numeral 7.3, del presente documento, se establece una propuesta técnica para el control, manejo y aprovechamiento del concreto proveniente de la construcción o demoliciones (RCD), generando una opción o alternativa que permita la transformación de estos residuos en materiales eficientes y de bajo impacto socioambiental, para los municipios que hacen parte del área metropolitana de Bucaramanga, (Floridablanca, Girón Piedecuesta, Bucaramanga).

- Como alternativa para el control, manejo y transformación de los residuos de concreto proveniente de la construcción y demolición, en el área metropolitana de Bucaramanga, se propone la implementación de una planta Fija de nivel tecnológico 3, con un área para su operación entre los 8.800m² y 10.000m², la cual inicialmente operara a partir de la recepción del material en la planta, y con procesos de: clasificación y almacenamiento inicial y final, limpieza, trituración a diferentes tamaños de agregado (gruesos y finos), clasificación granulométrica, ensayos de laboratorio y despacho de material.

- Es de gran importancia, y a manera de reflexión derivada del presente documento, la implementación de una planta de tratamiento RCD en el área metropolitana de Bucaramanga, que permita la transformación de los residuos de concreto, en agregados gruesos y finos reutilizables, generando alternativas socioambientales viables, y haciendo que las actuales escombreras sean gestores de residuos, uniéndolas al proceso, y haciendo que funcionen eficazmente en el proceso de reciclaje acá expuesto.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía Mayor de Bogotá, D. (29 de 12 de 2015). Decreto No.586. *Decreto No.586*. Bogota D.C., Cundinamarca, Colombia.
- amb. (s.f.). *amb*. Obtenido de amb: <https://www.amb.gov.co/mision-vision-principios-y-valores/>
- ARENAS CABELLO, J. (2007). El impacto ambiental en la construcción industrial. Criterios para una construcción sostenible. En *Tesis de doctorado. Departamento de Ingeniería de Construcción y Fabricación*, (pág. pp. 300). España: Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED).
- ARENAS CABELLO, J. (2007). El impacto ambiental en la construcción industrial. Criterios para una construcción sostenible. . En *Tesis de doctorado. Departamento de Ingeniería de Construcción y Fabricación*. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED).
- Arenas Ceballo, F. J. (2007). El impacto ambiental en la construcción industrial. Criterios para una construcción sostenible. En *Tesis de doctorado. Departamento de Ingeniería de Construcción y Fabricación*. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED).
- BANCO MUNDIAL. (15 de diciembre de 2015). *BANCO MUNDIAL*. Obtenido de BANCO MUNDIAL:
<https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2015/12/15/latin-american-cities-competitiveness>
- BOGOTÁ, S. D. (2014). *Guía ambiental para la elaboración del plan de gestión integral de residuos de construcción y demolición - RCD en la obra*. Bogota.
- CEDEX, m. d. (2015). *CEDEX*. Obtenido de CEDEX:
<http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/35/residuos-de-construccion-y-demolicion/197/volumen-y-distribucion-.html>
- Concretos Reciclados S.A (facebook). (2017). *Concretos Reciclados S.A. de C.V (facebook)*. Obtenido de Concretos Reciclados S.A. de C.V (facebook):
<https://www.facebook.com/Concretos-Reciclados-SA-DE-CV-237968782932548>
- Concretos Reciclados S.A. (2019). *Concretos Reciclados*. Obtenido de Concretos Reciclados: <http://www.concretosreciclados.com.mx/>
- DANE. (2010). *Informacion Estadistica - Proyecciones de población municipales por area (Colombia)*. Bogotá D.C. Obtenido de DANE:
<https://www.dane.gov.co/>

- ECONSTRUCTION. (2018). *ECONSTRUCTION*. Obtenido de ECONSTRUCTION: <https://econstruction.co/>
- EMPAS. (2016). *Plan estrategico de gestion 2016-2020*. Bucaramanga.
- FERNÁNDEZ GÓMEZ, R. (2017). Situación actual y previsiones del sector de la construcción a nivel internacional, europeo y nacional. Vigo (Pontevedra): Construdata21.
- Fernandez, R. (2017). Situación actual y previsiones del sector de la construcción a nivel Internacional, Europeo y Nacional. *Construdata21*.
- Fueyo casado, L. (2012). *mejoras tecnologicas en el reciclado de residuos de construcción y demolición (RCD)*. Madrid, España: Tesis Doctoral.
- GUARÍN, G. (. (2015). *Lineamientos ambientales para los Centros de Tratamiento y Aprovechamiento de RCD. Guía Técnica Ambiental para la Formulación del Plan de Gestión de RCD en Obra*. Bogota: Secretaria Distrital de Ambiente.
- IRESIDUO. (2018). *iresiduo*. Obtenido de iresiduo: <https://iresiduo.com/noticias/ismedioambiente/18/05/14/residuos-construccion-y-demolicion-rcd-apostando-adecuada-gestion#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20de%20RCD%20en,se%20gestionan%20en%20plantas%20autorizadas>.
- LABRINCHA J, DING Y. BRITO J. (2013). Handbook of recycled concrete and demolition waste. Philadelphia: Woodhead.
- Labrincha, J., Ding, Y., & Brito, J. (2013). Handbook of recycled concrete and demolition waste. Philadelphia: Woodhead.
- Martínez Albornoz, G. (22 de julio de 2019). *Ingenieria & Construcción*. Obtenido de Ingenieria & Construcción: <https://www.ingenieriaconstruccioncolombia.com/>
- Martinez, W. (2015). Concreto reciclado: una revisión. *ALCONPAT [online] vol.5*, pp.235-248.
- MARTINEZ-MOLINA, W. (2015). Concreto reciclado: una revisión. . *ALCONPAT [online] vol.5*, pp.235-248.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2017). *Minambiente*. Obtenido de Minambiente: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros>
- Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible. (2017). *Resolucion No.0472*. Bogotá D.C.

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Minambiente reglamenta manejo y disposición de residuos de construcción y escombros*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros>.
- OSSA, M., PEREZ BURGOS, J., CASTRO, R. (2019). Impactos económicos de proyectos de renovación urbana en Bogotá: un análisis a partir de los multiplicadores de la SAM 2010. *desarro. soc. no. 77, bogotá, segundo semestre de 2016*, pp. 81 - 130.
- PACHECO BUSTOS, C, y FUENTES PUMAREJO, L, y SÁNCHEZ COTTE, E, y RONDÓN QUINTANA, H. ((2017)). *Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión. Ingeniería y Desarroll*. Barranquilla.
- PACHECO BUSTOS,C, FUENTES PUMAREJO, L, SÁNCHEZ COTTE, E, RONDÓN QUINTANA, H. (2017). Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión. *Ingeniería y Desarrollo, vol. 35, núm. 2*.
- Pacheco, C. A., Fuentes, L. G., Sanchez, E. H., & Rondón, H. (2017). Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión. *Ingeniería y Desarrollo, vol. 35, núm. 2*.
- Pogotech. (2017). *Cifras mundiales acerca del procesamiento de RCD – Residuos de la construcción y demolición*. Obtenido de pogotech.eu.
- POGOTECH. (2017). *Cifras mundiales acerca del procesamiento de RCD – Residuos de la construcción y demolición*. Obtenido de pogotech.eu.
- Públicos, U. A. ((2015)). *Escombros Cero*. Bogota.
- Reciclados Industriales. (2019). *Reciclados Industriales*. Obtenido de Reciclados Industriales: <https://recicladosindustriales.co/index.php>
- Reciclados la trinchera. (marzo de 2018). *Reciclados la trinchera*. Obtenido de Reciclados la trinchera: <https://recicladoslatrinchera.com/>
- Residuos Profesional. (2017). *Residuos Profesional*. Obtenido de Residuos Profesional: <https://www.residuosprofesional.com/rcd-espana-plantas-autorizadas/>
- RETEMA. (2015). *Revista tecnica del medio ambiente*. Obtenido de Revista tecnica del medio ambiente: <https://www.retema.es/>
- REYES, L. ((2012)). *Marco Normativo General Internacional y Local para la Gestión de los Residuos de la Construcción, Demolición y Escombros*.

Obtenido de <http://ambientebogota.gov.co/documents/664482/0/Lucila-Reyes-SDA.pdf>

Reyes, P., Forero, A., & Figueroa, K. (diciembre de 2019). *Vanguardia liberal*. Obtenido de Vanguardia liberal: <https://www.vanguardia.com/especiales-vanguardia/contenido/construccion/construccion-en-el-area-metropolitana.html>

Rodriguez-Avello, A., & Iainez Arribas, L. F. (03 de 08 de 2018). *ConcetOnline - Criterios de Diseño de Plantas y Selección de equipos para el Reciclaje de RCD*. Obtenido de ConcetOnline - Criterios de Diseño de Plantas y Selección de equipos para el Reciclaje de RCD: <https://www.concretonline.com/rcd-demolicion/criterios-de-diseno-de-plantas-y-seleccion-de-equipos-para-el-reciclaje-de-rcd>

Romero Mendoza, H. I. (2004). *Viabilidad técnica y económica del uso del concreto reciclado como agregado*. Bogotá D.C.

Secretaria del Medio Ambiente. (2004). NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL NADF-007-RNAT-2004. México D.F., México.

Secretaria distrital de Ambiente. (2012). *RESOLUCIÓN No. 01115*. Bogotá D.C.

SOSTENIBLE., C. M. ((2018)). *Minambiente reglamenta manejo y disposición de residuos de construcción y escombros*.

SOSTENIBLE., C. M. (2018). *Minambiente reglamenta manejo y disposición de residuos de construcción y escombros*.

Tello Gonzales, S. (23 de junio de 2017). *patrimonio, urbanismo y medio ambiente*. Obtenido de patrimonio, urbanismo y medio ambiente: [https://blogs.upm.es/puma/2017/06/23/plantas-de-gestion-de-residuos-de-construccion-y-demolicion-rcd/#:~:text=Plantas%20de%20gesti%C3%B3n%20de%20residuos%20de%20construcci%C3%B3n%20y%20demolici%C3%B3n%20\(RCD\),-23%20junio%2C%202017&text=Una%20planta%20RCD%](https://blogs.upm.es/puma/2017/06/23/plantas-de-gestion-de-residuos-de-construccion-y-demolicion-rcd/#:~:text=Plantas%20de%20gesti%C3%B3n%20de%20residuos%20de%20construcci%C3%B3n%20y%20demolici%C3%B3n%20(RCD),-23%20junio%2C%202017&text=Una%20planta%20RCD%20)

Vanguardia, L. (Junio de 2019). *Vanguardia Liberal*. Obtenido de <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/solo-se-aprovecha-el-2-de-los-residuos-generados-en-el-area-metropolitana-de-bucaramanga-EJ1083060>

wikipedia. (2019). *wikipedia*. Obtenido de wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81rea_metropolitana_de_Bucaramanga