



**TRABAJO DE GRADO**

**FORMULACIÓN DE UN PLAN DE GESTIÓN PARA EL USO DE AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO EN  
CONCRETOS HIDRÁULICOS PARA UNA EMPRESA CONSTRUCTORA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ**

**FABIÁN MAURICIO RODRÍGUEZ LOZANO**  
**CÉSAR LEONARDO TERÁN CASTRO**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE OBRAS**  
**BOGOTÁ D.C. NOVIEMBRE DE 2018**

**Atribucion No Comercial 2.5 (CC BY-NC 2.5)**



## Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

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

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

### Usted es libre de:



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

### Bajo las condiciones siguientes:



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



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

## Tabla de contenido

|   |    |
|---|----|
| Introducción .....  | 5  |
| 1 Generalidades .....   | 6  |
| 1.1 Línea de Investigación .....  | 6  |
| 1.2 Planteamiento del Problema .....  | 6  |
| 1.2.1 Antecedentes del problema.....  | 7  |
| 1.2.2 Pregunta de investigación.....  | 7  |
| 1.2.3 Variables del problema .....  | 8  |
| 1.3 Justificación .....   | 8  |
| 1.4 Objetivos .....   | 9  |
| 1.4.1 Objetivo general.....   | 9  |
| 1.4.2 Objetivos específicos.....  | 9  |
| 1.5 Cronograma.....   | 9  |
| 1.6 Presupuesto .....   | 10 |
| 2 Marcos de referencia .....  | 12 |
| 2.1 Marco teórico.....  | 12 |
| 2.2 Marco conceptual .....  | 13 |
| 2.2.1 Plan de gestión .....   | 13 |
| 2.2.2 Componentes generales y lineamientos base para la formulación de un plan de gestión |    |
| 14  |    |
| 2.2.3 Residuos de Construcción y Demolición - RCD .....                                   | 14 |
| 2.2.4 Aprovechamiento de los RCD .....  | 17 |
| 2.3 Estado del arte .....   | 18 |
| 2.3.1 Concretos hidráulicos con RCD .....   | 18 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 2.3.2 | Propiedades mecánicas de los concretos adicionados con ACR .....   | 20 |
| 2.3.3 | Propiedades de durabilidad de los concretos adicionados con ACR .....  | 20 |
| 2.3.4 | Beneficios del uso de ACR en concretos .....   | 21 |
| 2.3.5 | Aplicación de planes de gestión.....   | 22 |
| 2.4   | Marco legal.....   | 22 |
| 2.4.1 | Normatividades ambientales aplicables para la ciudad de Bogotá.....  | 22 |
| 2.4.2 | Normatividades técnicas aplicables para la producción de concretos y sus componentes                               |    |
|       | 23   |    |
| 3     | Metodología.....   | 24 |
| 3.1   | Fases del trabajo de grado .....   | 24 |
| 3.2   | Instrumentos o herramientas utilizadas.....  | 25 |
| 3.3   | Población y muestra.....   | 25 |
| 3.4   | Alcances y limitaciones .....  | 26 |
| 3.5   | Productos a entregar.....  | 26 |
| 3.6   | Descripción de resultados esperados e impactos.....  | 26 |
| 4.    | RESULTADOS.....  | 28 |
| 4.1   | REVISIÓN DE DOCUMENTAL DE LA GESTIÓN DE LOS ACR PARA LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO.....                     | 28 |
| 4.2   | USO DE ACR EN CONCRETO HIDRÁULICO: DOS PERSPECTIVAS DE LA REALIDAD EN LOS PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN EN BOGOTÁ..... | 35 |
| 4.3   | LINEAMIENTOS Y CAPÍTULOS PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN .....   | 39 |
| 5.    | CONCLUSIONES.....  | 43 |
| 5.1   | NUEVAS ÁREAS DE ESTUDIO.....   | 44 |
|       | REFERENCIAS .....  | 46 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Gráfico comparativo de generación de residuos de construcción y demolición por parte de las entidades del sector público en Bogotá [14, p. 17] .....               | 15 |
| Figura 2. Clasificación de aportes de residuos de construcción y demolición por localidad en Bogotá, [15, p. 59].....  | 16 |
| Figura 3 Resumen oferta escombros dada por el sector Público y Privado. [16].....  | 17 |
| Figura 4. Fases del proyecto de grado. Elaboración propia.....   | 24 |
| Figura 5. Lineamientos desde la revisión documental para el plan de gestión para el uso de agregados de concreto reciclado en concretos hidráulicos. Elaboración propia..... | 35 |
| Figura 6. Lineamientos para el uso de ACR en concreto hidráulico. ....   | 40 |

## LISTA DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Cronograma.....   | 10 |
| Tabla 2. Presupuesto global de la propuesta por fuentes de financiación (\$COP - miles). ....                                      | 10 |
| Tabla 3 Alternativas de gestión de uso de residuos [21].....   | 17 |
| Tabla 4 Pasos generales para la obtención de los ACR [25] .....  | 19 |
| Tabla 5 Influencia de los diferentes parámetros en la durabilidad de concretos con ACR.....  | 21 |
| Tabla 6. Cuadro comparativo de la generación de residuos de construcción y demolición para el año 2013 en Colombia [34, p. 5]..... | 28 |
| Tabla 7. Cálculo estimativo de RCD producidos en obra [35] .....   | 29 |
| Tabla 8. Estructura de trabajo para el uso de ACR en concreto reciclado .....  | 30 |
| Tabla 9. Equipo para el procesamiento de RCD para agregados [36] .....   | 31 |
| Tabla 10. Reducción porcentual de agregado reciclado vs agregado natural [37], p.45. ....  | 32 |
| Tabla 11. Análisis comparativo del presupuesto para la elaboración de concreto con base a elementos naturales y reciclados .....   | 32 |
| Tabla 12. Ensayos a muestras de RCD. [36, p. 26] .....   | 34 |
| Tabla 13. Formulación de un plan de gestión para el uso de agregados de concreto .....   | 40 |

## INTRODUCCIÓN

En Bogotá muy pocas firmas constructoras generan planes de gestión para sus proyectos que integren las funciones propias de una obra con las actividades y la organización de la firma. En ese sentido, un plan de gestión es una herramienta práctica que facilita la gestión de recursos, tiempos y personal empleados con un propósito, ya sea un proyecto en específico o el funcionamiento dentro de algún área en una firma. Teniendo presente que en la construcción de edificaciones uno de los elementos más importantes es el concreto hidráulico, las alternativas para optimizar sus propiedades y costos han sido analizadas constantemente por la comunidad académica.

Con base en lo anterior, y debido a la necesidad de reducir la contaminación y los residuos generados por las actividades asociadas con el concreto, recientemente se han utilizado agregados de concreto reciclado (ACR) como reemplazo del agregado natural, los cuales pueden disminuir los costos de producción de concreto y generar beneficios medioambientales al reducir la cantidad de canteras necesarias para abastecer la demanda y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas con la producción y transporte de concreto hidráulico.

El objeto de este proyecto fue generar la formulación de un plan de gestión que sirviera como guía para las empresas de construcción que deseen utilizar ACR en sus concretos hidráulicos. La idea principal permitió trazar directrices indicando los aspectos relevantes que permiten integrar no solo los análisis y controles propios de la obra, sino que también a la organización como tal y sus cadenas de procesos y decisiones en aras de optimizar el uso de concretos hidráulicos dentro de los proyectos que genere la firma.

Para el desarrollo de esta formulación, se realizó análisis de datos relacionados con residuos de construcción y demolición (RCD) y análisis de los costos asociados con la producción directa de concretos adicionados con ACR. Así mismo y para la identificación de las variables y definición de los capítulos y componentes que se deben tener en cuenta para los lineamientos de la formulación de un plan de gestión para el uso de los ACR, se realizaron entrevistas a profesionales de la construcción, quienes aportaron a partir de su experiencia a la identificación de las variables a incluir y permitieron esclarecer mejor los procesos de manejo y aprovechamiento de los RCD y ACR.

## **1 GENERALIDADES**

### **1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Gestión integral y dinámica de las organizaciones empresariales.

### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Un plan de gestión es una herramienta práctica que facilita el control de un proyecto, un área específica o un ciclo dentro de una organización. En general, al formular un plan se deben incluir elementos como la gestión de recursos, tiempos y personal aplicados hacia alguno de los propósitos mencionados anteriormente, los cuales buscan ser dinámicos y funcionar como elementos de control, evolucionando y adaptándose a las condiciones de los entornos respecto al tiempo [1] [2]. Estos planes pueden ser aplicados a todo tipo de proyectos y organizaciones, a tal punto que los mismos pueden ser desarrollados en temas más específicos, buscando detalles en sus procesos, como por ejemplo planes de gestión de riesgos, planes de gestión ambiental, planes de gestión organizacional, entre otros [3].

En el campo de la construcción, la optimización de recursos se torna importante debido a las incertidumbres propias que se puedan presentar, que dependen en su gran mayoría del factor humano debido a la poca automatización de procesos. En ese sentido, los planes de gestión generan apoyo y control superiores a los métodos tradicionales, los cuales se soportan en corroborar avances a través de la programación y el presupuesto. Sin embargo, diferentes elementos de la gestión de recursos son importantes a tener en cuenta por parte de estas empresas, como lo son insumos, maquinaria, equipos y mano de obra, los cuales suelen ser analizados a través de metodologías manuales que requieren tiempos prolongados, por lo que un plan de gestión mejoraría los procesos de planeación y control. A pesar de esto, estos planes de gestión están centrados al proyecto como tal, pero no involucran a gran parte de la organización como tal.

Uno de los componentes importantes que se tienen en la construcción de edificaciones, y en general de cualquier proyecto de obra, corresponde al uso de concretos hidráulicos, los cuales pueden llegar a representar entre el 18% y el 40% del valor de un proyecto [4]. Con base en esto, el uso de residuos de construcción y demolición para los concretos hidráulicos puede llegar a tener beneficios económicos y ambientales para las empresas que implementen su uso [5]. Sin embargo, las regulaciones para la ciudad de Bogotá y para la Nación solamente hablan del manejo de los residuos, más no se refieren a profundidad

en su aprovechamiento.

Basados en lo anterior, y teniendo presente que el estudio de las propiedades de concretos adicionados con RCD es un tema llamativo en la comunidad académica, en especial los agregados de concreto reciclado, desde los puntos de vista técnico, económico y ambiental, el posible incremento en el uso de estos materiales dentro de los concretos hidráulicos traería beneficios a las firmas constructoras, con lo cual se hace necesario generar estrategias para su aprovechamiento.

El correcto uso de estos materiales, así como su aprovechamiento, pueden ser proyectados y evaluados a través de un plan de gestión para el uso de agregados de concreto reciclados, el cual no ha sido empleado todavía a este nivel en específico en las diferentes obras en la ciudad de Bogotá, haciendo necesario incursionar en una temática que se encuentra en auge en países europeos y asiáticos y que, como se ha mencionado, genera beneficios para las firmas constructoras, esto como complemento a los planes de gestión de RCD.

### **1.2.1 Antecedentes del problema**

Tanto nacional como internacionalmente, los planes de gestión están altamente asociados con las entidades públicas en la elaboración de planes específicos o por áreas como lo son la ambiental, riesgos, o incluso planes de seguridad en el trabajo. A nivel privado es común encontrar los planes de gestión en campos relacionados como inversión, finanzas o calidad. Ante esto, es escasa la información referente a planes de gestión, más aún en firmas constructoras. Respecto a planes de gestión de aprovechamiento de materiales como los RCD, la información en estas firmas es todavía más escasa, a pesar que para la ciudad de Bogotá existe la resolución 1115 de 2012, que reglamenta las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción y demolición en el Distrito Capital, y que se extrapola a nivel nacional a través del decreto 0472 de 2017 expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y que con base en esta normatividad en 2015 la Secretaría Distrital de Ambiente desarrolló la *Guía para la elaboración del plan de gestión de residuos de construcción y demolición - RCD en la obra*, que consiste en una serie de sugerencias y consideraciones a tener en cuenta por los constructores respecto a procesos, gestiones y evaluaciones de los residuos generados. Sin embargo, y a pesar que se encuentran claras las normatividades para la ciudad de Bogotá, el tema de la generación de un plan de gestión tan específico como lo es el tema del aprovechamiento de los agregados de concreto reciclado para concretos hidráulicos en una empresa de construcción es un tema nuevo, y por ende, carece de información que soporte específicamente la problemática tratada.

### **1.2.2 Pregunta de investigación**

*¿Qué lineamientos se deben considerar dentro de la formulación de un plan de gestión para el uso*

*de agregados de concreto reciclado en una empresa constructora en la ciudad de Bogotá?*

### **1.2.3 Variables del problema**

Con base en los elementos propios de un plan de gestión y en especial para elementos tan específicos como el uso de agregados de concreto reciclado dentro de las mezclas de concreto hidráulico en obra, las variables a analizar para la formulación del plan son las siguientes:

- Componente técnico-administrativo atribuible al proyecto
  - Propiedades físicas, químicas, mecánicas y de durabilidad
  - Fuente de los materiales
  - Transporte
  - Mano de obra
  - Equipos
  - Diseño de mezcla
  - Usos
  - Tiempos de producción
  - Costos directos asociados producción de concretos
- Componente organizacional
  - Riesgos asociados
  - Personal asociado al proceso
  - Procesos internos, tiempos y decisiones gerenciales
  - Costos administrativos
  - Evaluación y control

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

La importancia de los planes de gestión dentro de los diferentes procesos de las organizaciones toma relevancia al ser herramientas de planeación y control que permiten optimizar estos procesos y recursos para los proyectos y áreas en donde se aplican. En este sentido, se ha observado que en muchas de las empresas de construcción no se aplican en general planes de gestión a nivel organizacional para las obras, en donde usualmente se aplican planes específicos de control y monitoreo para cada uno de los proyectos, generando sobrecostos por excesos en tiempos de planeación. Al formular planes de gestión dentro de estas organizaciones para la implementación de sistemas o procesos, o en el caso particular, el uso de un material con beneficios económicos y ambientales, se mejora la planeación al aplicar

procedimientos específicos que se pudiesen emplear en los diferentes proyectos que desarrollan, ya que existe una compenetración de la organización en general y no sólo de la obra en específico. Teniendo presente que la construcción de la estructura de concreto representa un porcentaje considerable del presupuesto y que el uso de agregados de concretos reciclados puede reducir costos, es pertinente determinar los lineamientos que permitan formular un plan de gestión que integre los componentes técnicos propios de los concretos hidráulicos con este tipo de agregados, y los elementos relacionados con la organización, como lo es el personal administrativo y los procesos que se tienen.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general**

Elaborar la formulación de un plan de gestión para el uso de agregados de concreto reciclado en una empresa constructora en la ciudad de Bogotá

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Desarrollar una revisión de los datos estadísticos y de costos asociados a los ACR para la producción de concreto hidráulico
- Elaborar una entrevista semiestructurada dirigida a profesionales de obra respecto al posible uso de ACR
- Determinar los lineamientos y capítulos para la formulación del plan de gestión

## **1.5 CRONOGRAMA**

**Tabla 1. Cronograma**

| Tarea   | Mes 1 | Mes 2 | Mes 2 | Mes 3 | Mes 4 | Mes 5 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Identificación de fuentes de información estadística  | ■     |       |       |       |       |       |
| Adquisición de datos respecto al manejo de RCD y ACR  | ■     |       |       |       |       |       |
| Análisis de datos estadísticos  | ■     |       |       |       |       |       |
| Análisis de costos asociados con la producción de concretos con ACR   |       | ■     |       |       |       |       |
| Formulación entrevista  |       | ■     | ■     |       |       |       |
| Aplicación de entrevista a profesionales de obra  |       |       | ■     |       |       |       |
| Procesamiento respuestas a entrevistas  |       |       | ■     | ■     |       |       |
| Análisis de beneficios de los concretos con ACR   |       |       |       | ■     |       |       |
| Identificación de lineamientos dentro del componente técnico-administrativo a incluir en el plan de gestión |       |       |       |       | ■     | ■     |
| Identificación de lineamientos dentro del componente organizacional a incluir en el plan de gestión         |       |       |       |       | ■     | ■     |
| Definición de los componentes y capítulos a incluirse en la formulación plan de gestión                     |       |       |       |       | ■     | ■     |
| Formulación plan de gestión y presentación del documento  |       |       |       |       |       | ■     |

## 1.6 PRESUPUESTO

Para el desarrollo del proyecto, se prevén los siguientes rubros discriminados en las tablas subsiguientes

**Tabla 2. Presupuesto global de la propuesta por fuentes de financiación (\$COP - miles).**

| Rubro                                | Unidad             | Cantidad                     | Valor unitario<br>(\$COP - miles) | Valor total<br>(\$COP - miles) |
|--------------------------------------|--------------------|------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| <b>1. Personal</b>                   |                    |                              |                                   |                                |
| 1.1 Investigadores <sup>(1)</sup>    | Horas-Investigador | 400                          | \$40                              | \$16.000                       |
| 1.2 Asesores técnicos <sup>(2)</sup> | Horas-Asesor       | 40                           | \$40                              | \$1.600                        |
|                                      |                    | Subtotal capítulo 1 Personal |                                   | \$17.600                       |
| <b>2. Equipos</b>                    |                    |                              |                                   |                                |
| 2.1 Computador de escritorio         | Unidad             | 1                            | \$1.600                           | \$1.600                        |
| 2.2 Computador portátil              | Unidad             | 1                            | \$1.600                           | \$1.600                        |

|  |        |   |                                      |          |
|--|--------|---|--------------------------------------|----------|
| 2.3 Teléfono móvil                                   | Unidad | 1 | \$2.000                              | \$2.000  |
| 2.4 Impresora multifuncional                         | Unidad | 1 | \$500                                | \$500    |
| 2.5 Grabadora de audio                               | Unidad | 1 | \$200                                | \$200    |
| 2.6 Cámara fotográfica                               | Unidad | 1 | \$300                                | \$300    |
|  |        |   | Subtotal capítulo 2 Equipos          | \$6.200  |
| 3. Software  |        |   |                                      |          |
| 3.1 Licencia MS Office                               | Unidad | 1 | \$310                                | \$310    |
|  |        |   | Subtotal capítulo 3 Software         | \$310    |
| 4. Materiales  |        |   |                                      |          |
| 4.1 Insumos papelería                                | Global | 1 | \$300                                | \$300    |
|  |        |   | Subtotal capítulo 4 Materiales       | \$300    |
| 5. Salidas de campo                                  |        |   |                                      |          |
| 5.1 Adquisición de información en entidades públicas | Viaje  | 4 | \$100                                | \$400    |
| 5.2 Visita a entrevista                              | Viaje  | 2 | \$100                                | \$200    |
|  |        |   | Subtotal capítulo 5 Salidas de campo | \$600    |
| TOTAL  |        |   |                                      | \$25.010 |

---

Nota: (1) Los investigadores son el ingeniero civil Fabián Mauricio Rodríguez Lozano y el arquitecto Cesar Leonardo Terán Castro; (2) Los asesores técnicos planteados serán un profesional en desarrollo de planes de gestión cuyo perfil será administrador de empresas, economista y/o gestor de proyectos, y un profesional en producción de concretos cuyo perfil será de un ingeniero civil.

## 2 MARCOS DE REFERENCIA

### 2.1 MARCO TEÓRICO

Los planes de gestión, dada su tipología, se pueden enmarcar dentro de dos grandes grupos teóricos: gestión de proyectos y gestión de organizaciones. Para el desarrollo de los planes de gestión, gestión de proyectos y organizaciones van de la mano complementándose mutuamente, especialmente en el manejo de recursos económicos y humanos. Debido a que tanto la gestión de proyectos como la gestión de organizaciones se mueven en entornos cíclicos, y que dentro de las organizaciones se generan productos o servicios que individualmente pueden ser considerados “proyectos”, y que los mismos han de ser controlados en un periodo determinado, los planes de gestión han de tener componentes, tales como el manejo de recursos, el control y la evaluación del campo o proyecto a ser gestionado, que son atribuibles a cada uno de los componentes anteriormente mencionados.

Con base en lo definido en el PMBOK [6], todo proyecto cumple con un ciclo dividido en cinco grupos de procesos: iniciación, planificación, ejecución, seguimiento y control, y cierre. Dentro de la gestión de proyectos se evalúan y controlan aspectos relevantes como alcance, calidad, cronograma, presupuesto y los recursos que se requieren. Así mismo, se analizan los riesgos asociados, cambios y sus consecuencias, así como las comunicaciones con los interesados, constituidos por personal interno, clientes, proveedores y la comunidad. Dentro de los lineamientos del PMBOK, se divisan guías para la dirección de proyectos, en los cuales el equipo de trabajo debe tener presente que estas guías o planes son iterativos y que se mueven con el desarrollo del proyecto.

Por su parte, debido a que la gestión de proyectos demanda un recurso humano que en algunos casos no está destinado exclusivamente al desarrollo de un proyecto en específico, sino que por el contrario, requiere de la intervención de áreas dentro de la organización (caso financiera o legal), la gestión de organizaciones crea para los empleados una serie de normas a seguir que definen sus funciones dentro del proyecto en específico. En ese sentido, cada organización maneja modelos en los cuales se presentan funciones y objetivos en pro de los proyectos, por lo que históricamente se han presentado diferentes formas de organizar a personal. Sambrook [7] presenta las diferentes escuelas, en las cuales se encuentran la escuela clásica, que busca la eficiencia y el control, una clara distinción entre gerentes y trabajadores con burocracias definidas, buscando personal especializado y con experiencia en cada parte del proyecto (o línea de ensamblaje), o la escuela humanística busca más centrarse en las necesidades individuales, generando motivación para el personal, en donde el trabajador tenía participación activa

dentro de la organización.

## **2.2 MARCO CONCEPTUAL**

### **2.2.1 Plan de gestión**

Un plan de gestión de un proyecto es un documento que detalla lo que generalmente es una vasta cantidad de información en una forma concisa, informativa y bien organizada que puede ser distribuida a todos los miembros del equipo de trabajo y así mismo a los interesados, siendo este uno de los documentos clave requerido por el gerente y su equipo. Enlista las fases y principales parámetros, estándares y requerimientos del proyecto en términos de tiempo, costo, calidad y desempeño. Los métodos y procedimientos representan la estructura de la gestión del proyecto, los cuales son necesarios a través del ciclo de éste [8]. Así mismo, puede ser descrito como un documento sencillo, formal y dinámico que resalta cómo el proyecto será gestionado, ejecutado y controlado, en donde el documento evoluciona con el proyecto y será actualizado para reflejar cambios importantes a través de la ejecución del proyecto [1].

En relación con las firmas, es un diseño sobre la mejor forma de manejar la organización durante sus actividades cotidianas y a largo plazo, incluyendo los métodos convencionales de hacer diversas actividades, tales como administrar el dinero, lidiar con las tareas actuales de la organización, abordar la forma en que las personas de la organización realizan su trabajo, considerando a su vez los marcos general, filosófico e intelectual en el que estos métodos operan [9]. Los planes de gestión dentro de una organización pueden verse como documentos altamente burocráticos y que pueden tomar bastante tiempo en ser desarrollados. Sin embargo, el principio es simple con base a que existen muchas funciones que necesitan ser manejadas y es importante pensar cómo el trabajo será hecho. En consecuencia, el rango y el detalle de los planes de gestión deberán ser consistente con la complejidad del trabajo [10], en donde es la fuente final de control de todos los cambios aprobados al presupuesto, programación objetivo, criterios del éxito y beneficios [1]. Un plan de gestión detallado dentro de una organización funciona de la siguiente manera:

- Define los roles y las relaciones de la junta directiva, el director y el personal
- Prepara a la junta cuidadosamente para elegir al personal
- Analiza lo que debe ser gestionado en la organización (interno: personas, dinero, suministros y equipos; relaciones externas con los stakeholders; metas), todo enfocado a la visión y la filosofía de la organización

- Establece política y procedimientos para cada área de gestión

### **2.2.2 Componentes generales y lineamientos base para la formulación de un plan de gestión**

Los lineamientos si bien pueden ser vistos como una tendencia o dirección, para este caso en específico corresponden a un conjunto de medidas, normas y objetivos dentro de un plan a nivel organizacional o de un proyecto. En este sentido, los planes de gestión son creados de acuerdo con las necesidades del trabajo, definiendo si las funciones apropiadas deben estar unidas en un solo plan o una función debe estar subdividida. De acuerdo con Ray [11], en general un plan de gestión está hecho de tres cosas: 1) actividades - el estado de las tareas, prioridades, tiempos, asignación de recursos humanos y financieros, notificaciones; 2) tareas - los trabajos pequeños que arreglan a un proyecto de mayor envergadura; 3) recursos - lo que se necesita para lograr el cumplimiento de las metas en el proyecto (personal, equipo, ubicación, etc.). Por consiguiente, la OBS Business School [2], enlista una serie de pasos y consideraciones para determinar los lineamientos básicos atribuibles a la formulación adecuada de un plan de gestión, aplicable tanto a proyectos como a organizaciones, lineamientos definidos por cada uno de los equipos de trabajo para el objetivo específico de la formulación que deben estar enmarcados en al menos los siguientes capítulos y componentes (para los casos que apliquen):

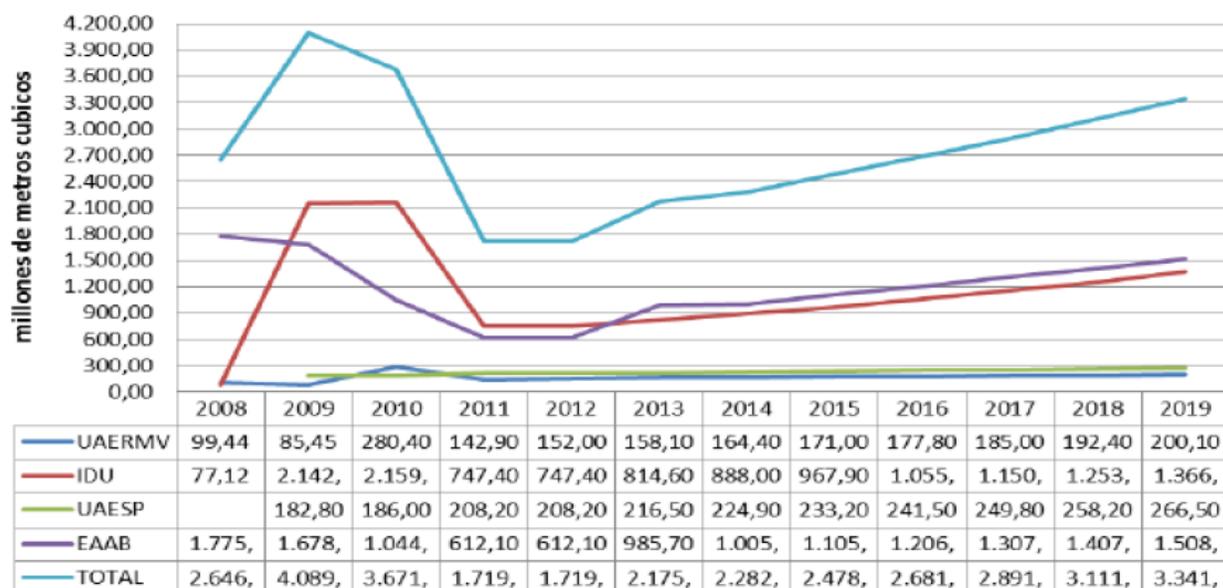
- Integración (punto de partida donde se definen los procesos)
- Alcance: definición de objetivos, entregables, límites y productos
- Gestión de tiempos
- Gestión de costos
- Gestión de calidad
- Gestión de recursos humanos
- Gestión de comunicaciones
- Gestión de riesgos
- Gestión de adquisiciones

### **2.2.3 Residuos de Construcción y Demolición - RCD**

De acuerdo con el decreto 2981 de 2013, los residuos de construcción y demolición (RCD) son aquellos residuos procedentes de las actividades de construcción, reparación o demolición. En este sentido, los residuos procedentes de las obras suelen estar conformados en un 40% a 50% por sobrantes de materiales como concreto, asfalto, ladrillo, bloques y agregados; un 20% a 30% elementos derivados de la madera, y el restante porcentaje de materiales mixtos (vidrios, plásticos y metales, entre otros) [12].

De acuerdo por lo expresado en la investigación de la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos [13] , [14], en el caso de la ciudad de Bogotá, los principales generadores de estos residuos son

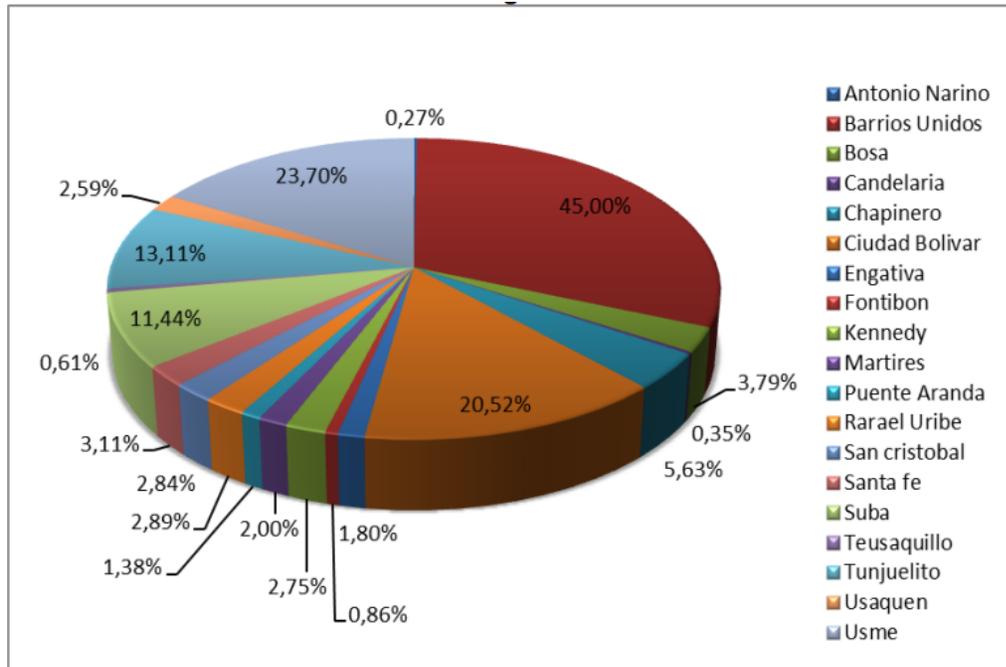
los contratistas públicos, que en conjunto alcanzan poco más del 50% de la producción de RCD para el año 2012, en especial el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) (Ver figura 1); aspecto que se encuentra en continuo crecimiento y se esperan aproximadamente 3.200 m<sup>3</sup> de residuos de construcción y demolición para finales del año 2018.



**Figura 1. Gráfico comparativo de generación de residuos de construcción y demolición por parte de las entidades del sector público en Bogotá [14, p. 17]**

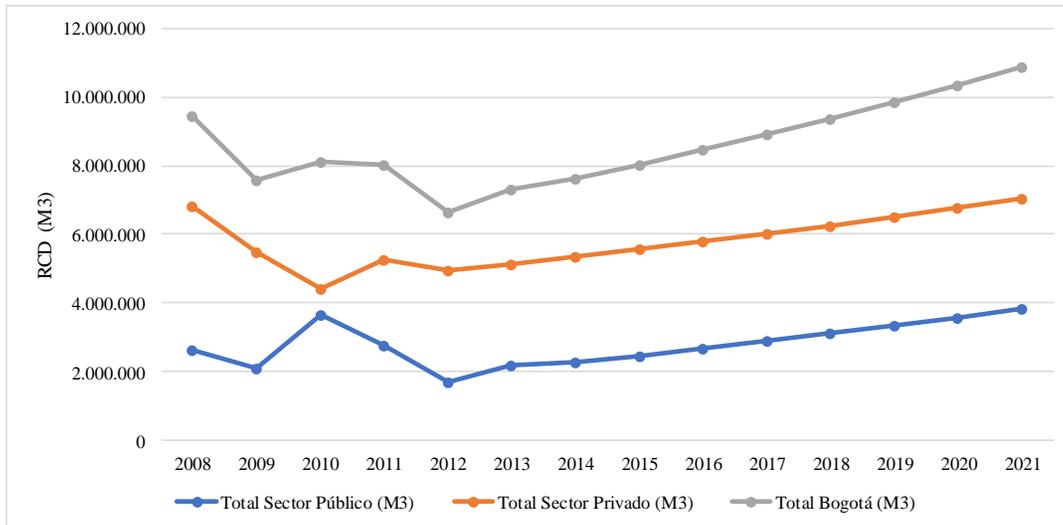
En lo referente al sector privado, se han logrado adquirir datos estadísticos a partir de los censos realizados por el Departamento Administrativo nacional de Estadística DANE y la Cámara Colombiana de la Construcción CAMACOL. Para el año 2009, afirma Gaitán [15], se registró una generación de escombros de aproximadamente 1,42 metros cúbicos por cada metro cuadrado de las edificaciones construidas, lo que ha permitido una producción cercana a los 4.3 millones de metros cúbicos principalmente del asfalto, el concreto, la arcilla, la arena, el lodo, los materiales orgánicos y las rocas.

Sin embargo, de acuerdo a los datos que ofrecen las administradoras de escombros más importantes de la ciudad: Cemex la Fiscala y Cantarrana, tan solo el 10% de los residuos que se reciben a diario en la ciudad de Bogotá provienen realmente residuos de construcción y demolición. Al revisar los aportes de residuos referentes a las localidades de la ciudad, se logró evidenciar que a 2009, las localidades que generaron un mayor aporte de residuos de construcción y demolición fueron Barrios Unidos con un total del 45%, Usme con un total de 23.7% y Ciudad Bolívar con un total del 20.52% (Ver figura 2), en donde se destacan el concreto con 499 toneladas, la tierra con 346 toneladas, el ladrillo con 339 toneladas y la cerámica con 79 toneladas [15].



**Figura 2. Clasificación de aportes de residuos de construcción y demolición por localidad en Bogotá, [15, p. 59]**

Con base en los análisis y proyecciones realizados por la UAESP [16] de la producción de RCD, se estimó un crecimiento constante de la generación de escombros de un 5% anual, teniendo en cuenta que la producción de estos residuos por parte del sector privado correspondería a mínimo un 65% (ver Figura 3), los cuales pueden ser dispuestos en alguno de los 12 sitios autorizados en la ciudad y sus alrededores [17]. Así mismo, por parte de la SDA [18] se realizó la evaluación de los escombros generados por obras de construcción en Bogotá, en el cual se hizo seguimiento a los RCD de 120 mega obras urbanas cuya área era superior a 5.000 m<sup>2</sup> y el control a las zonas de disposición y tratamiento, dando como resultado que en la ciudad de Bogotá se generaron poco más de 32 millones de toneladas de RCD en el periodo entre 2012 y 2016, alcanzando la meta proyectada para este cuatrienio. Estos datos resultan ser importantes para la ciudad ya que se pueden generar políticas para el aprovechamiento y tratamiento de estos materiales.



**Figura 3 Resumen oferta escombros dada por el sector Público y Privado. [16]**

Como se ha logrado observar, la generación de residuos de construcción y demolición en la ciudad, se desarrolla a gran escala permitiendo que se reduzcan los índices de contaminación y destrucción de los recursos naturales y se desarrollen agregados de concreto reciclado, permitiéndole a las organizaciones reducir costos en el desarrollo del cemento hidráulico requerido para las múltiples obras que se tienen planteadas en los años venideros.

#### 2.2.4 Aprovechamiento de los RCD

En cuanto al aprovechamiento y tratamiento de los RCD, la UAESP [16] estimó que cerca de un 37% de los RCD son aprovechados en la ciudad de Bogotá, siendo cifras similares a las presentadas en ciudades como en Cali (45%) y Medellín (30%) [19], y consistentes con lo propuesto por la Secretaria Distrital de Ambiente, que en 2017 evaluó un 25% de aprovechamiento de estos materiales [20]. Con base en lo anterior, la Tabla 3 muestra algunas de las alternativas de gestión de uso de residuos, que ligados a los datos presentados por el DANE del índice de costos de la construcción pesada (ICCP), sus usos estarían embarcados a elementos que pueden representar en las diferentes obras entre un 18% y un 60% de los materiales empleados [4]

**Tabla 3** Alternativas de gestión de uso de residuos [21]

| Residuo   | Alternativa                          |
|-----------|--------------------------------------|
| Concretos | Reutilizar como masa para rellenos   |
|           | Reutilizar como suelos en carreteras |
|           | Reciclar como grava suelta           |

---

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

---

Al analizar el territorio colombiano, para el año 2007 se había logrado un reciclaje de aproximadamente 13 millones de toneladas equivalentes a 0.27 puntos en la relación al concreto reciclado per cápita y 11.38 puntos en la relación de concreto reciclado producido por km<sup>2</sup> de territorio [22].

## **2.3 ESTADO DEL ARTE**

### **2.3.1 Concretos hidráulicos con RCD**

El concreto hidráulico es considerando, en la industria de la construcción, como uno de elementos fundamentales para el desarrollo de sus procesos debido a sus facilidades de manejo y adaptabilidad a las condiciones requeridas por el entorno. Este tipo de concreto se encuentra formado por diferentes recursos naturales de tipo no renovable como lo son la arena y los agregados pétreos que se encuentran

en los ríos del país; recursos cuya tasa de reposición es sumamente elevada, lo que ha generado la necesidad de regular y disminuir su explotación para cumplir con la normatividad ambiental establecida y reducir el impacto generado en la naturaleza.

Una de las principales soluciones que se han planteado, desde los tiempos de la posguerra del siglo XX, para solventar esta explotación de recursos naturales ha sido el reciclaje de materiales de construcción, el cual ha sido objeto de múltiples investigaciones especialmente desde finales del siglo XIX cuando el concreto hidráulico se hizo presente en el continente americano. Con base en lo observado en la Tabla 2-1, muchos elementos pueden ser reutilizados, y uno de ellos son los concretos. Se ha identificado que los principales usos de RCD de concretos son bases, sub bases, concretos hidráulicos y elementos prefabricados de concreto [23], por lo que tienen en el campo de la construcción liviana y pesada un mercado favorable para su aprovechamiento.

En el caso específico de los concretos, los cuales son una mezcla de cemento, agregados (gruesos y finos), agua y eventualmente adiciones [24], cuyo diseño, estándares y propiedades están regidos por la normatividad ACI 318, la Norma Sismo Resistente NSR-10 y la normatividades técnicas NTC, INVIAS y ASTM aplicables para cada uno de sus componentes y propiedades, el uso de agregados de concreto reciclado (ACR) ha tenido cabida en la comunidad académica evaluando las propiedades mecánicas y de durabilidad de los concretos que se fabrican con estos materiales.

Al ser un agregado artificial, los ACR deberán cumplir con las mismas características que un agregado natural para concretos en concordancia con las normas NTC y ASTM aplicables, el cual varía según el tipo de elemento del cual provenga (losas, muros, columnas, vigas) y de los contaminantes que contenga [25]. Por tal motivo, a continuación se enlistan los pasos generales para la obtención de los ACR.

**Tabla 4 Pasos generales para la obtención de los ACR [25]**

| Paso                            | Procedimiento  |
|---------------------------------|--|
| Separación de los contaminantes | Dependiendo su uso, se deben retirar elementos ajenos al concreto como lo son asfaltos, ladrillo, plásticos, materiales sintéticos.  |
| Ruptura y transporte            | Se debe realizar una ruptura especial para proceder a transportarlos hacia el sitio de trituración. De tener el equipo de trituración en sitio, este paso se puede omitir. |
| Trituración de fragmentos       | Se deberán garantizar los tamaños apropiados dependiendo su uso, de conformidad con las  |

### **2.3.2 Propiedades mecánicas de los concretos adicionados con ACR**

Si bien hay estudios que muestran que el uso de los ACR en concretos puede afectar las propiedades de los mismos por no cumplir con características básicas tales como su granulometría [26], hay otros que muestran resultados en los cuales se analizan que el reemplazo adecuado (hasta un 30% de ACR), el uso de adiciones, la modificación de las técnicas de mezclado y el retiro de la mayor proporción de contaminantes pueden incrementar el desempeño mecánico y de durabilidad [5].

Teniendo en cuenta que los ACR no presentan las mismas propiedades mecánicas que los agregados naturales, con la debida dosificación y contenido de cemento, así como la correcta relación agua-cemento, las condiciones pueden ser similares. En ese sentido, Bedoya & Dzul [27] revisaron la resistencia a la compresión de muestras de concreto con diferentes dosificaciones reemplazando agregados naturales por ACR. Los resultados revelaron que en comparación con un concreto sin reemplazo, las resistencias a diferentes edades de las muestras con porcentajes inferiores a 50% de ACR estuvieron cercanas al 95%, dando resistencias superiores a 21 MPa, valor útil para la construcción de la mayoría de estructuras. Este comportamiento fue reportado similarmente por Martínez-Soto & Mendoza-Escobedo [28], quienes con un reemplazo total y controles sobre la cantidad del cemento en la mezcla y la relación agua-cemento, lograron resistencias a la compresión con porcentajes superiores al 93% y módulos de rotura superiores al 80% respecto a las muestras sin reemplazo, pero con afectaciones en la rigidez del elemento (módulo de elasticidad). Aunque los resultados presentados por Zheng et al [29] muestran que reemplazos superiores a 25% pudiesen afectar las resistencias, sin embargo, tanto la resistencia a la compresión y el módulo de rotura pueden optimizarse al emplear diferentes técnicas para el tratamiento previos de los agregados, el control de la relación agua/cemento y las dosificaciones empleadas, manteniendo así resistencias similares a los concretos con un 100% de agregados naturales [5].

### **2.3.3 Propiedades de durabilidad de los concretos adicionados con ACR**

Con base en ensayos de carbonatación y porosidad, se presentó la particularidad que en las muestras con reemplazos de ACR se afectan las propiedades hasta llegar a un 90% de las muestras prueba, pero que sin embargo, las mismas cumplen con lo estipulado por normatividades como la NSR-10 [27]. Sin embargo, Guo et al [30] encontraron en las diferentes investigaciones comportamientos heterogéneos en cuanto a permeabilidad, resistencia a la penetración del ion cloruro y carbonatación, los cuales pueden verse influenciados por varios factores como los mencionados anteriormente (relación agua/cemento o

contenido de ACR en la mezcla) o incluso elementos como morteros adheridos y resistencia a la compresión del concreto original (ver Tabla 5).

**Tabla 5** Influencia de los diferentes parámetros en la durabilidad de concretos con ACR

| Parámetro  | Efecto               |
|--|----------------------|
| Incremento en el reemplazo de ACR                  | Fuertemente negativo |
| Incremento en la relación agua/cemento             | Fuertemente negativo |
| Reducción de los tamaños de los ACR                | Ligeramente negativo |
| Incremento en la presencia de morteros adheridos   | Fuertemente negativo |
| Incremento de la resistencia del concreto original | Positivo             |
| Incremento en la edad de curado                    | Fuertemente positivo |
| Presencia de materiales puzolánicos                | Ligeramente Positivo |
| Pretratamientos de los ACR                         | Fuertemente positivo |

Adaptado de Guo et al [30]

#### 2.3.4 Beneficios del uso de ACR en concretos

Los principales beneficios del uso de los ACR en la producción de concretos son ambientales y económicos. Los beneficios ambientales se ven reflejados principalmente en menor disposición de residuos en botaderos y escombreras, así como la reducción en el uso de agregados naturales, que conlleva a la disminución en la minería a cielo abierto y la explotación de canteras [5]. Igualmente, la reducción del uso de materiales naturales de cantera disminuye las emisiones de gases como el CO<sub>2</sub> provenientes de la cadena de extracción de materiales y producción de concretos y sus derivados [31].

En cuanto a los beneficios económicos, Castaño *et al* [13] encontraron en diferentes modelos de negocios que la comercialización de los RCD y ACR para sub bases, bases, concreto y elementos prefabricados puede generar ganancias a corto plazo, recuperando la inversión tan solo en el primer año de producción. Respecto a los concretos en específico, se han encontrado estudios que revelan reducción de costos en agregados por 60%, reducción de producción de concretos hasta USD 3 por tonelada producida, e incluso ahorros al reducir el consumo de energía eléctrica [5]. Sin embargo, y con el fin de mantener ciertas propiedades, a la dosificación de concretos con ACR se les incluye mayores cantidades de cemento, encareciendo los costos, a tal punto que los ahorros son bajos alcanzando topes cercanos al 1% [27].

### **2.3.5 Aplicación de planes de gestión**

Muchas entidades emplean los planes de gestión de forma global, para un componente en específico, o debido a su gran tamaño generan planes individuales para cada una de las áreas. En ese sentido, las firmas presentan usualmente planes relacionados con temas gerenciales o de costos, los cuales involucran la mayor parte de las operaciones de la empresa. Ejemplos de estos planes pueden ser aquellos que están regulados en Colombia por la legislación, tales como los hospitales cuyo plan de gestión gerencial está regido por las resoluciones 710 de 2012 y 743 de 2013 del Ministerio de Salud y Protección Social. Un plan de gestión de costos, por su parte, basa su metodología de implementación en tres partes: la primera corresponde a un diagnóstico, la segunda al diseño de los procesos (iniciación, planeación, ejecución, control y monitoreo, y cierre), y la tercera corresponde a la implementación [32]. Estos modelos pueden ser aplicados a diferentes proyectos y sectores, siempre y cuando se analice la particularidad y los objetivos a implementar, donde siempre se busca detectar falencias y optimizar procesos dentro de la organización o proyecto.

Por otra parte, cuando las organizaciones son lo suficientemente grandes (tales como las gubernamentales), tienden a generar planes de gestión para cada una de las áreas. En este sentido, la Comisión Europea [3] ha desarrollado planes de gestión para cada uno de sus departamentos para el año en curso, que describen las acciones, prioridades y objetivos estratégicos. Por consiguiente, cada uno de los 45 departamentos generó una hoja de ruta en la cual se indican las salidas o los productos a obtener en el periodo determinado, así como los resultados que esperan obtener en materia de gestión de recursos financieros, comunicaciones externas, información y recursos humanos, principalmente.

En el campo específico de la construcción, los planes de gestión suelen ser documentos cuyo libre acceso es escaso e incluso nulo. Sin embargo, en la ciudad de Bogotá se generó en el año 2015 una guía que le proporciona a los constructores las herramientas para generar planes de gestión de residuos de construcción y demolición (RCD), el cual se basa en la resolución 1115 de 2012 por parte de la Secretaría Distrital de Ambiente, y enmarca aspectos técnicos, procesos, principios, gestión de recursos, alternativas y un modelo que puede ser empleado por las firmas constructoras en la ciudad [21].

## **2.4 MARCO LEGAL**

### **2.4.1 Normatividades ambientales aplicables para la ciudad de Bogotá**

- Resolución 2397 de 2011: Por la cual se regula técnicamente el tratamiento y/o

aprovechamiento de escombros en el Distrito Capital

- Resolución 1115 de 2012: Por medio de la cual se adoptan los lineamientos Técnico - Ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción y demolición en el Distrito Capital
- Decreto 2981 de 2013: Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo.
- Decreto 0472 de 2017: Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición

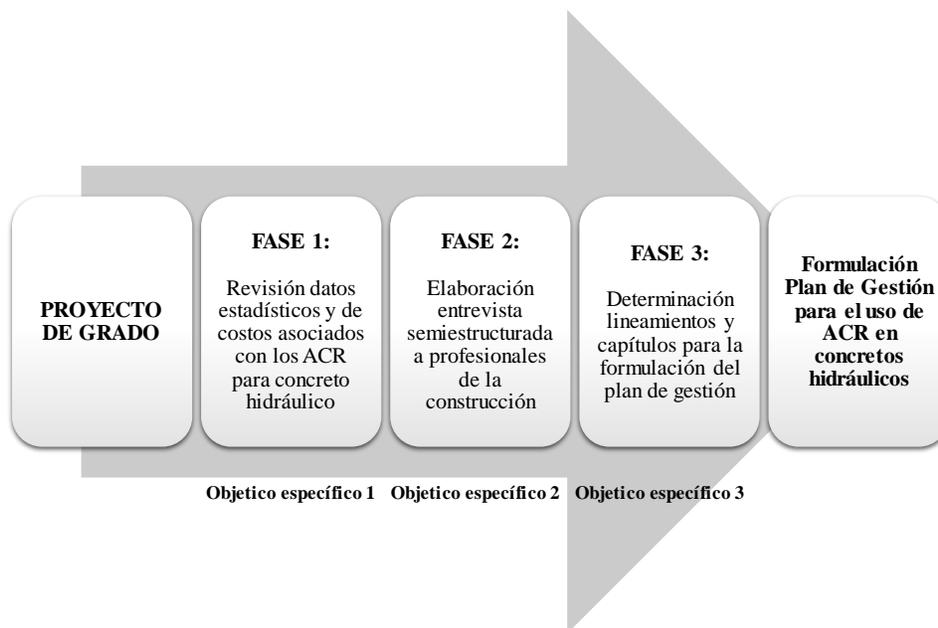
#### **2.4.2 Normatividades técnicas aplicables para la producción de concretos y sus componentes**

- Norma Sismo Resistente NSR-10
- Código de Construcción para Concreto Estructural (ACI 318-14)
- Normatividad INVIAS
- Normatividad NTC
- Normatividad ASTM

### 3 METODOLOGÍA

#### 3.1 FASES DEL TRABAJO DE GRADO

De acuerdo con los objetivos trazados, la Figura 3 muestra las fases del proyecto de grado respecto a los objetivos planteados.



**Figura 4.** Fases del proyecto de grado. Elaboración propia

- Fase 1: corresponde a la adquisición de información estadística y de cifras sobre la disposición, manejo y aprovechamientos de los RCD en la ciudad de Bogotá. Para tal fin, se indagó en las entidades pertinentes en las cuales se incluyen la UAESP y la Secretaría Distrital de Ambiente, quienes son las entidades que en la ciudad controlan los residuos generados, principalmente por entidades públicas. Se buscaron datos en algunas firmas constructoras respecto a la cantidad de escombros generados y el aprovechamiento realizado, esto en el marco de la normatividad vigente para los RCD. Igualmente, dentro de esta fase se realizó un análisis de los costos asociados con la producción de concretos con ACR, en los que se buscó información respecto a los costos de transporte, maquinaria y equipo, valor de la materia prima y la mano de obra asociada con la fabricación de estos concretos.
- Fase 2: corresponde a la elaboración de una entrevista semiestructurada dirigida a profesionales de la construcción, la cual buscó con base en la experiencia de los profesionales, analizar las variables y las consideraciones a tener en cuenta para generar la formulación del

- plan de gestión, tanto en los componentes atribuibles a un proyecto como a la organización.
- Fase 3: se identificaron y definieron cada uno de los lineamientos a ser incluidos dentro del plan, generando así la formulación del mismo en el que se incluyen las características propias de cada uno de los componentes a considerar (técnico, administrativo, financiero, organizacional, etc.). Finalmente, en esta fase generó el documento con la formulación de un plan de gestión.

### **3.2 INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS**

Con el fin de tener información detallada que soporte la formulación del plan se utilizaron fuentes primarias y secundarias. Como fuente primaria se elaboró una entrevista semiestructurada dirigida a dos profesionales de la construcción, quienes cuentan con una experiencia no menor a 5 años en la ejecución de obras para usos habitacionales y de oficinas en la ciudad de Bogotá. De acuerdo con su experiencia, se plantearon preguntas relacionadas con el manejo, disposición y aprovechamiento de los RCD en las obras en las que han participado, buscando revisar la pertinencia del uso de ACR en los concretos hidráulicos.

Las fuentes secundarias corresponden a la información estadística de los RCD y ACR obtenida de las entidades públicas contactadas, en donde se espera que entidades como la UAESP y la SDA proveen de datos actualizados, ya que las mismas son las entidades que controlan y supervisan los RCD en la ciudad de Bogotá.

### **3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA**

La población objetivo corresponde a las empresas constructoras en la ciudad de Bogotá, las cuales tengan la condición fundamental de generar su concreto en obra a través de plantas de producción fijas o portátiles, en donde puedan realizar el reemplazo de agregados naturales por ARC. Así mismo, estas empresas deberán presentar una estructura funcional, en donde la organización este dividida por áreas y que los gerentes estén inmersos en el desarrollo de los proyectos. De acuerdo con el portal [viviendo.co](http://viviendo.co), se encuentran registradas en este portal 133 empresas de construcción para la ciudad de Bogotá que se encuentran enmarcadas dentro de la población objetivo, en las cuales existe el potencial de aplicar el plan de gestión formulado, con lo cual se garantiza la interacción organización-proyecto que busca la formulación.

Debido a la formulación que se pretende realizar, se tendrá como muestra dos profesionales de

la construcción en Bogotá que tengan mínimo 5 años ejerciendo funciones administrativas dentro de las obras y que cuenten con conocimientos sobre dosificaciones, control de recursos dentro de las obras (equipos, dinero, proveedores, compras, mano de obra, programación) y nociones sobre el manejo a nivel organizacional de los proyectos. Con la entrevista se buscó tener un punto de vista técnico y administrativo respecto al uso y su posibilidad de implementarlo en futuras obras.

### **3.4 ALCANCES Y LIMITACIONES**

El principal limitante que se tiene es el tiempo de desarrollo del proyecto. Como tal, un cronograma más amplio permite un análisis de una mayor cantidad de información tanto cualitativa como cuantitativa que se pueda obtener de datos estadísticos y de un número mayor de entrevistas. Otra limitante es el acceso a la información pública por parte de firmas constructoras quienes rara vez publican los datos que complementarían el desarrollo del proyecto y la formulación esperada.

### **3.5 PRODUCTOS A ENTREGAR**

Una vez desarrolladas las fases del proyecto, se espera entregar la formulación de un plan de gestión para el uso de agregados de concreto reciclado en concretos hidráulicos, que consiste en una guía práctica para empresas constructoras en la ciudad de Bogotá para la elaboración de planes de gestión para el uso de este material, describiendo el alcance, los objetivos, los aspectos técnicos relevantes a tener en cuenta para el uso, manejo y aprovechamiento de los ARC, relación de los costos directos a tener en cuenta al implementar el uso de los ARC, normatividad vigente, beneficios, así como la integración del proyecto con la estructura organizacional de la firma para una gestión integral a través de la empresa y no sólo como proyectos aislados.

### **3.6 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTOS**

Se espera con la formulación del plan de gestión que el documento generado pueda ser aplicado en las diferentes firmas constructoras en la ciudad de Bogotá, especialmente aquellas que tengan una estructura funcional donde exista la interacción organización-proyecto, esto como una guía para el uso y aprovechamiento de los ARC en la producción de concreto hidráulico, exponiendo los beneficios que puede traer el uso de estos materiales. Así mismo, se espera un impacto positivo dentro de la población objeto ya que la firma que genere su plan de gestión con base en la guía formulada contará con las herramientas y los lineamientos que le permitan optimizar tanto en el proyecto como a nivel administrativo, los costos y beneficios asociados con la construcción de elementos en concreto, ya sean estructurales o no.



## 4. RESULTADOS

### 4.1 REVISIÓN DE DOCUMENTAL DE LA GESTIÓN DE LOS ACR PARA LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO

Respecto al primer elemento del plan de gestión se debe considerar la integración, es decir el que se debe identificar los requerimientos iniciales que se buscan satisfacer con el proyecto. Por tanto en un proyecto con uso de ACR para la producción de concreto hidráulico, Vega-García [33] propone como primer paso, reconocer la demanda de ACR del proyecto y la oferta existente para satisfacerla. De acuerdo a datos presentados por el autor, Colombia requiere 80 MM de Ton de materiales granulados para vías y 60 MM de ton para arenas y gravas en concretos; de los cuales solo en Bogotá se requieren 20MM Ton y 15 MM ton respectivamente.

Respecto a la oferta de RCD, con datos presentados por Latorre [34], al realizar un análisis comparativo del sector de la construcción en las diferentes ciudades del territorio colombiano, el cual ha tenido un crecimiento constante de entre el 20% y 30% del total de Producto Interno bruto del país, se puede evidenciar que Bogotá presenta la más alta tasa de generación de residuos de construcción y demolición con un total de 18'314.429 toneladas y 12'287.619 metros cúbicos; cifras muy superiores a las generadas por Medellín, que se ubica en el segundo lugar con un total de 1'778.522 toneladas y 1'185.681 metros cúbicos para el año 2013 (Ver tabla 6).

**Tabla 6. Cuadro comparativo de la generación de residuos de construcción y demolición para el año 2013 en Colombia [34, p. 5]**

|                         | <b>Toneladas</b> | <b>Metros cúbicos</b> |
|-------------------------|------------------|-----------------------|
| <b>Bogotá</b>           | 18,314,429       | 12,287,619            |
| <b>Medellín</b>         | 1,778,522        | 1,185,681             |
| <b>Santiago de Cali</b> | 1,208,723        | 908,814               |
| <b>Manizales</b>        | 459,000          | 306,000               |
| <b>Cartagena</b>        | 285,000          | 190,000               |
| <b>Pereira</b>          | 90,172           | 60,115                |
| <b>Ibagué</b>           | 89,000           | 59,333                |

|                     |                   |                   |
|---------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Pasto</b>        | 24,000            | 16,000            |
| <b>Barranquilla</b> | 18,000            | 12,000            |
| <b>Neiva</b>        | 2,900             | 1,933             |
| <b>San Andrés</b>   | 292               | 195               |
| <b>TOTAL</b>        | <b>22,270,038</b> | <b>15,027,690</b> |

Por lo tanto, se podría indicar que en un primer lugar, la generación de residuos durante solo un año en las principales ciudades de Colombia cubre solo el requerimiento de RCD para la ciudad de Bogotá en una de las dos categorías: o se usan como material granulado para vías o como arenas y gravas para concretos. Lo anterior permite deducir que si bien los proyectos en la ciudad de Bogotá pueden tener un suministro de RCD disponible para ser utilizados en obras, este será escaso o de acceso limitado, por tanto un primer requerimiento para el inicio del proyecto es asegurar los proveedores de RCD.

Para facilitar la tarea de determinar las fuentes de RCD de donde se van adquirir los insumos, la Asociación Española de Reciclaje de residuos de construcción y demolición, ha planteado un cálculo estimativo de los residuos producidos en obra “con base a los metros cuadrados de obra, las tablas estiman el volumen aproximado de RCD producidos [35]” (ver tabla 7), los cuales permiten estimar cuanto RCD aporta la obra y cuanto se debe adquirir con proveedores externos.

**Tabla 7. Cálculo estimativo de RCD producidos en obra [35]**

| <b>Tipología de obra</b> |  | <b>Ratio m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>RCD Total</b> |
|--------------------------|--|---|
| <b>1</b>                 | Infraestructuras de carreteras                       | 1,56  |
| <b>2</b>                 | Obras de reforma o rehabilitación                    | 0,57  |
| <b>3</b>                 | Construcción de obra de nueva edificación            | 0,14  |
| <b>4</b>                 | Demolición completa de obra de fábrica               | 0,74  |
| <b>5</b>                 | Demolición completa de estructura de hormigón        | 1,22  |
| <b>6</b>                 | Demolición de naves industriales estructura metal    | 1,26  |
| <b>7</b>                 | Demolición de naves industriales estructura hormigón | 1,19  |

Respecto al alcance del proyecto, este deberá partir de las restricciones de disponibilidad de RCD para la obra, en específico de los cálculos del ACR requerido para el concreto hidráulico. Seguido a esto, se deben establecer las actividades relacionadas a la adquisición del ACR, de acuerdo a lo que se haya definido previamente, las actividades constarán del procesamiento en obra del ACR o de la adquisición externa por proveedores. La tabla 8, presenta las alternativas documentadas para el procedimiento en sitio del aprovechamiento del RCD para generar ACR para concreto hidráulico.

**Tabla 8. Estructura de trabajo para el uso de ACR en concreto reciclado**

| <b>Actividad</b>  | <b>En sitio</b>  |
|---|--|
| <b>Demolición</b>   | Demolición, excavación y cargue a zona de separación.  |
| <b>Separación de los contaminantes y reciclaje primario</b> | Dependiendo su uso, se deben retirar elementos ajenos al concreto como lo son asfaltos, ladrillo, plásticos, materiales sintéticos.<br>Clasificación y beneficio de RCD reciclado (caracterización de materiales: desgaste, densidad, absorción, eq. arena, gradaciones, PT200%) |
| <b>Preparación del equipo de trituración</b>                | Suministros para el funcionamiento del equipo, persona disponible para la operación<br>Ruptura y transporte Se debe realizar una ruptura especial para proceder a  |
| <b>Trituración de fragmentos</b>                            | transportarlos hacia el sitio de trituración.<br>Se deberán garantizar los tamaños apropiados dependiendo su uso, de conformidad con las normas aplicables NTC, INVIAS y ASTM  |
| <b>Generación de la mezcla</b>                              | Mezclas de concretos 100% RCD; sustitución de arenas RCD; ensayos especiales; prueba industrial  |
| <b>Fase de experimentación</b>                              | Se trata de un tramo de prueba donde se ponga a prueba los materiales que serán utilizados, así como cada uno de los procedimientos constructivos.   |
| <b>Preparación de la superficie existente</b>               | Debe cumplir con la densidad, cotas, secciones indicadas.  |
| <b>Extensión y mezcla del material</b>                      | El material debe estar bien mezclado, con la humedad correspondiente para su aplicación.   |

Fuente: [25] [33] [36]

En cuanto a costos, tres documentos presentan un acercamiento hacia el presupuesto estimado en cuanto a la adquisición del equipo y también frente a la curva de costos del proyecto y la rentabilidad principalmente en el largo plazo.

A fin de mejorar las condiciones para la gestión de los residuos de construcción y demolición, se han implementados diversos avances tecnológicos para optimizar la cantidad y calidad de material disponible para la generación de concretos hidráulicos. De esta manera, se comienza a procesar el material por medio de sistemas de trituración ajustado a las características físicas de cada producto. Algunos de los sistemas mayormente utilizados en Bogotá, son las trituradoras de mandíbulas, caracterizadas por ser robustas y de gran abertura, con desgastes reducidos de las piezas de la maquinaria que permiten la

producción de un producto final de mayor grosor con finos inferiores al 10%. También se utilizan trituradoras de impacto con rotor de barras y placas de acero abrasivo que permite reducir a mayor escala la materia granulada, lo que les permite una gran capacidad, especialmente para materiales reciclados de asfalto, ya que tiene la capacidad de soportar altas temperaturas. Otro de los artefactos utilizados en el proceso, son las trituradoras de cono, en las que se logra una mejoría notable en las características mecánicas, permitiendo finos superiores al 20%; sin embargo, suele tener altos consumos de energía y costosos procesos de producción debido al alto desgaste de piezas que realiza en el tratamiento de los agregados [23].

Por otra parte, Olivera [36, p. 29] realiza la siguiente discriminación del equipo necesario a adquirir:

**Tabla 9. Equipo para el procesamiento de RCD para agregados [36]**

| <b>EQUIPO DE PROCESAMIENTO</b>  | <b>EQUIPO DE TRANSPORTE</b>      | <b>EQUIPO DE EXTENSIÓN Y MEZCLA</b>    | <b>EQUIPO DE COMPACTACIÓN</b>   | <b>EQUIPO ACCESORIO</b>                                       |
|---|----------------------------------|--|---|---|
| Trituradora (primaria, secundaria y terciaria).<br>Clasificador<br>Equipo de lavado<br>Sistema de separación de materiales. | Volquetas platón liso y estanco. | Motoniveladora<br>Recicladora<br>Otros | Rodillos estáticos neumáticos o mixtos<br>Rodillos vibratorios<br>neumáticos o mixtos | Carro tanque o irrigador<br>Barredora o sopladora<br>mecánica |

A su vez Vega [33] da un precio aproximado para el procesamiento de escombros.

- Costo planta de 4,5 m 3/hr, sin polvo y mínima generación de ruido. Operada por 2 personas/turno. Tiene un supervisor.
- Inversión en planta móvil: \$ 250'000.000. Costos estimados de operación: \$ 18/kg de agregado, \$ 200/kg cementante, \$ 90/kg morteros listos, \$ 350/kg de pegante porcelanato.
- Valor medio de productos a reemplazar: \$ 38/kg agregados, \$ 160/kg de mortero, \$ 850/kg de pegante porcelanato

Respecto a los estudios de factibilidad de los proyectos de construcción, Ospina, Moreno y Rodríguez [37] han realizado una investigación en la que se logra visualizar las repercusiones que nacen a partir de

la utilización de concreto reciclado, con el objetivo de identificar estrategias que le permitan a las organizaciones tener mayor competitividad dentro del mercado de la construcción y ofrecer servicios de óptima calidad a menor precio. De acuerdo a lo expuesto por los autores, los precios de este tipo de agregado en relación con el concreto natural alcanza incluso 25.2% de reducción en los costos de la producción (ver tabla 10) gracias a que se presenta una fuerte reducción en los costos ambientales que deben asumir las empresas por la explotación de recursos naturales.

**Tabla 10. Reducción porcentual de agregado reciclado vs agregado natural [37], p.45.**

| <i>Tipo agregado</i> | <i>Agregado natural</i> | <i>Agregado reciclado</i> | <i>Ahorro</i> |
|----------------------|-------------------------|---------------------------|---------------|
| <b>Grava</b>         | \$ 90,000               | \$ 67,300                 | 25.20%        |

En su investigación, Ospina, Moreno y Rodríguez [37] definieron el presupuesto que se debe utilizar para el desarrollo de la mezcla del concreto de acuerdo a tres configuraciones diferentes (ver tabla 11) dando como resultado mayores beneficios, en términos económicos, a la utilización de agregados naturales debido a que las mezclas elaboradas con agregados reciclados requieren mayores niveles en el uso de cemento y agua lo que incrementa en ciertas cantidades los costos de realización de las mezclas para la construcción.

**Tabla 11. Análisis comparativo del presupuesto para la elaboración de concreto con base a elementos naturales y reciclados**

| <b>Mezcla 1 (100% Agregado Natural)</b>                        |                      |                 |                    |              |                    |
|--|----------------------|-----------------|--------------------|--------------|--------------------|
| <b>Ítem</b>  | <b>Descripción</b>   | <b>Cantidad</b> | <b>Unidad</b>      | <b>Valor</b> | <b>Valor total</b> |
| 1  | Agua                 | 0,21            | m <sup>3</sup>     | \$ 2.210     | \$ 464             |
| 2  | Cemento              | 350             | Kg                 | \$ 590       | \$ 206.500         |
| 3  | Grava                | 0,32            | m <sup>3</sup>     | \$ 90.000    | \$ 28.800          |
| 4  | Arena                | 0,354           | m <sup>3</sup>     | \$ 99.000    | \$ 35.046          |
| 5  | Grava Reciclada      | 0               | m <sup>3</sup>     | \$ 67.300    | \$ -               |
| 6  | Costos de producción | 1               | m <sup>3</sup>     | \$ 53.500    | \$ 53.500          |
| 7  | Transporte           | 25              | m <sup>3</sup> /Km | \$ 750       | \$ 18.750          |
|  |                      |                 |                    |              | <b>\$ 343.060</b>  |
| <b>Mezcla 2 (70% Agregado Natural, 30% Agregado Reciclado)</b> |                      |                 |                    |              |                    |
| <b>Ítem</b>  | <b>Descripción</b>   | <b>Cantidad</b> | <b>Unidad</b>      | <b>Valor</b> | <b>Valor total</b> |
| 1  | Agua                 | 0,21            | m <sup>3</sup>     | \$ 2.210     | \$ 464             |
| 2  | cemento              | 375             | Kg                 | \$ 590       | \$ 221.250         |
| 3  | Grava                | 0,219           | m <sup>3</sup>     | \$ 90.000    | \$ 19.710          |
| 4  | Arena                | 0,349           | m <sup>3</sup>     | \$ 99.000    | \$ 34.551          |
| 5  | Grava Reciclada      | 0,096           | m <sup>3</sup>     | \$ 67.300    | \$ 6.461           |
| 6  | Costos de producción | 1               | m <sup>3</sup>     | \$ 53.500    | \$ 53.500          |
| 7  | Transporte           | 25              | m <sup>3</sup> /Km | \$ 750       | \$ 18.750          |
|  |                      |                 |                    |              | <b>\$ 354.686</b>  |

| Mezcla 3 (100% Agregado Reciclado) |                      |          |                    |           |             |
|------------------------------------|----------------------|----------|--------------------|-----------|-------------|
| Ítem                               | Descripción          | Cantidad | Unidad             | Valor     | Valor total |
| 1                                  | Agua                 | 0,2      | m <sup>3</sup>     | \$ 2.210  | \$ 464      |
| 2                                  | cemento              | 382,0    | Kg                 | \$ 590    | \$ 225.380  |
| 3                                  | Grava                | 0,0      | m <sup>3</sup>     | \$ 90.000 | \$ -        |
| 4                                  | Arena                | 0,3      | m <sup>3</sup>     | \$ 99.000 | \$ 34.106   |
| 5                                  | Grava Reciclada      | 0,3      | m <sup>3</sup>     | \$ 67.300 | \$ 21.334   |
| 6                                  | Costos de producción | 1,0      | m <sup>3</sup>     | \$ 53.500 | \$ 53.500   |
| 7                                  | Transporte           | 25,0     | m <sup>3</sup> /Km | \$ 750    | \$ 18.750   |
|                                    |                      |          |                    |           | \$ 353.534  |

Fuente: Ospina, Moreno y Rodríguez [37, p. 45]

Sin embargo, a pesar de que los resultados incrementan el costo de producción, muchas empresas e instituciones científicas continúan el arduo proceso investigativo con la finalidad de encontrar mejoras constantes que permitan reducir los costos de producción y lograr la resistencia requerida para las obras de construcción, con el objetivo de mitigar el daño ambiental existente sin afectar la competitividad de las organizaciones y la calidad de los productos ofrecidos.

Para el aseguramiento de la calidad, Olivera [36, p. 25] indica la necesidad de generar ensayos para agregados provenientes de concreto hidráulico, garantizando un estricto control que permita vigilar y certificar que se cuenta con la “heterogeneidad del material, nivel de contaminación, composición y caracterización”.

Entre los ensayos que se sugieren Olivera [36] plantea: granulometría, índice de lajas, plasticidad, resistencia a la fragmentación, proctor, CBR, materia orgánica, equivalente de arena y compuestos de azufre total, como se describe en la tabla 12.

**Tabla 12. Ensayos a muestras de RCD. [36, p. 26]**

| ENSAYO  | RESULTADO   |
|---|---|
| Granulometría   | • Se ajustó mediante trituración.   |
| Índice de lajas (Índice de aplanamiento y alargamiento)                   | Cumplimiento de requisitos  |
| Plasticidad   | No plásticos  |
| Resistencia a la fragmentación  | • Grado de incumplimiento: 17%  |
| Proctor   | • La densidad optima es menor que en agregados naturales<br>• La humedad optima resulta ser mayor que en agregados naturales  |
| CBR   | • Las muestras a las cuales se les realizó el ensayo presentaron un buen comportamiento, debido a la presencia de agua que genera reacciones puzolanicas tanto en el concreto como en la cerámica |
| Materia Orgánica  | Grado de incumplimiento cercano al 48%  |
| Equivalente de arena  | El 100% de las muestras cumplen con el requisito  |
| Compuestos de azufre total, sulfatos solubles en agua y contenido de yeso | Valor máximo 5%, 4% superior al establecido en PG-3<br>La mayoría de resultados son inferiores o iguales a 1%   |

Respecto a los riesgos Olivera [36, p. 32] indica que para garantizar el producto, se deben controlar los insumos del mismo determinando apropiadamente “su resistencia, presencia de aditivos, relación agua/material cementante, entre otras”.

Como parte de la estrategia de comunicaciones y de gestión de grupos de interesados del proyecto Vega [33, p. 9] plantea que los proyectos en donde se hace uso de RCD para la obra, genera resultados de interés para el mercado, la gerencia del proyecto, el gobierno y la sociedad en general, como se describe a continuación:

- Reducción del uso de MMPP NO RENOVABLE
- Reducción de 230 Km de recorrido de tracto mulas
- Reducción de 46 galones de combustible.
- Reducción de 0.1 toneladas de emisiones de CO2.
- Ahorro en costos de transporte de \$ 29.000/ton.
- Reducción en 7 horas del tiempo de ciclo.
- Reducción en el deterioro de pavimentos.
- Reducción en accidentes y congestión

Para Vega [33] la estrategia de comunicación se debe generar comunicando la creación de valor al constructor y a la sociedad. En el primer caso, el uso de ACR genera valor en la medida que los proyectos de gran escala aprovechen y gestionen adecuadamente los RCD, reduciendo no solo el costo de los

materiales sino agregando valor comercial al proyecto; en el segundo caso, la adecuada gestión de la huella ambiental y la reducción de consumo de insumos naturales, favorece la contribución del proyecto a la sostenibilidad y mantenimiento de los ecosistemas, beneficiosos para la sociedad en general.

Dentro de la revisión documental no se encontraron indicaciones sobre la gestión del tiempo del proyecto, recurso humano y adquisiciones. Se reúne por lo tanto en la figura 5, los principales lineamientos para la gestión de proyectos con ACR obtenidos a partir de la revisión documental.



**Figura 5. Lineamientos desde la revisión documental para el plan de gestión para el uso de agregados de concreto reciclado en concretos hidráulicos.** Elaboración propia.

#### **4.2 USO DE ACR EN CONCRETO HIDRÁULICO: DOS PERSPECTIVAS DE LA REALIDAD EN LOS PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN EN BOGOTÁ**

Las entrevistas realizadas se realizaron a dos profesionales del sector de la construcción de la ciudad de Bogotá, por un lado se obtuvo la participación de una empresa consultora desde 2008 en construcción sostenible a nivel Colombia, quien ha ejecutado proyectos junto con el Ministerio de Ambiente para la gestión de residuos de construcción y ha asesorado proyectos de construcción, siendo uno de sus últimos proyectos la asesoría en ciclo de vida de una de las escombreras de la ciudad de Bogotá precisamente para la gestión de concretos con agregados reciclados, para garantizar la privacidad de la información y asegurar su uso netamente académico se denominará a esta entrevista con la sigla E1 [38]. Seguidamente se realizó una entrevista con el gerente de proyecto de una gran constructora a nivel

Colombia que tiene presencia en tres ciudades y una experiencia de 30 años realizando proyectos de gran escala residenciales y comerciales, se identificará en el documento con la sigla E2 [39].

Las apreciaciones de los entrevistados se procesaron a través de análisis de discurso con base en las variables de un plan de gestión como se ha presentado anteriormente, el anexo 2 presenta los resultados del proceso de análisis. A continuación se presentan los aspectos comunes identificados a partir de las dos entrevistas.

- **Integración:**

El interés de las constructoras para incluir en los proyectos procesos que hagan uso del RCD, como el ACR para concreto, es limitado. La práctica común, que además es avalada por las certificaciones tipo Leed, es la de certificar el uso de mezclas en donde se especifica la presencia de agregados de RCD. Por ejemplo, con la adquisición de concreto en el cual se reemplaza el Clinker por material RCD.

Para las constructoras, en especial las pequeñas, los requerimientos de proyectos con uso de RCD se trasladan como requerimientos al proveedor, es decir, buscan proveedores que certifiquen el uso de estos materiales y provean del producto listo para la construcción.

Lo que puede incluir una obra, es hacer uso del RCD como relleno de cimentación, mejoramiento de vías temporales pero no se estima aún uso como agregado para el concreto.

Los entrevistados indican barreras como la baja importancia de la reutilización, el alto capital a invertir para realizar concreto en obra, y aún más para procesar los RCD como agregados, como también se encuentra la justificación de cumplir solo lo normativo. La viabilidad de este tipo de proyectos se ve a partir de grandes constructoras que tengan diversos proyectos en simultáneo en los cuales requiera demolición, para así por un lado satisfacer la oferta interna de producto RCD y al mismo tiempo, justificar la inversión en la maquinaria y la disposición de personal para la selección y trituración del agregado.

- **Alcance:**

Dentro de las actividades comunes de las obras, se encuentra la demolición y la disposición como lo determina la normatividad, buscando que un tercero especializado en la gestión del RCD se haga cargo del material y emita el certificado respectivo.

Incluir actividades de procesamiento de agregados de concreto implica generar un plan adecuado para la adquisición de maquinaria, adecuada separación en la fuente y procesamiento de material, lo cual se suma a las actividades del proyecto, así como la planeación del flujo de material y los espacios requeridos por el mismo.

- **Tiempos:**

Se suman tiempos al proyecto al requerir: el procesamiento de los escombros, el montaje del

equipo de trituración, y la rotación del equipo por la obra para generar un adecuado flujo de materiales.

- **Costos:**

Los dos entrevistados coinciden en que la inversión requerida es alta, y que para una constructora pequeña o mediana, no sería rentable en un principio. Si bien la inversión se retorna en el largo plazo, la gerencia de la constructora puede no estar interesada en los beneficios económicos que se genere a futuro.

Para garantizar la rentabilidad del proyecto los dos entrevistados coinciden en que se debe procesar una cantidad suficiente de residuos que permita señalar que hay una evidente reducción del costo del concreto hecho en obra con ACR por el adquirido externamente.

Un factor positivo que se suma al análisis de costos, es la reducción de uso de volquetas para el traslado del material cuando este se obtiene dentro de la misma obra, no solo se reduce el costo de este rubro, sino que se genera un costo ambiental positivo, al reducir las emisiones de dióxido de carbono por la movilización de dichos vehículos.

- **Calidad:**

En cuanto a calidad, por una parte E1 indica que los mismos requerimientos de un proyecto hacen que la generación de escombros sea menor al 1% cuando no se requiere demolición, por lo tanto se busca evitar la generación de residuos en la obra y con ello se disminuye la posible oferta de RCD para generar los agregados, así mismo tiempos de cemento portland no permiten adiciones provenientes de RCD sumado a que la NSN 10, aunque no lo prohíbe, no promueve explícitamente el uso de agregados.

A lo anterior se suma la perspectiva desde E2, indicando que las constructoras se van a limitar a realizar lo exigido por la ley, solo hasta el punto que normativamente haya una exigencia de ACR en el concreto hidráulico, se consideraran las ventajas de este procedimiento para una obra.

- **Recurso humano:**

Un primer criterio es la preparación del recurso humano respecto a las propiedades técnicas de los materiales.

Seguidamente, se requiere que tanto directivos como directores de proyecto conozcan los costos, las amortizaciones, las extensiones tributarias por el manejo adecuado de residuos sólidos en obra, los procesos de valorización de proyectos y las dinámicas de economías circulares para cautivar nuevos inversores.

A nivel operativo, es necesario por un lado, generar una cultura de separación desde el momento de la demolición del terreno y durante la obra, además de la selección adecuada de personal que este frente al proceso de reutilización de los materiales para convertirlos en agregados.

- **Comunicaciones:**

Respecto a la gestión de las comunicaciones el proyecto que haga uso de ACR para la producción de concreto hidráulico debe hacer saber a los grupos interesados de este proceso, ya que como se ha mencionado anteriormente, representa ventajas en términos de comercialización y financiación disponible presentado la obra como un proyecto de construcción sostenible.

- **Riesgos:**

Si bien la normatividad existente exige la generación de planes de riesgos, en estos no se ha incluido el análisis del uso de ACR para concreto, debe por lo tanto generarse procesos preventivos desde la separación y la mezcla en el punto de vista técnico.

Por otra parte, en cuanto a los criterios desde lo económico, existe el riesgo de que la evaluación financiera del proyecto presente un sobre costo, si no se ha dimensionado adecuadamente el flujo de RCD de la obra, u otras obras aledañas, para la generación y procesamiento del ACR.

- **Adquisiciones:**

Las adquisiciones son uno de los factores críticos del proceso, puesto que si internamente no se garantiza la oferta de material, este debe adquirirse externamente.

Dado que el uso de ACR en el concreto hidráulico no es un proceso común, o al menos no desde la perspectiva de los entrevistados, la adquisición actualmente se limita a comprar insumos que contengan determinados porcentajes de materiales reciclados, por ejemplo en el caso en el que se persigue una certificación tipo LEED.

De acuerdo a E1 existe una empresa en Medellín que ofrece el proceso de molienda para hacer uso del RCD en la obra como agregados, esta empresa rota la maquinaria de acuerdo a las obras que lo soliciten; lo cual para el entrevistado E2, era desconocido, pero hacía referencia que debería ser una práctica exigida.

- **Grupos de interés:**

La reducción del costo económico de los insumos para producir concreto hidráulico y la reducción del costo ambiental de la obra, genera un grupo de interés amplio. Sin embargo, no se realizan acciones concretas para asegurar que las obras incluyan este tipo de procedimiento, en este caso gana la cultura o mentalidad, como lo indica en E2, sobre las tareas puntuales que un proyecto con ACR involucraría.

Ambos entrevistados concluyen que es un procedimiento atractivo pero la falta de difusión, conocimiento y normatividad que lo promueva hace que sean temas poco abordados en el campo real de la construcción, y requieren por lo tanto que sean las grandes empresas quienes lo instalen y promuevan como buenas prácticas de construcción.

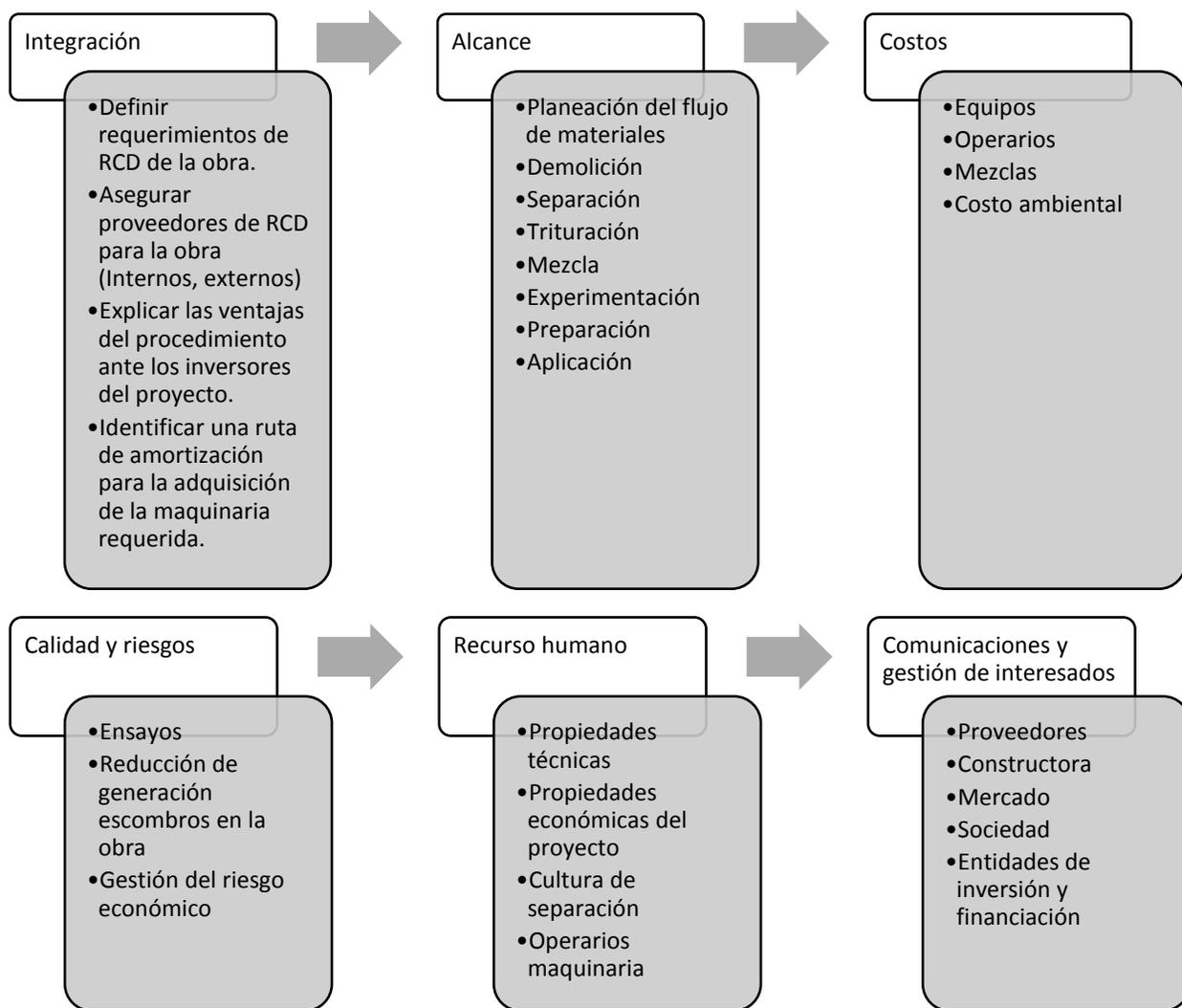
Cómo lo indica E2 "Esto es un tema más de conciencia, a futuro las empresas que lo manejen serán las empresas de vanguardia".

De tal manera que con las entrevistas se logró complementar aspectos sobre lineamientos como el tiempo, los costos, el recurso humano, riesgos, comunicaciones y gestión de interesados.

Es clave indicar que de acuerdo a la experiencia descrita el uso de ACR en concreto hidráulico en obra no es común, frente a esto lo más cercano es certificar que en los insumos de proveedores externos se haga uso de materiales RCD dentro de los componentes, como lo mencionaban frente al cemento y el remplazo del Clinker por material recuperado. Ante esta perspectiva los entrevistados fueron contundentes en indicar que la inversión requerida para llevar a cabo este proceso debe darse en un marco de inversión de largo plazo, sobre todo para grandes constructoras que por su alcance en proyectos pueden amortizar con varias obras el costo de adquisición de la maquinaria y generar procesos de flujo de materiales (demolición, trituración, mezcla, uso) adecuados. Finalmente, ambos entrevistados coinciden y son enfáticos en que este tipo de procedimientos agregan valor económico a los proyectos.

#### **4.3 LINEAMIENTOS Y CAPÍTULOS PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN**

Con los resultados de la entrevista, se consolidan con la información secundaria recolectada y como panorama inicial se proyecta la siguiente discriminación de lineamientos para la formulación del plan de gestión de uso de ACR en concretos hidráulicos. Dando a su vez respuesta a la pregunta de investigación planteada *¿Qué lineamientos se deben considerar dentro de la formulación de un plan de gestión para el uso de agregados de concreto reciclado en una empresa constructora en la ciudad de Bogotá?*



**Figura 6. Lineamientos para el uso de ACR en concreto hidráulico.**

Con los anteriores lineamientos, se debe considerar que un plan de gestión para el uso de ACR de en concreto hidráulico debe contener los siguientes capítulos: introducción, alcance, objetivo, información general del proyecto, fuente de los materiales, presupuestos, adquisición de equipo, contratación de mano de obra, planeación de flujo de materiales y transporte, diseño de mezcla, tiempos de producción, riesgo asociado al proceso.

**Tabla 13. Formulación de un plan de gestión para el uso de agregados de concreto**

|   |   |
|---|---|
| <i>Información general del proyecto</i> | <p>Como primer apartado del documento, en este se debe presentar las características del proyecto.</p> <p>Identificar si el procedimiento de obtención del agregado hace parte de un proyecto macro de la constructora o es diseñado únicamente para la obra a ejecutar.</p> <p>Así mismo, definir si el uso de ACR se realiza en el marco de un sello tipo LEED para</p> |
|---|---|

|  |  |
|--|--|
|  | <p>garantizar que se cumplan con los criterios y certificación del proceso para que este sea homologable.</p> <p>Dentro de este apartado se debe hacer relación al plan de gestión de RCD propio de la obra, identificando el material generado por etapa, m3 estimados, tratamiento y destino.</p>  |
| <i>Alcance</i>                                   | <p>El alcance del uso de ACR se define como porcentaje sobre el total de concreto presupuestado para usar en la obra.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Total agregados requeridos para la obra m3</li> <li>• % proyectado de uso de agregados naturales</li> <li>• % proyectado de uso de agregados reciclados</li> </ul> <p>Debe también definirse el uso que se le dará al concreto con agregado reciclado, si este va a hacer estructural o no estructural.</p>             |
| <i>Objetivo</i>                                  | <p>Una vez identificada la línea base para la ejecución del proyecto, se debe definir el objetivo de consecución de ACR para la obra en m3.</p> <p>El objetivo servirá de base para definir las mejores fuentes de materiales, así mismo como la identificación de la incidencia del uso de ACR dentro de los costos de adquisición de materiales de la obra.</p>  |
| <i>Comunicación y socialización del proyecto</i> | <p>Una vez definido el objetivo se debe comunicar a las partes interesadas del procedimiento a realizar. Tanto personal interno en cuanto aspecto económico y técnico, como al equipo comercial para que comunique externamente los beneficios y el costo social del proyecto.</p>   |
| <i>Fuente de los materiales, transporte</i>      | <p>Identificar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• % de residuos de demolición y de construcción que generará la obra</li> <li>• % de agregados que deberán conseguirse por fuente externa de ser requeridos.</li> </ul> <p>Dependiendo de la fuente de materiales, deberá definirse también el transporte de los mismos, si se genera un flujo interno del proceso o se debe generar transporte desde otros puntos (otras obras, centros de procesamiento, canteras, etc.).</p> |
| <i>Tiempos de producción</i>                     | <p>Los tiempos de producción deberán describirse en función del flujo de materiales y de acuerdo al cronograma de la obra, definiendo claramente hitos claves y la ruta crítica para garantizar el abastecimiento adecuado de ACR durante la construcción.</p>   |
| <i>Costos</i>                                    | <p>Una vez se ha establecido la ruta crítica y dependiendo si la maquinaria estará o no estacionaria en el proyecto, se deben fijar costos fijos como variables del</p>  |

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
|                                   | <p>procedimiento. Entre los que se incluye la destinación de personal para la separación, trituración y preparación de la mezcla junto con el supervisor del proceso.</p> <p>Así mismo, se requiere hacer el presupuesto consolidado de los insumos adicionales que requiera las mezclas cuando exista un % de agregados adquirido externamente.</p> |
| <i>Diseño de mezcla</i>           | Una vez planteado el proceso de abastecimiento y producción del ACR para el concreto hidráulico, se deben garantizar las propiedades físicas, químicas, mecánicas, durabilidad de la mezcla de manera que esta cumpla con la normatividad.   |
| <i>Riesgo asociado al proceso</i> | Se deberá realizar la matriz de riesgo asociada al proyecto incluyendo la evaluación del uso de ACR en el concreto hidráulico y la planeación de medidas preventivas y correctivas que disminuyan la probabilidad e ocurrencia del riesgo previsto.  |
| <i>Evaluación y control</i>       | Respecto a la evaluación y control, será necesaria la supervisión constante del línea base planteada, garantizar que los ensayos cumplen con los estándares definidos.   |

Los lineamientos aquí planteados son una aproximación desde la recolección de documentación relacionada y las entrevistas realizadas, si bien no buscan ser exhaustivos se presentan para marco general para que el uso de ACR se convierta en una práctica recurrente en las obras, permitiendo a las constructoras identificar las ventajas que este procedimiento aporta al proyecto. Así mismo, se plantea que en la medida que se conozcan las ventajas técnicas y económicas del uso de ACR se desarrolle más el mercado.

El aporte por lo tanto a la gerencia de obras, se proyecta como un marco para asegurar la gestión y administración de proyectos en los cuales se destinen RCD para la generación de agregados, aprovechables en la producción de concreto hidráulico. La formulación del plan de gestión parte a su vez de lineamientos del PMI para garantizar que exista correlación con los procedimiento habituales de la obra y que las indicaciones sean acoplables a las directrices comunes en la ejecución de proyectos bien sean públicos o privados.

Los lineamientos se presentan también con el fin de contribuir a la base del conocimiento de nuevos procedimientos que permitan una reducción de la huella ambiental de la obra y apoyar así la difusión de nuevas prácticas para la construcción.

## 5. CONCLUSIONES

La investigación realizada se enfocó en identificar el uso de ACR para la producción de concreto hidráulico a partir de la revisión de datos estadísticos y de costos asociados a los ACR para la producción de concreto hidráulico y de la experiencia en obra respecto al posible uso de ACR a partir de entrevistas realizadas a expertos.

En un primer acercamiento, la información estadística disponible por las entidades gubernamentales que tienen a cargo la regulación y vigilancia si bien cuentan con información sobre los residuos de demolición y construcción, y lineamientos para su adecuada gestión y aprovechamiento, no llegan a mayor detalle en cuanto a la reutilización de materiales dentro de las obras o como parte de insumos procesados a partir de los residuos. Se evidencia que si bien existen datos, son en ocasiones proyecciones estadísticas y que se requiere contar con mayores fuentes de datos que garanticen la comprensión real del entorno.

Así mismo, desde la literatura académica se ha abordado el ampliamente el uso de agregados, no solo de concreto reciclado sino de otros insumos post consumo, para aumentar la base de conocimiento que garantice que los ciclos de vida de materiales pueden extenderse a punto de garantizar la idoneidad para la construcción y reducir el impacto ambiental de la misma, con efectos positivos también en el costo del material.

Por otra parte, las entrevistas a dos profesionales del sector de la construcción, aportaron perspectivas tanto desde los procesos de obra como de la gestión integral de proyectos de construcción, siendo posible así reconocer las prácticas actuales y comunes en cuanto aprovechamiento de RCD y los posibles lineamientos para un procesamiento de concreto reciclado como agregado del concreto hidráulico.

En este sentido las principales conclusiones del proceso de entrevista, permiten determinar que actualmente no es común el uso de ACR en concreto hidráulico, si bien algunas obras pueden tener como lineamiento la producción de concreto internamente, aún no hacen uso de agregados reciclados puesto que la principal brecha se le atribuye al alto costo de los equipos. La solución ante esta restricción ha sido adquirir insumos que dentro de sus componentes incluyan agregados reciclados, un factor que está siendo aprovechado comercialmente por las cementeras en alianza con las escombreras, garantizando así que los RCD recolectados, tengan una producción y transformación en nuevos materiales y que la responsabilidad sobre este proceso quede a cargo del proveedor y no del constructor. Esta práctica es inclusive avalada por distinciones como el sello LEED, que resulta atractivo para construcciones

comerciales por el interés general del mercado de respaldar acciones de responsabilidad social empresarial.

Es de esta manera como se identifica que el uso de ACR en concreto hidráulico requiere de mayor conocimiento y difusión, en especial entre constructoras de gran tamaño que por la frecuencia y variedad de proyectos que realiza puede amortizar los costos de maquinaria, e incluir dentro de su proceso de gestión de RCD un capítulo para el aprovechamiento interno de estos residuos.

Por lo tanto, los lineamientos a los que se llegaron con la información recolectada esta orientados para empresas de construcción en la ciudad de Bogotá que hagan parte de mega proyectos en donde se pueda garantizar que existen recursos por demolición que pueden ser procesados y aprovechados en la obra, bien sea con la adquisición de la maquinaria o con la generación de proveedores que presten el servicios de trituración, haciendo así atractiva la inversión y los rendimientos de esta.

El entrevistado E1 fue claro al indicar que Bogotá tiene potencial de realizar este tipo de procedimientos y otorgar con esto a sus obras un porcentaje de reducción de huella ambiental sustancial (con los consecuentes beneficios económicos y financieros que existen para ello), ya que se tiene planteadas mega obras como 'Ciudad CAN' o 'Ministerios', que cuentan con las condiciones necesarias para hacer rentable el uso de ACR en la generación de concreto hidráulico: son obras que tienen una etapa importante de demolición, que requieren por sus características un espacio de obra suficiente para dar tratamiento a los escombros y posterior trituración de los mismos; y que fácilmente generan un adecuado flujo de materiales para garantizar el abastecimiento durante la construcción.

Por lo tanto los lineamientos y la propuesta de formulación de un plan de gestión que se presenta en el capítulo seis de este documento, permitieron definir como capítulos del plan de gestión: descripción general del proyecto, alcance, objetivo, costos asociados, fuentes de los materiales, adquisición de equipo, contratación de mano de obra, planeación de flujo de materiales y transporte, diseño de mezcla, tiempos de producción, riesgo asociado al proceso y evaluación y control.

### **5.1 NUEVAS ÁREAS DE ESTUDIO**

La propuesta presentada es una línea base que aporta al conocimiento y puesta en práctica, no solo desde el nivel técnico sino desde el nivel gerencial, para apoyar a empresas constructoras que estén interesadas en realizar una inversión para generar proyectos sostenibles que hagan uso apropiado de los RCD generados, particularmente para la ciudad de Bogotá.

Futuros estudios pueden abarcar una muestra mayor de empresas de construcción para conocer más de las prácticas en gestión de RCD y de la percepción frente al uso de agregados de concreto reciclado en concreto hidráulico, para determinar con mucha más precisión aspectos a tener en cuenta. Así mismo,

se sugiere revisar casos de estudio de mega obras tanto a nivel nacional como internacional, para documentar las prácticas que tienen frente al RCD y al uso de ACR.

## REFERENCIAS

- [1] Univeristy of Waterloo, «Project Management Plan | IT Portfolio Management. IT Portfolio Management.,» Univeristy of Waterloo., 2018.
- [2] OBS Business School. , «¿Sabes desarrollar un plan de gestión para tu proyecto?,» OBS Business School. , 2016.
- [3] Comisión Europea, «Management plans 2018,» Comisión Europea, 2018.
- [4] DANE, «Ficha ICCP,» DANE, Bogotá, 2018.
- [5] K. Verian, W. Ashraf y Y. Cao, «Properties of recycled concrete aggregate and their influence in new concrete production.,» *Resources, Conservation And Recycling*, vol. 133, pp. 30-49. doi: 10.1016/j.resconrec.2018.02.005, 2018.
- [6] Project Management Institute, Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos. (6xta edición), Pennsylvania: PMI, 2017.
- [7] S. Sambrok, Introduction to Organisations and People, United Kingdom: Presentation, Bangor, Gwynedd, 2016.
- [8] A. Lester, Project management, planning and control. 5th ed., Oxford: Butterworth-Heinemann., 2007.
- [9] P. Rabinowitz, «Capítulo 15. Ser un dirigente efectivo | Sección 1. Desarrollar un plan de gestión | Sección Principal |,» Community Tool Box., 2018.
- [10] Praxis Framework Limited., «Management plans.,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.praxisframework.org/en/method/management-plans>. [Último acceso: 27 abril 2018].
- [11] S. Ray, «How to Create a Project Management Plan.,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.projectmanager.com/blog/project-management-plan>. [Último acceso: 27 abril 2018].
- [12] A. M.-R. R. Lasso-Aguirre, «Evaluación Técnica, Económica e Institucional de la Gestión de Residuos de Construcción y Demolición en Bogotá D.C.,» Pontificia Universidad Javeriana., Tesis de maestría., 2012.
- [13] J. Castaño, R. Misle Rodríguez, L. Lasso, A. Gómez Cabrera y M. Ocampo, «Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá: perspectivas y limitantes.,»

*Tecnura*, vol. 17, nº 38, pp. doi: 10.14483/issn.2248-7638, 2013.

- [14] A. Palomino y A. Maldonado, Sustitución experimental del agregado grueso de origen pétreo, por agregado grueso producto de residuos de construcción y demolición en la ciudad de bogotá, para la elaboración de concreto hidráulico, Tesis de grado: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2018.
- [15] M. Gaitán, Lineamientos para la gestión ambiental de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá D.C., Tesis de maestría: Pontificia Universidad Javeriana, 2013.
- [16] UAESP, «Escombros Cero.,» de *Primer Foro Internacional para la Gestión y Control de los Residuos de la Construcción y Demolición RCD.* , Bogotá, 2012.
- [17] Secretaría Distrital de Ambiente, «Segundo instrumento de seguimiento para el control a la generación y disposición final de escombros, Tercera versión de la Guía de PG-RCD.,» Secretaría Distrital de Ambiente, Bogotá, 2015.
- [18] «Escombros Generados por Obras de Construcción en Bogotá Gestionados-Finalizado-,» PEGOC; Secretaría Distrital de Ambiente, Bogotá, 2017.
- [19] Á. Chávez Porras, A. Mejía Cardona y O. Bernal López, «Análisis de información sobre el manejo y gestión de escombros a nivel nacional e internacional.,» *Revista Gestión En Ingeniería Neogranadina*, vol. 3, nº 1, 2011.
- [20] Secretaría del Hábitat; Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, «Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos –PGIRS.,» SDA; UAESP, Bogotá, 2016.
- [21] Secretaría Distrital de Ambiente, «Guía para la elaboración del plan de gestión de residuos de construcción y demolición - RCD en la obra. Bogotá, Colombia: SDA,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.ambientebogota.gov.co/web/publicaciones-sda/cartilla-rcd>. [Último acceso: 30 Abril 2018].
- [22] W. Martínez-Molina, A. Torres-Acosta, E. M. Alonso-Guzmán, H. L. Chávez-García, H. Hernández-Barrios, C. Lara-Gómez, W. Marínez-Alonso, J. T. Pérez-Quiroz, J. A. Bedolla-Arroyo y F. M. González-Valdéz, «Concreto reciclado: una revisión,» *Revista ALCONPAT*, vol. 5, nº 3, pp. 235-248, 2015.
- [23] A. Lasso y R. Misle, «Evaluación Técnica, Económica e Institucional de la Gestión de Residuos de Construcción y Demolición en Bogotá D.C.,» Pontificia Universidad Javeriana, Tesis maestría., 2012.

- [24] D. Sanchez de Guzmán, «Tecnología del concreto y del mortero,» Bhandar Editores, Bogotá, 2001.
- [25] Argos, «Agregados reciclados: ¿qué y para qué?,» 2013. [En línea]. Available: <http://blog.360gradosenconcreto.com/agregados-reciclados-que-y-para-que/>. [Último acceso: 28 abril 2018].
- [26] Ó. Palacio-León, Á. Chávez-Porras y Y. Velásquez-Castiblanco, «Evaluación y comparación del análisis granulométrico obtenido de agregados naturales y reciclados,» *Tecnura*, vol. 21, nº 53, p. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.3.a06, 2017.
- [27] C. Bedoya y L. Dzul, «El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana.,» *Revista Ingeniería De Construcción*, vol. 30, nº 2, pp. 99-108. doi: 10.4067/s0718-50732015000200002, 2015.
- [28] I. Marztínez-Soto y C. Mendoza-Escobedo, «Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados.,» *Ingeniería, Investigación Y Tecnología*, vol. 7, nº 3, 2006.
- [29] C. Zheng, C. Lou, G. Du, X. Li, Z. Liu y L. Li, «Mechanical properties of recycled concrete with demolished waste concrete aggregate and clay brick aggregate.,» *Results In Physics*, vol. 9, pp. 1317-1322., 2018.
- [30] H. Guo, C. Shi, X. Guan, J. Zhu, Y. Ding y T. Ling, «Durability of recycled aggregate concrete – A review.,» *Cement And Concrete Composites*, vol. 89, pp. 251-259. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2018.03.008, 2018.
- [31] M. Wijayasundara, P. Mendis y R. Crawford, «Integrated assessment of the use of recycled concrete aggregate replacing natural aggregate in structural concrete,» *Journal Of Cleaner Production*, vol. 174, pp. 591-604. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.10.301, 2018.
- [32] H. Castro Silva, H. Diez Silva y L. Quijano Brand, «Plan de gestión de costos en dirección de proyectos: aplicación en una empresa del sector minero-industrial de Colombia.,» *Revista EAN*, vol. 74, nº 22, p. <http://dx.doi.org/10.21158/01208160.n74.2013.734>, 2013.
- [33] J. A. Vega, «Aprovechamiento y disposición de RCD,» de *Primer Foro Internacional para la gestión y control de residuos de la construcción y demolición.*, Bogota, 2012.
- [34] L. Latorre, *Gestión integral de los residuos susceptibles de aprovechamiento,*

generados en las actividades de construcción de vías en Colombia, Tesis de grado: Universidad Militar nueva Granada, 2017.

- [35] Asociación española de reciclaje de residuos de construcción y demolición, «Cálculo estimativo de RCD producidos en obra,» RCD Asociación, 2016. [En línea]. Available: <http://www.rcdasociacion.es/documentacion/calculo-rcd-obras>. [Último acceso: 23 Septiembre 2018].
- [36] S. Olivera, Recomendaciones técnicas sobre las especificaciones actuales, respecto al uso de material RCD proveniente de construcciones verticales en bases y subases en pavimentos de la malla vial de Bogotá, Trabajo de posgrado: Universidad Militar Nueva Granada., 2016.
- [37] M. Ospina, L. Moreno y K. Rodríguez, «Análisis técnico-económico del uso de concreto reciclado y el concreto convencional en Colombia.,» *Actas de Ingeniería*, vol. 3, pp. 36-47, 2017.
- [38] Empresa consultora en gestión ambiental de proyectos de construcción, Interviewee, *Elementos del plan de gestión para uso de ACR en concreto hidráulico..* [Entrevista]. 19 Octubre 2018.
- [39] Gran empresa constructura, Interviewee, *Elementos del un plan de gestión para el uso de ACR en concreto hidráulico..* [Entrevista]. 25 Octubre 2018.

## ANEXO 1 Formato de entrevista

### UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

Facultad De Ingeniería

Fecha: \_\_\_\_ de: \_\_\_\_ de 2018

El siguiente instrumento hace parte del proyecto de investigación “Formulación de un plan de gestión para el uso de agregados de concreto reciclado en concretos hidráulicos para una empresa constructora en la ciudad de Bogotá”, con el objetivo de elaborar la formulación de un plan de gestión para el uso de agregados de concreto reciclado en empresas constructoras en la ciudad de Bogotá.

#### Entrevista a empresarios

Nombre: \_\_\_\_\_ Cargo: \_\_\_\_\_

Correo electrónico: \_\_\_\_\_ Teléfono: \_\_\_\_\_

#### Caracterización de la empresa

Nombre de la empresa: \_\_\_\_\_ Número de empleados: \_\_\_\_\_

Tiempo en el mercado: \_\_ (años). Tamaño empresa: Micro \_\_ Pequeña \_\_ Mediana \_\_ Grande \_\_

#### Gestión de proyectos de construcción con ACR

|                         |  |
|-------------------------|--|
| <b>Integración</b>      | 1. ¿Qué lineamientos ha definido la empresa para el uso de los agregados de cemento reciclado (ACR)?   |
| <b>Alcance</b>          | 2. ¿En qué porcentaje utilizan ACR en las mezclas de concreto hidráulico en los proyectos de construcción?   |
|                         | 3. ¿Cómo se define dicho porcentaje?   |
| <b>Tiempo</b>           | 4. ¿Qué incidencia tiene el uso de ACR en el concreto hidráulico en la planificación del tiempo de un proyecto de construcción?                            |
| <b>Costos</b>           | 5. ¿Qué incidencia tiene el uso de ACR en el costo de un proyecto de construcción?   |
|                         | 6. En términos de costos y cuidado ambiental, ¿Cuál es la proyección de la empresa en referencia a la utilización de ACR?                                  |
| <b>Calidad</b>          | 7. ¿Qué criterios de calidad se deben prever en los proyectos de construcción con el uso de ACR en el concreto hidráulico?                                 |
| <b>Recursos humanos</b> | 8. ¿Cuáles son las estrategias de capacitación que realiza la empresa para el uso y manejo de agregados de cemento reciclado en sus obras de construcción? |
| <b>Comunicaciones</b>   | 9. ¿Cuentan con una estrategia para comunicar el uso de ACR en proceso de construcción?  |
| <b>Riesgo</b>           | 10. ¿Qué aspectos se deben tener en cuenta en el plan de riesgos en la inclusión de ACR en el concreto hidráulico?   |
| <b>Adquisiciones</b>    | 11. ¿Qué lineamientos se deben tener en cuenta para elegir proveedores de ACR?   |
| <b>Interesados</b>      | 12. ¿Qué costos económicos, ambientales y sociales demanda la utilización de ACR en proyectos de construcción?   |

## ANEXO 2 Análisis de entrevistas realizadas

| VARIABLES                               | E1: CONSULTORA  | E2: EMPRESA CONSTRUCTORA   |
|---|---|--|
| <b>Características del entrevistado</b> | <p>Consultoría ambiental, reportes de sostenibilidad, análisis de ciclo de vida.</p> <p>Experiencia con RCD, trabajos con Min. Ambiente en RCD para construcción; esquema de economía circular para el uso de RCD en los concretos.</p>   | <p>30 años en Colombia, empresa de Medellín.</p> <p>Política (no documentada): 90% el concreto que consumen los proyectos se hace en obra. Si no se requiere en la obra, la condición logística es diferente (proyectos pequeños).</p> <p>Equipo de producción de concreto.</p> <p>Proyectos con aprox. 40k m3 de concreto en estructura, sin cimentaciones ni pilotaje. 15-20-25k m3 pequeños. 75-80km 3 en Bogotá.</p> <p>Un proyecto VIS, construcción industrializada, mensualmente fabricando 15k m3 de concreto en obra. Toda la logística, proveedores- mensualmente 35m3 de escombros, de material reciclable: concreto, mampostería, residuos de corte (baldosín, barrido).</p>   |
| <b>Integración</b>                      | <p>Uso de RCD como parte de una política de responsabilidad social. Explorar nuevos negocios, nuevos mercados, moverse en economía diferentes.</p> <p>Al ser un tema de responsabilidad, la inyección económica es muy baja.</p> <p>Uso de adición de RCD en el Clinker. Concreto (cemento, arena, grava, Clinker (mezcla arcilla, roca caliza "cemento crudo"))...&gt; quitan el Clinker y lo remplazan por material RCD. Reduce la presión sobre los agregados pétreos naturales.</p> <p>Las empresas que producen concreto utilizan en el Clinker el RCD.</p> <p>Los cementos ya tiene el agregado.</p> <p>Las empresas tienen políticas dirigidas a los temas de cementos que tengan aditivos de Clinker.</p> | <p>La empresa le ha costado definir, o no ha estructurado, una política que oriente el uso o reúso determinado % de los ACR que se generan en la obra.</p> <p>Se reutilizan sí, pero no para concreto, para relleno de cimentación, mejoramiento de vías temporales de proyecto.</p> <p>A pesar de fabricar mucho concreto no se evidencia la importancia de la reutilización.</p> <p>El país no se ha hecho un gran avance, las grandes concreteras son las que se están quedando con el negocio, por eso compran los residuos de la obra para llevar el material y procesarlo (como lo pide la norma ambiental).</p> <p>Política de reutilización de escombros, pero no en concreto.</p> |

|         |   |  |
|---------|---|--|
|         | <p>ES MÁS FACIL DAR ESA RESPONSABILIDAD AL PROVEEDOR, QUE MONTAR EL PROGRAMA E INFRAESTRUCTURA PARA PODERLO HACER.</p> <p>Es una cuestión de economía a escala, ACR requiere demolición.</p> <p>Las empresas grandes pueden amortizar la compra de las maquinas. La pequeña empresa en obras típicas no tiene los recursos para implementar el proceso.</p> <p>El grande debería empezar en su cadena de suministro e identificar que proveedores pueden hacerlo o montarlo él y asumir el costo.</p>   |  |
| Alcance | <p>Al demoledor le interesa expedir un certificado y valorizar lo que puede, el RCD se dispone a canteras.</p> <p>Seria para empresas que tenga una estructura grande, el pequeño solo se limita a cumplir la ley.</p> <p>En la implementación se hace como valor agregado pero no valor económico.</p> <p>No hay una adecuada selección de materiales. Se requiere un plan de gestión que garantice que la gestión se hace (gestor, seleccionador, conocimiento técnico, espacio, equipo)</p> <p>Hay empresas que trituran el material por hora.</p> <p>25% de los materiales en peso o volumen que use en su obra. Cantidades...m3...total...25%... materiales con contenido reciclado, aprovechado o reutilizado.</p> <p>1. Calcular el volumen que va a generar de escombros.</p> | <p>Para los directores de proyectos los ACR no son importantes en este momento. Hacia futuro va ser importante, pero en este momento realmente no se implemente. La gerencia no está interesada.</p> <p>1 al 2% de reutilización en obra, no en concreto. El porcentaje lo define el tamaño del proyecto, y las actividades en las que está el proyecto, es complicado al comienzo y al final utilizarlos en el precio, ya que se va cerrando el espacio del proyecto que impide utilizar el material.</p> |

|         |   |  |
|---------|---|--|
|         | 2. costo compra equipo, recurso humano, control de flujo de material, planeación movimientos de la máquina, dónde se entrega el material,   |  |
| Tiempo  | Plan selección para las obras, montar un equipo de trituración, rotar el equipo obra por obra.  | Suma tiempos por el tratamiento y procesamiento del escombros para que sea idóneo en el uso en la construcción.<br>0% no tiene incidencia.   |
| Costo   | <p>Para las empresas pequeñas no es rentable generar procesos de ACR en las obras.<br/>Para que sea rentable se debe garantizar que se debe generar la suficiente cantidad de residuo que justifique poner a trabajar la máquina.</p> <p>Costo se da principalmente en el transporte, ¿de dónde se trae el agregado?</p> <p>si se produce el agregado en la obra, el costo es la amortización de la maquina (200ml de pesos, mantenimiento, consumibles, energía eléctrica)</p> | <p>Requiere una alta inversión en equipos, espacios y costo por el tratamiento del escombros.</p> <p>Se tuvo la iniciativa, pero la gerencia no aprobó la adquisición de la maquinaria de procesamiento (15, 20 mil de pesos por un elemento pequeño).</p> <p>Incidencia positiva en costos por el uso de residuos. Una maquina puede costar 10ml y el operario 1 a 1.5 mil de \$, alrededor de proyectos donde no hay urbanismo, o hay más espacio 100 a 200 m3 de concreto no estructural, allí se puede utilizar. El costo hecho en obra vs el traído por fuera; por obras pequeñas, u obras provisionales; el costo está por encima del costo del equipo y la persona. El equipo se puede usar en la obra y luego trasladarlo, pero la gerencia no se da cuenta que los solados o concretos pobres, y en los proyectos se utiliza grava fina (que es costosa), cementos concreteros que dan resultado m3 excesivamente caros, que podría ser compensado con el uso de la molienda para la producción de dichos materiales.</p> |
| Calidad | <p>No en todos los proyectos esta la oferta de la obra. (Por proceso de calidad, la idea es que no se genere escombros &lt;1%) El sistema de gestión hace que el residuo no se genere.</p> <p>Hay cemento portland tipo 1 y tipo 2 no se permiten adiciones.</p> <p>non 10 barrera porque no se promueve el uso de productos RCD, homologar muy difícil</p>   | Solo si la ley lo exige, se puede implementar.   |

|                   |  |   |
|-------------------|--|---|
| Recurso humano    | <p>Plan de capacitación</p> <p>1. propiedades técnicas de los materiales</p> <p>2. costos, amortizaciones, comparación modelos de economías circulares, excesiones tributarias x manejo de residuos sólidos. Valorización del proyecto, cautivar nuevos inversores.</p>  | <p>La cultura de separación.</p> <p>Plan de capacitaciones para reutilización.</p> <p>Certificaciones 14, 9, 18, obligan a tener estrategias de comunicación, y definir rangos de extracción, recolección cuidado de los escombros como su disposición final. No se obliga a reutilizar en concretos.</p>   |
| Comunicaciones    | <p>Ejercicio desde ventas, para cautivar al mercado.</p> <p>Ferias, web, investigación, CCB (programas de promoción estrategias verdes), créditos verdes</p>   |   |
| Riesgo            | <p>Retos de planeación para implementar el uso de ACR en una obra puntual.</p> <p>riesgo económico (que no den los números, evaluación financiera) / riesgo técnico (separación, mezcla) --&gt; capacitación y control, +tecnología</p>  | <p>La normas establecen mapas de riesgos, pero no existen en función de los ACR-</p>  |
| Adquisiciones     | <p>En los procesos de negociación con los proveedores, dentro de los criterios de compra y selección requieren de certificaciones que indican cuanto % de que elemento tiene (% Clinker, %etc.) yo le exijo que tenga % (p.e. certificación leed requiere que los materiales sean pos consumo (escoria de...) cap. materiales leed). Las constructoras que aplican a certificación leed en la negociación con proveedores tengan materiales reciclados, entre ellos proveedores de concreto.</p> | <p>En la cultura colombiana, no se puede confiar por ejemplo en una adquisición solo por palabra.</p> <p>Muy pocos proveedores de sacar el RCD, 'una vez sale de la obra, no es nuestro problema'. No se hace seguimiento a dónde se lleva o que se hace con él.</p> <p>No hay empresas que se acerquen a la obra y ofrezca la molienda para hacer uso del RCD en la obra como agregados.</p>   |
| Grupos de interés | <p>Sellos de sostenibilidad son atractivos para la responsabilidad social, tanto de las constructoras porque valorizan el proyecto, como para las empresas que pueden ubicarse allí después, dado que son criterios para su operación (adquirir certificaciones, sellos).</p>  | <p>Gerente de proyectos no se orienta hacia el uso de ACR. En obra, la cultura tampoco está acostumbrada a separar adecuadamente los escombros.</p> <p>Existen muchos interesados por la reducción de costos, la incidencia ambiental, pero no se toman acciones hacia el uso de RCD dentro de la obra como agregados de concreto</p> <p>Certificar el uso de este tipo de agregados, apoyaría a mejorar la venta de los proyectos.</p> |

|                       |   |   |
|-----------------------|---|---|
| Información adicional | Proyecto ciudad CAN requiere demoler gran cantidad de infraestructura, evita transporte, evita compra del agregado, genera valor económico, reduce emisión de gases, hay un balance positivo de costo de oportunidad. | #el papeleo es lo más fácil, la mentalidad es lo más difícil<br><br>La construcción en Colombia no tiene la cultura PMI   |
|                       | Consultar Medellín caso de escombros  | 35m3 promedio en generación de escombros por proyecto   |
|                       |   | 300m3 de material para molienda 100-200m3 de concretos no estructurales, que por fuera pueden costar 20 a 50 millones de pesos. La inversión inicial es alta, pero a futuro es mínima.  |
|                       |   | Esto es un tema más de conciencia, a futuro las empresas que lo manejen serán las empresas de vanguardia  |
|                       |   | LeedPlatinum, leed da puntos por reutilización de materiales en concretos, pero los concretos de Argos, es decir Argos certificaba que el concreto usaba el ACR. 1% de acr en concreto. Agregado grueso. 800kg... es hablar de 9kg. |

