

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL**



Trabajo de Grado

“Evaluación Técnica, Económica e Institucional de la Gestión de Residuos de Construcción y Demolición en Bogotá D.C.”

PRESENTADO POR

Ing. Andrés Leonardo Lasso Aguirre
Ing. Rodrigo Misle Rodríguez

DIRECTOR ACADÉMICO

Ing. Jesús Orlando Castaño

CODIRECTOR

Ing. Pedro Misle Benítez

**BOGOTÁ D.C.
Octubre De 2012**

APROBACIÓN

El Trabajo de Grado con título "Evaluación Técnica, Económica e Institucional de la Gestión de Residuos de Construcción y Demolición en Bogotá D.C.", desarrollado por los estudiantes ANDRÉS LEONARDO LASSO AGUIRRE Y RODRIGO MISLE RODRÍGUEZ, en cumplimiento de uno de los requisitos dispuestos por la Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, para optar el Título de Magister en Ingeniería Civil, fue aprobado por:

Jesús Orlando Castaño

Director

Adriana Gómez Cabrera

Jurado 1

Carlos Ricardo Rey

Jurado 2

Evaluación Técnica, Económica e Institucional de la Gestión de Residuos de Construcción y Demolición en Bogotá D.C.

Ing. Andrés Leonardo Lasso Aguirre

Ing. Rodrigo Misle Rodríguez

La Pontificia Universidad Javeriana, no es responsable por los conceptos emitidos por los autores-investigadores del presente trabajo, por lo cual son responsabilidad absoluta de sus autores y no comprometen la idoneidad de la institución ni de sus valores.

Vale todo este esfuerzo para regalarle a Bogotá D.C.,
una solución que ayude a crecer como una ciudad
ejemplar para el mundo

AGRADECIMIENTOS

A Dios, nuestro padre celestial, por darnos la oportunidad de tropezarnos y unir banderas para regalarle una propuesta de futuro a la ciudad de Bogotá. Gracias por todo lo vivido y darnos una amistad inolvidable.

A nuestros padres y familia, por darnos la oportunidad de crecer como profesionales y apoyarnos en nuestro proyecto de vida.

A nuestras compañeras (Natalia y María Virginia); Su entrega diaria y apoyo fue fundamental para la culminación de nuestros sueños. Gracias por estar siempre con una sonrisa en las mañanas para afrontar este reto único en nuestras vidas.

A los Ingenieros. Fredy Alberto Reyes Lizcano, Director de la Maestría en Ingeniería Civil y Jesús Orlando Castaño, por su disposición y dedicación en el desarrollo y perfeccionamiento de esta investigación.

A los Ingenieros Pedro Julián Misle Benítez y Carlos Rey Ricardo, por compartir sus amplios conocimientos y experiencia en el desarrollo de este proyecto.

A los profesores Wilmar Fernández y Jorge Trujillo Navarrete, por colaborar con el mejoramiento y contribución de los resultados del proyecto.

A la empresa constructora especializada y Conalvias, por permitirnos realizar nuestra investigación en sus instalaciones y darnos todo el apoyo requerido por parte del personal que labora dentro de mencionadas empresas.

A todo el equipo de técnicos y profesores que laboran en el laboratorio de la Pontificia Universidad Javeriana, por todo el soporte académico y técnico entregado a esta investigación.

A la oficina del fomento de la Investigación de la Pontificia Universidad Javeriana, por creer en nuestro proyecto y ayudarnos a difundirlo por toda la ciudad.

A nuestros grandes amigos Jonathan Vera y Flavio Palmi, por compartir su amistad y tiempo en este proyecto. A todos los compañeros (Nidia, Ángela, David, Werner, Sergio, Fernando), por su incondicional ayuda y amistad.

RESUMEN

Los residuos sólidos provenientes del concreto y de otros materiales como cerámicos, yeso, material granular y otros contaminantes como la madera, vidrio, metal, sobrante de las actividades de construcción, reparación o demolición de las obras civiles o de otras actividades conexas, complementarias o análogas es llamado residuo de construcción y demolición y abreviado mediante las siglas RCD. Mencionados residuos presentan distintas propiedades a los agregados naturales, entre ellas se encuentran una mayor absorción, menor densidad, menor resistencia, menor dureza y menor desgaste (concretos, cerámicos); la diferencia en dichas propiedades estará ligada directamente a la calidad del concreto del cual proceda y de la presencia de contaminantes e impurezas. Actualmente en la ciudad de Bogotá D.C., se generan ochenta millones de metros cúbicos por año con una tasa de crecimiento cercana al 5.2% anual. Los sitios de disposición final, también llamados escombreras, confrontan una serie de problemas de disponibilidad de lotes y afectación de cauces naturales, razón por la cual mencionados sitios cada vez resultan insuficientes para acoger los crecientes volúmenes de residuos generados por la vigorosa actividad constructiva de la ciudad. Con un simple aprovechamiento del 25% de los residuos generados en el distrito capital, podría llegarse a reducir la disposición en 12 años en un 74% aproximadamente. El propósito de este estudio es demostrar que la gestión de RCD en la ciudad de Bogotá D.C., puede ser asumida por medio de organizaciones(privadas y/o públicas),previamente constituidas ó inversiones (nacionales o extranjeras) mediante un análisis económico-financiero, elaborando indicadores de riesgo e inversión, además de determinar las opciones técnicas que se requieren para cada proceso de generación, clasificación, transporte, disposición y reutilización de escombros; para esto se realizaron convenios con sitios de disposición final para realizar una valoración sobre el material generado, luego el material fue procesado y llevado al laboratorio para realizar una caracterización física y mecánica del material pétreo (concreto reciclado) bajo los parámetros de las especificaciones técnicas I.N.V.E., dando resultados satisfactorios para la construcción de bases, subbases, material pétreo para concretos hidráulicos y asfálticos, así como la generación de productos innovadores entre ellos una loseta permeable para senderos peatonales. Al finalizar nuestra investigación se realizará una propuesta para promover arreglos institucionales u organizativos que logren incitar la gestión del reciclaje de forma efectiva en la ciudad.

Palabras claves: Residuos de construcción y demolición, RCD, propiedades de los RCD, gestión de RCD, caracterización de RCD, loseta permeable reciclada, evaluación económica RCD, rentabilidad RCD, Reciclado de residuos.

ABSTRACT

Solid residues from concrete and other materials, such as ceramic, plaster, granular material and other contaminants materials such as wood, glass, metal, construction's leftovers, repair or demolition activities of civil engineering works or related activities are called construction and demolition waste and abbreviated by the acronym C&DW. Mentioned residues present different properties to natural aggregates, including more absorption, lower density, lower resistance, lower hardness and lower wear (concrete, ceramic), the difference of these properties will be tied directly to the quality of the original concrete and the presence of contaminants and impurities. Currently in the city of Bogotá, are generated eighty million cubic meters per year with a growth rate close to 5.22% per year; the disposal sites also called waste dumps, faced a number of problems of plot's availability and natural waterways affected, reason why this sites are increasingly insufficient to accommodate growing volumes of waste generated by the vigorous construction activity in the city. A simple use of 25% of the waste generated in the district capital, could reduce the disposal reached in 12 years by 74% approximately. The purpose of this study is to demonstrate that the management of C&DW in Bogotá DC, can be assumed by organizations (private and / or public), previously established or investment (local or foreign) through an economic and financial analysis using investment risk indicators, in addition to determining the technical options that are required for each process generation, classification, transportation, disposal and reuse of debris; for this purpose agreements were made with final disposal sites for the assessment of material generated, then the material was processed and taken to the laboratory for physical and mechanical characterization of petrous material (recycled concrete) under the parameters of the technical specifications of I.N.V.E., proving beneficial results for the construction of bases, subbases, petrous material for hydraulic and asphalt concrete and the generation of innovative products including a permeable slabs for footpaths. At the end of our research will be a proposal to promote institutional or organizational arrangements that encourage management to achieve effectively recycling in the city.

Keywords: Construction and demolition wastes, C&DW, C&DW properties, management of C&DW, C&DW characterization, permeable recycled slabs, economic evaluation C&DW, C&DW profitability, institutional C&DW, Waste Recycling

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2	JUSTIFICACIÓN	4
1.3	OBJETIVOS.....	6
1.3.1	OBJETIVO GENERAL.....	6
1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.4	ALCANCE	7
2	METODOLOGÍA.....	8
3	MARCO CONCEPTUAL Y REFERENCIAL.....	13
3.1	RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)	13
3.2	ORÍGENES Y DESTINOS DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)	18
3.3	ESTRATEGIAS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD).	22
3.4	BASES CONCEPTUALES Y REFERENCIALES PARA LA EVALUACIÓN. 24	
3.4.1	EVALUACIÓN TÉCNICA.....	24
3.4.2	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	43
3.4.3	EVALUACIÓN INSTITUCIONAL	53
3.5	LA SITUACIÓN DE LOS RCD A NIVEL INTERNACIONAL.....	54
3.6	LA SITUACIÓN DE LOS RCD EN COLOMBIA GENERACIÓN Y PRODUCCIÓN DE RCD.....	61
3.6.1	IMPACTOS AMBIENTALES.....	64
3.6.2	COSTOS	66
3.6.3	SITIOS DE DISPOSICIÓN	68
3.6.4	MARCO LEGAL.....	71
4	FORMULACION DE PROPUESTAS.....	80
4.1	TRABAJO DE CAMPO.....	80
4.2	ENSAYOS EN LABORATORIO	85
4.2.1	GRANULOMETRÍA	85

4.2.2	ENSAYO DE MORTERO ADHERIDO AL AGREGADO (MÉTODO DEL CHOQUE TÉRMICO).	90
4.2.3	DUREZA:	91
4.2.4	DURABILIDAD:	91
4.2.5	LIMPIEZA:	91
4.2.6	GEOMETRÍA:	91
4.2.7	RESISTENCIA:	91
4.2.8	DISEÑO:	91
4.2.9	ENSAYO DE MORTERO ADHERIDO:	95
4.2.10	RELACIÓN DE SOPORTE DE UN MATERIAL (CBR).	95
4.3	GENERACIÓN DE NUEVOS PRODUCTOS BIOSOSTENIBLES:	97
5	EVALUACIÓN DE LAS PROPUESTAS:	100
5.1	INVERSIÓN COSTO E INGRESOS DE CADA PROPUESTAS:	106
5.1.1	MODELO 1: “RECOLECCIÓN Y PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)”	106
5.1.2	MODELO 2: “PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)”	126
5.1.3	MODELO 3: “PLANTA DE TRATAMIENTO Y FABRICACIÓN DE CONCRETO Y PRE-FABRICADOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)”	144
5.2	COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA TOMA DE DECISIÓN:	160
5.3	VALORACIÓN SOCIAL	163
5.4	EVALUACIÓN INSTITUCIONAL	164
6	CONCLUSIONES	167
7	RECOMENDACIONES:	172
8	REFERENCIAS	173

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Metodología esquematizada por fases.	9
Figura 2.	Diagrama de proceso de la generación y procesamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD).	21

Figura 3. Procesos para la obtención de material reciclado.....	25
Figura 4. Trituradora de mandíbulas. Fuente. Crushing and screening handbook METSO 2011.....	27
Figura 5. Trituradora de impacto. Fuente. Crushing and screening handbook METSO 2011.	28
Figura 6. Trituradora de cono. Fuente. Crushing and screening handbook METSO 2011.	29
Figura 7. Sistema fijo de trituración. Fuente. Crushing and screening handbook METSO2011.....	30
Figura 8. Sistema móvil de trituración. Fuente. Crushing and screening handbook METSO 2011.....	31
Figura 9. Relación entre la absorción y la densidad en áridos reciclados según su tamaño .Transcurridos 10 minutos. Fuente: Kobayashi, S; Kawano, H 1988.....	35
Figura 10 Relación entre la absorción y la densidad en áridos reciclados según su tamaño transcurridas 24 horas. Fuente: Kobayashi, S; Kawano, H 1988	36
Figura 11. Resistencia a la compresión para diversos porcentajes de agregado reciclado. Fuente Poon (2004)	40
Figura 12.Relación entre la resistencia compresión del concreto original y el reciclado. Ravindrajah (1985).....	42
Figura 13. Comportamiento de la Inflación año Marzo 2006- Marzo 2012. Fuente DANE y Banco de la República 2012.....	45
Figura 14. Inflación Acumulada (2012-2020).....	46
Figura 15. Índice de Costos de la construcción pesada (ICCP). Año (2012-2022). ..	46
Figura 16. Porcentaje de RDC reutilizado por Desconstrucción en diferentes países (kibert 2009)	56
Figura 17. Generación y reutilización de materiales RDC en EE.UU (Rao 2006)	56
Figura 18. Origen de los RCD en Argentina (Natalini 2001).....	58
Figura 19. Composición de RCD en argentina (Natalini 2001).....	58
Figura 20. Producción de RCD (Toneladas), Cataluña –España. Fuente. Álvarez 2010	60
Figura 21. Generación de RCD en la ciudad de Bogotá D.C. durante el periodo (1998-2007). (Secretaría de Hábitat de Bogotá D.C., 2009)	62
Figura 22. Tendencia de generación de RCD en la ciudad de Bogotá D.C. (Secretaría de Hábitat de Bogotá D.C., 2009)	62
Figura 23. Incidencia del sector público y privado en la generación de RCD. (COAMBIENTE 2009)	63
Figura 24. Porcentaje de crecimiento, según los sectores de la economía colombiana (Cárcamo 2008).	63

Figura 25. Afectación Ambiental teniendo en cuenta las diferentes actividades de la disposición final de RCD. (Secretaría de Hábitat de Bogotá D.C., 2009)	64
Figura 26. Caracterización de los residuos generados en Medellín en el año 2008. (Echeverry 2009).....	65
Figura 27. Costos por metro cubico (m3) para la disposición final de RCD en sitios autorizados por las entidades de Bogotá D.C. (Conalvias S.A 2011)	68
Figura 28. Disposición de escombros por localidad en la ciudad de Bogotá-Colombia. Fuente (UAESP 2011).....	70
Figura 29. Números de sitios autorizados para disposición final (2007-2012)	71
Figura 30, Marco jurídico.....	72
Figura 31. Lote Tequendama 4. Material Cerámico (L) y prefabricado (C)	82
Figura 32. Lote Tequendama 4. Material granular (G)	82
Figura 33. Lote Tequendama 4. Material Contaminado (N)	82
Figura 34. Trituradora de impacto. Modelo PC-1375.	84
Figura 35. Muestra de material reciclado tratado.	84
Figura 36. Curva granulométrica – material reciclado RCD 207-11	85
Figura 37. Granulometría del RCD Vs SBG1	85
Figura 38. Granulometría del RCD Vs. SBG2	86
Figura 39. Granulometría del RCD Vs. BG1.....	86
Figura 40. Granulometría del RCD Vs. BG2	86
Figura 41. Granulometría del RCD Vs. Bases de concreto hidráulico.....	87
Figura 42. Curva Granulométrica – Material Combinado Vs. SBG1.....	88
Figura 43. Curva Granulométrica. – Material combinado Vs. SBG2	88
Figura 44. Curva Granulométrica- Material Combinado Vs. BG1	89
Figura 45. Curva Granulométrica- Material Combinado Vs. BG2.....	89
Figura 46. Curva Granulométrica- material Combinado Vs. Bases de concreto hidráulico.....	89
Figura 47. Resultado de contenido de humedad optima – material Arena de Peña 056-11	95
Figura 48. Resultado CBR material Arena de Peña 056-11	95
Figura 49. Resultado de contenido de humedad optima- material Combinado (70-30)	96
Figura 50. Resultado CBR- Material combinado (70-30).....	96
Figura 51. Foto resultado - Loseta permeable.....	98
Figura 52. Foto resultado- ensayo a compresión.	99
Figura 53. Foto resultado- módulo de rotura	99
Figura 54. Producción del equipo de trituración 1-10 años	102
Figura 55. Equipo móvil de trituración modelo - LOKOTRACK LT1110.....	103
Figura 56 Sistema de criba móvil, modelo ST3.8.	104

Figura 57. Planta de reciclaje piloto. Producción estimada 150 TNH.....	105
Figura 58. Plano de planta- Planta de reciclaje piloto. Producción estimada 150 TNH (metso 2011)	106
Figura 59. Esquema de carga y descarga de contenedores realizado por camiones portacontenedores.	107
Figura 60. Proceso de Tratamiento de un modelo de empresa Recolección y planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD).	107
Figura 61 Presupuesto de inversión Modelo 1 “Recolección y planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD).....	108
Figura 62. Ingreso por ventas (1-10) años. Modelo 1.....	109
Figura 63. Costo de Mantenimiento- maquinaria (modelo 1).....	111
Figura 64. Costo- Salario personal técnico (modelo 1)	112
Figura 65. Costos – Varios (modelo 1).....	112
Figura 66. Costos de materiales de fabricación.	112
Figura 67. Costos indirectos (modelo 1).....	114
Figura 68. Distribución de gastos. (Modelo 1).....	116
Figura 69. Comportamiento del flujo de caja libre (modelo 1)	117
Figura 70. Distribución de la financiación (Modelo 1).....	118
Figura 71. Flujo de caja libre Vs. Flujo de caja de accionista (modelo 1).....	119
Figura 72. Costo de capital después de impuestos (WACC) (Modelo 1)	121
Figura 73. Comportamiento del valor económico agregado (EVA) (Modelo 1)	122
Figura 74. Variación del EVA (modelo 1)	123
Figura 75. Costos y Beneficios a valor presente. (Modelo 1)	123
Figura 76 Payback (Periodo de recuperación de la inversión) (Modelo 1).	124
Figura 77. Deuda Accionista Vs. Flujo de caja libre (modelo 1)	125
Figura 78 Proceso de Tratamiento de un modelo de Planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD).....	126
Figura 79 Presupuesto de inversión. Modelo “Planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) Modelo 2	127
Figura 80. Ingreso por ventas (1-10) años. (Modelo 2)	128
Figura 81. Costo de Mantenimiento- maquinaria (modelo 2).....	130
Figura 82. Costo- Salario personal técnico (modelo2)	130
Figura 83. Costos – Varios (modelo 2).....	130
Figura 84. Costo de materiales de fabricación (modelo 2).	131
Figura 85. Costos indirectos (modelo 2).....	133
Figura 86. Distribución de gastos. (Modelo 2).....	134
Figura 87. Comportamiento del flujo de caja libre (modelo 2)	135
Figura 88. Distribución de financiación del modelo Planta de tratamiento de RCD (modelo 2).....	136

Figura 89. Flujo de caja libre Vs. Flujo de caja de accionistas (Modelo 2)	137
Figura 90. Costo de capital después de impuestos (WACC). Modelo 2.....	138
Figura 91. Valor presente de los flujos futuros.	139
Figura 92. Comportamiento del valor económico agregado (EVA). Modelo 2.....	140
Figura 93. Variación del EVA. Modelo 2.....	140
Figura 94. Costos y beneficios a valor presente. Modelo 2.....	141
Figura 95. Payback (Periodo de recuperación de la inversión. Modelo 2.....	141
Figura 96. Interés (bancos + accionista) Vs Flujo de caja libre (Modelo 2).	143
Figura 97. Proceso de Tratamiento de un modelo de planta de tratamiento y fabricación de concreto y pre-fabricados de residuos de construcción y demolición (RCD)	144
Figura 98. Presupuesto de inversión. Modelo “planta de tratamiento y fabricación de concreto y pre-fabricados de residuos de construcción y demolición (RCD). Modelo 3”	145
Figura 99. Ingresos por ventas. Modelo 3	146
Figura 100. Costo de Mantenimiento- maquinaria (modelo 3).....	147
Figura 101. Costo- Salario personal técnico (modelo3)	148
Figura 102. Costos – Varios (modelo 3).....	148
Figura 103. Costo de materiales de fabricación (modelo 3).	149
Figura 104. Costos indirectos (modelo 3)	150
Figura 105. Distribución de gasto (modelo 3).....	152
Figura 106. Comportamiento del flujo de caja libre. Modelo 3	152
Figura 107. Flujo de caja libre Vs. Flujo de caja de accionistas. Modelo 3	154
Figura 108. Costo de capital después de impuestos (WACC). Modelo 3.....	155
Figura 109. Valor presente de los flujos futuros	156
Figura 110. Comportamiento del valor económico agregado (EVA). Modelo 3.....	157
Figura 111. Variación del EVA. Modelo 3.....	157
Figura 112. Costos y beneficios a valor presente. Modelo 3.....	158
Figura 113. Payback (Periodo de recuperación de la inversión). Modelo 3	158
Figura 114. Interés (Bancos + accionistas) Vs flujo de caja libre. Modelo 3.....	159
Figura 115. Comparación del flujo de caja libre total de los diversos modelos	161

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Principales características de producción de las máquinas de trituración... 29
Tabla 2. Costos aproximados del sistema de trituración.(Costo al 2012 COP) .. 31
Tabla 3. Valores de la absorción según la norma japonesa..... 37
Tabla 4. Caracterización mecánica del concreto estructural (material natural-material reciclado)..... 38

Tabla 5. Caracterización de la muestras (100 %Natural, 80 %Natural-20%Reciclado, 50% Natural-50%Reciclado)	39
Tabla 6. Resistencia a la compresión a 3, 7 y 28 días ((100 %Natural, 80 %Natural-20%Reciclado, 50% Natural-50%Reciclado). Fuente Poon (2004).....	39
Tabla 7. Resistencia a la compresión (diversos autores)	41
Tabla 8. Proporción de materiales para concretos permeables	43
Tabla 9. Producto interno bruto (2000-2011)	47
Tabla 10. Tasas de captación semanales - DTF, CDT 180 días, CDT 360 días y TCC Abril 2012	47
Tabla 11 Relación entre flujo de caja libre y el balance general.....	49
Tabla 12. Calculo del flujo de caja libre	50
Tabla 13. Cantidad de materiales es diferentes países (toneladas/persona/año) (kibert 2009)	55
Tabla 14. Procesos realizados para disposición final o reutilización de RCD. (Natalini 2001)	59
Tabla 15. Clasificación-descripción, cantidad y costo- Planta de reciclaje de Les Franqueses-España	61
Tabla 17. Comparación de costos entre un concreto con agregado RCD y otro convencional. (Echeverry 2009)	66
Tabla 18 Diferencia en costos entre la disposición final de RCD y la reutilización de RCD. (Echeverry 2009)	67
Tabla 19 Sitios de disposición final autorizados por el IDU. Agosto 2012.	70
Tabla 20 Planilla de control de despacho y recibo de materiales RCD	81
Tabla 21 Clasificación y cuantificación de material RCD (Septiembre-Diciembre 2011).	83
Tabla 22 Resultado de Ensayos de laboratorio sobre agregados reciclados y comparación con la especificaciones (INVE) para bases y subbases.....	92
Tabla 23 Resultado de Ensayos de laboratorio sobre agregados reciclados y comparación con las especificaciones (INVE) para lechadas y mezclas bituminosas.	93
Tabla 24 Resultado de Ensayos de laboratorio sobre agregados reciclados y comparación con agregados naturales	94
Tabla 25 Resultado- ensayo de mortero adherido	95
Tabla 26. Resultado Diseño de mezcla, Loseta Permeable	97
Tabla 27 Resultados de ensayo de resistencia a compresión (7, 14 y 28 días).....	98
Tabla 28 Resultado- Modulo de rotura	99
Tabla 29 Producción del sistema de trituración de RCD propuesto	102
Tabla 30 Ingresos por Ventas. Modelo 1.....	109

Tabla 31 Costos directos. Modelo “recolección y planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) Modelo 1.....	110
Tabla 32 Costos indirectos. Modelo “recolección y planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD).Modelo 1.....	113
Tabla 33 Costos unitarios de gastos. (Modelo 1)	115
Tabla 34 Financiación Bancaria (modelo 1)	118
Tabla 35 Financiación por accionista (modelo 1)	118
Tabla 36. Valores presentes de los flujos futuros por año.....	121
Tabla 37. Valores de los descuentos límites que permite el proyecto.....	124
Tabla 38 Ingresos por Ventas. (Modelo 2).	128
Tabla 39. Costos directos. Modelo “Recolección y planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) Modelo 2.....	129
Tabla 40 Costos indirectos. Modelo “planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD)”. Modelo 2	132
Tabla 41 Costos unitarios de gastos (Modelo 2)	133
Tabla 42 Financiación Bancaria (modelo 2).	136
Tabla 43 Financiación por accionista (modelo 2).	136
Tabla 44. Valores de los descuentos límites que permite el proyecto.....	142
Tabla 45. Producción de material para ventas al público.	146
Tabla 46 Costos directos. Modelo “Planta de tratamiento y fabricación de concreto y pre-fabricados de residuos de construcción y demolición (RCD)”	147
Tabla 47 Costos indirectos. Modelo “planta de tratamiento y fabricación de concreto y pre-fabricados de residuos de construcción y demolición (RCD)” Modelo 3	150
Tabla 48. Costo unitario de gastos (modelo 3).....	151
Tabla 49 Financiación Bancaria (modelo 3).	153
Tabla 50 Financiación por accionista (modelo 3).	153
Tabla 51. Valores de los descuentos límites que permite el proyecto.....	159
Tabla 53. Parámetros económicos y financieros de las diversas alternativas.....	162
Tabla 54. Valoración social.	164
Tabla 55. Planilla de verificación y clasificación de RCD.	165

ANEXOS

ANEXO 1.....	168
ANEXO 2.....	169
ANEXO 3.....	170
ANEXO 4.....	171

1. INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Un estudio realizado en la ciudad de Bogotá D.C., referencia que la generación, clasificación, transporte, disposición y reutilización de escombros de los residuos de construcción y demolición se realiza de forma inadecuada (UAESP, 2009). Los constructores tanto de obras públicas como privadas, acopian dichos residuos sin ningún tipo de separación y clasificación privando así la oportunidad de su reutilización, ello a su vez, impide reducir los volúmenes que deben ser recogidos y transportados, dificultando su disposición final en los sitios habilitados para tal fin. Los sitios de disposición final también llamados escombreras, confrontan una serie de problemas y cada vez resultan insuficientes para acoger los crecientes volúmenes de escombros generados por la vigorosa actividad constructiva de la ciudad. Las prácticas actuales de reciclaje y aprovechamiento de dichos residuos no son adecuados o escasos, lo que niega las posibilidades de hacer menos onerosa la gestión, incluso de rentabilizarla, por otro lado los ingentes volúmenes de áridos requeridos para la construcción de viviendas e infraestructura vial, hacen inmediata la necesidad de reutilizar estos residuos (Secretaría Distrital del Hábitat, 2009).

Determinar las opciones técnicas que se requieren en cada proceso de generación, clasificación, transporte, disposición y reutilización de escombros de los residuos de construcción y demolición, así como sus costos, posibles beneficios y opciones organizativas para mejorar su eficiencia y eficacia, es la finalidad del presente trabajo. Se pretende de esta manera aportar lineamientos, criterios y propuestas que permitan mejorar las actuales prácticas del manejo de los residuos de construcción y demolición que se generan en la ciudad de Bogotá.

Los residuos de construcción y demolición (RCD) generados en la ciudad de Bogotá, se dividen en dos grupos principales de acuerdo con sus características y origen: Tierras y materiales pétreos (tipo A) y escombros (tipo B) (Coambiente 2009). Los materiales tipo A, son todos aquellos compuestos por tierras y materiales pétreos exentos de contaminación procedentes de obras de excavación del suelo; los materiales tipo B (escombros), son aquellos residuos, básicamente inertes, constituidos por: tierras y áridos mezclados, piedras, restos de concreto, restos de pavimentos asfálticos, materiales refractarios, ladrillos, vidrios, plásticos, yesos, metales, maderas y, en general, todos los desechos que se producen por el movimiento de tierras, construcción de edificaciones y obras de infraestructura, así como los generados por la demolición o reparación de edificaciones existentes.

En la ciudad de Bogotá, según la unidad administrativa especial de servicios públicos (UAESP 2009) el volumen de escombros generados por el sector público entre los años 1998 y 2007 es de veintidós millones ciento cincuenta y cinco mil ciento cuarenta y cuatro metros cúbicos ($22.155.144 \text{ m}^3$), mientras que el sector privado genera un volumen de sesenta millones ciento ochenta y un mil novecientos cincuenta y ocho metros cúbicos ($60.181.958 \text{ m}^3$) (Camacol 2008). La distribución de cada uno de los sectores en el distrito es representada por el 71% sector privado y 29% sector público, con una tasa de crecimiento aproximada del 5.22% anual, obteniéndose así, una aproximación para el año 2020 del volumen de escombros cercana a doscientos catorce millones setenta y tres mil novecientos cuarenta y ocho metros cúbicos ($214.073.948 \text{ m}^3$) (Camacol 2008).

Las regulaciones ambientales existentes para controlar los botaderos, escombreras u otros sitios autorizados por las entidades responsables; dichas medidas carecen de evaluaciones de manera sistemática, falta de información sobre el impacto ambiental real que estos residuos generan y cuál es la vida útil de los rellenos sanitarios y escombreras. Los principales efectos causados por este gran flagelo a nivel ambiental es una alta actividad de descapote debido a la remoción de la

cobertura vegetal y de la capa orgánica, así como también una gran contaminación del aire debido al uso de maquinarias para la ejecución de recolección, transporte y disposición del material pétreo. Así mismo la disposición final de escombros se realiza en predios agrícolas y rondas de ríos, que son utilizados por sus grandes extensiones, alterando las propiedades fisicoquímicas del suelo y subsuelo, lo que genera una afectación de las aguas subterráneas.

Se hace entonces indispensable que la actividad de recolección y reutilización deje de ser ocasional y pase a ser un trabajo sistemático y exigido para la ciudad. La falta de hábitos de separación de los residuos, la escasa concientización y precaria formación del personal de obra, establece una inadecuada separación y almacenamiento de los residuos de construcción y demolición, generando un desaprovechamiento de materiales que pueden llegar a ser reutilizados. La actividad económica de la construcción debe enfrentar la necesidad de optimizar la gestión de los residuos y crear estrategias para recuperar estos materiales, evitando de esta forma su pérdida y la necesidad de consumir los recursos necesarios para su reposición.

De igual manera, cuando los escombros han sido generados, el problema de la disposición final se vuelve especialmente crítico en cuanto al manejo, transporte y disposición de los mismos en grandes cantidades. El incremento de costos debido al aumento en la demanda de disposición de escombros en sitios autorizados, el gran aumento en la demanda de lotes y una disminución en la oferta de lotes existentes han hecho que las escombreras municipales se hayan ubicado prioritariamente en áreas cuyo paisajes se encuentre degradado, tales como minas y canteras abandonadas. Bogotá cuenta actualmente con seis localidades para la disposición final de escombros y material de excavación aprobado por el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU); uno de ellos se encuentra en la ciudad y los restantes en las periferias. La afectación en temporada invernal de los espacios autorizados hace que algunos sitios de disposición cierren sus puertas por verse afectado su acceso.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Según lo expuesto por la secretaría distrital de hábitat, la unidad administrativa especial de servicios públicos (UAESP), y Coambiente (2009) , se han formulado valiosas propuestas sobre la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD), muchas de ellas fundamentadas en experiencias internacionales exitosas, las cuales por lo general son de carácter muy general, adoleciendo de análisis detallados de costo-beneficio, necesarios para racionalizar los procesos involucrados en la gestión, promover empresas para la reutilización y aprovechamiento de los RCD. Con lo anterior se buscaría eficacia en las políticas ambientales, orientándolas con preferencia a incentivos económicos y no sólo medidas disciplinarias como se viene manejando actualmente.

En el presente trabajo se estudian criterios y propuestas sobre los aspectos técnicos, económicos e institucionales involucrados en cada uno de los procesos que conforman la gestión de los RCD, prestando particular atención a la factibilidad de su utilización en la fabricación de materiales de construcción. Se pretende que dichos análisis contribuyan a precisar ideas y visualizar proyectos, lo cual en sí, justificaría el esfuerzo de la realización del proyecto de grado expuesto.

Sé debe mitigar los acuciantes problemas ambientales generados por las prácticas actuales de gestión. Con un simple aprovechamiento del 25% de los escombros generados en el distrito capital, podría reducir la disposición en 12 años en un 74% aproximadamente (UAESP 2009). El Instituto de desarrollo urbano (IDU) en su sección 452-10 contempla que los materiales triturados no podrán constituir el 100% de la granulometría en una aplicación específica, lo que hace muy amplio y ambiguo el empleo de los RCD para su futuro aprovechamiento.

En la actualidad existen un proyecto que tiene como finalidad la creación de un estándar único de construcción sostenible para el distrito capital (Bogotá D.C) (Proyecto de acuerdo no. 186 de 2008) y tiene como objetivo disminuir el impacto de la ciudad sobre el medio ambiente y reducir el uso de recursos naturales por parte de los habitantes, incentivando a los constructores de la capital a adoptar estándares de construcción sostenible que midan objetivamente la reducción en el impacto ambiental de los proyectos mediante estándares creados en otros países y ajustándose a las realidades del país, como los son :Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM), Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency (CASBEE), Leadership in Energy and Environmental Design (LEED). Mencionadas estándares poseen beneficios de reducción sobre el impacto en el consumo de energía eléctrica, agua potable y medio ambiente, pero generan un aumento de los costos en la construcción por la utilización de materiales y tecnologías especializadas.

Según la Resolución N° 01115 del 26 de septiembre del 2011, establece un reporte mensual a la Secretaría Distrital de Ambiente, a través de su portal web, y donde se debe incluir la cantidad total de materiales usados, y el tipo de productos, volumen y/o peso de material reciclado proveniente de los centros de tratamiento y/o aprovechamiento de RCD que se haya utilizado en el mes anterior al reporte, en las obras de infraestructura o construcción desarrolladas entidad pública y privada.

También cabe destacar que le consejo colombiano de construcción sostenible (CCCS), fundado en el 2008, miembro pleno del consejo mundial de construcción sostenible (World GBC), realiza certificados para las construcciones como lo es “el **sello ambiental colombiano**”, que es una etiqueta que consiste en un dispositivo o sello, otorgado por una institución independiente (ICONTEC) y que puede portar un producto o servicio que cumpla ciertos requisitos: materia prima reciclada y no nociva al ambiente, procesos de producción que involucra menos cantidad de energía y considera aspecto de reciclabilidad , reutilización o biodegradabilidad.

Mencionados acuerdos y resoluciones, no genera ningún beneficio fiscal ni económico a aquellas empresas que cumplan con estos estándares de calidad, simplemente son lineamientos para una construcción sostenible en la ciudad, dejando muchas dudas respecto a las bondades que puede generar el uso de este tipo de materiales. Este trabajo pretende motivar al sector público y privado a la inversión de plantas de tratamiento de RCD en la ciudad de Bogotá D.C, mediante un análisis económico de la rentabilidad de la gestión. Es por ello que se deben promover arreglos institucionales u organizativos eficaces, que permitan la racionalización de funciones , beneficios monetarios , ayudas financieras , y se implemente un programa de gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) a través de la constitución de organizaciones impulsadas por la certeza de los beneficios sociales, ambientales e incluso económicos, que logren incitar de una vez por todas, la gestión del reciclaje de RCD forma efectiva, realizando un tratamiento previo desde las misma obra hasta su futura producción como material reutilizable en obras civiles.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Formular propuestas técnicas, económicas e institucionales, sobre la generación, clasificación, transporte, disposición y reutilización de escombros provenientes de obras públicas y privadas de la ciudad de Bogotá, distrito capital.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar los tipos de residuos de construcción y demolición (RCD), provenientes de obras de infraestructura.
- Determinar los requerimientos técnicos y económicos necesarios para un adecuado proceso de clasificación y separación de residuos en los sitios de obra.
- Identificar y proponer alternativas organizacionales de recolección y transporte de RCD.

- Realizar una valoración de las condiciones técnicas y socio ambientales exigidas para la disposición final de los RCD.
- Desarrollar un estudio teórico-práctico de las opciones de reutilización y aprovechamiento de residuos, mediante la creación de losetas permeables de concreto hidráulico y la composición de bases y subbases.
- Evaluar la relación Costo/ Beneficio de las diferentes alternativas que incentiven la reutilización y el aprovechamiento de los RCD.

1.4 ALCANCE

La concepción que orienta la propuesta de este trabajo, es la de contribuir a solucionar el problema en cuanto a la ausencia de una gestión integral de los residuos de construcción y demolición (RCD) en la ciudad de Bogotá D.C., mediante la involucración de inversiones públicas y privadas del sector.

Esta contribución está referida a realizar de manera eficiente, la separación en sitio de materiales provenientes de las demoliciones y la construcción, logrando de esta manera descongestionar los sitios de disposición final, minimizar las explotaciones en las canteras y alcanzar un mayor aprovechamiento del material reciclado para la utilización de los mismos en obras de infraestructuras o en la elaboración de productos a base de este tipo de material.

Se evaluarán tres (3) modelos de empresas, las cuales podrían abordar un modelo de negocio de gestión de residuos de construcción y demolición (RCD), entendiendo que mencionadas propuestas tienen determinada vida útil, la cual está delimitada a un proyecto de inversión a diez (10) años; en el futuro, la continuidad de mencionadas empresas, dependerá de los diversos factores macroeconómicos y de los riesgos asociados a diversas regulaciones institucionales que apruebe el distrito.

Se realizará una cuantificación de los diversos materiales generados a partir de residuos de construcciones y demoliciones (RCD), y sólo se efectuará caracterizaciones físicas y mecánicas en el laboratorio, a aquel material

correspondiente a concretos reciclados, para determinar su factibilidad como material de construcción.

2 METODOLOGÍA

De acuerdo a las taxonomías metodológicas para clasificar investigaciones, el nivel presentado por este trabajo se encuentra de acuerdo a su grado de profundidad, considerándose de carácter descriptivo y explicativo con una modalidad que se encuentra enmarcado de proyecto factible.

La investigación se lleva a cabo por etapas y/o fases. Un resumen e ilustración de las mismas, se muestra gráficamente en la figura uno (1); en dichas fases se emplearon instrumentos cualitativos y cuantitativos, los cuales se fueron ensamblando para formular, evaluar y discutir las conveniencias y urgencias de mejorar la gestión de los llamados residuos de construcción y demolición.

En la primera fase se enfatizó el conocimiento del arte en la materia que concierne este estudio. Siendo un tema tan amplio, se partió por la conceptualización y clasificación los residuos de construcción, determinación de los términos empleados en diferentes países, así como también, las normativas utilizadas en su catalogación. Construido el marco teórico, se revisó y discutió aquellos términos conceptuales que permitiesen definir las posibilidades financieras, económicas e institucionales reales de una adecuada gestión y transformación de residuos, así como los arreglos institucionales que en el caso colombiano podían proponerse: **organizaciones y un marco legal que faciliten la mayor fluidez en esquemas ciertos de implantación.** Como un segundo paso se procedió a indagar las narraciones nacionales e internacionales en la gestión de los residuos de construcción (RCD) y en particular sobre las posibilidades de su reutilización y reciclaje. Incluso se realizó una búsqueda de la existencia de equipos, instrumentos y materiales de gestión y transformación así como sus costos referenciales. En esos análisis de los estudios realizados por diferentes universidades, comunidades

científicas y legislaciones en distintos países en relación a la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD), se relacionaron matrices con los avances a nivel mundial que se tienen en cada uno de los procesos de transformación del material, para luego validar y hacer una interpretación de los resultados hasta definir parámetros específicos, que nos permitiesen verificar la viabilidad técnica, económica e institucional en la ciudad de Bogotá D.C. Ello permitió complementar los atractivos análisis y estudios existentes, que contienen interesantes pronunciamientos sobre la factibilidad de su reutilización pero sin la suficiente data y números que los respalden y puedan interesar a los actores involucrados: alcaldías, empresas constructoras, escombreras, canteras, etc.

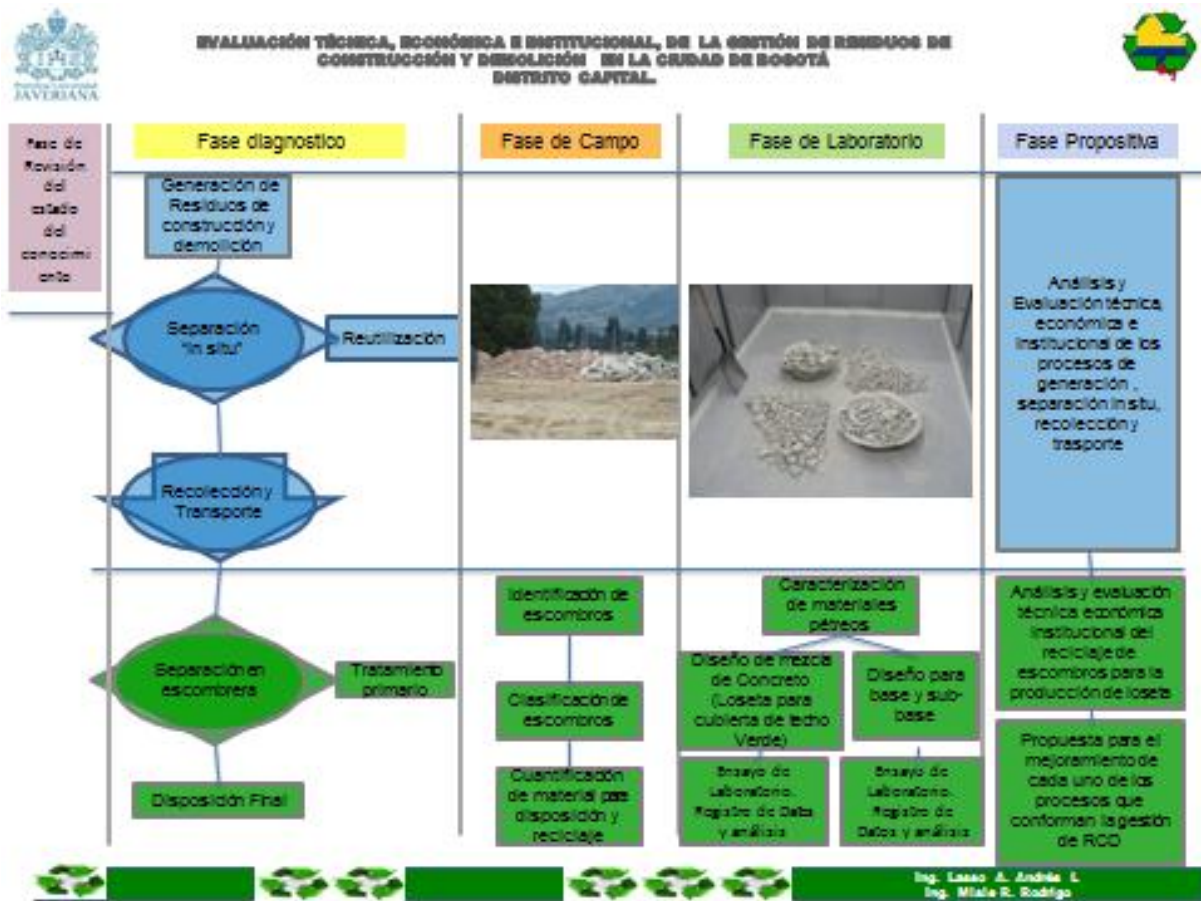


Figura 1. Metodología esquematizada por fases.

Las revisiones, discusiones y análisis anteriores dieron pie al capítulo que se titula “Marco Conceptual y Referencial”, al igual que permite esbozar **un diagnóstico de la**

gestión de los RCD, particularmente en Colombia, en cuanto a las fases de manejo y su adecuado e inadecuado cumplimiento; las normativas existentes en las diferentes etapas de los procesos expresadas en las ordenanzas jurídico-ambientales que, particularmente aunque no exclusivamente, la alcaldía de Bogotá ha venido promulgando para minimizar los impactos ambientales, generados por un incorrecta gestión de los RCD; ordenanzas que incluso sancionan la disposición inadecuada de los escombros. No obstante, la problemática se agrava dada la generación creciente de los RCD en la urbe Bogotana y la existencia de sitios cada vez más distantes para su disposición final, los cuales sin duda acarrear mayores costos y una mayor disposición al violar las normas mediante vertederos clandestinos; pero que a su vez perfilan posibilidades de generar mayores incentivos de reutilizaciones y posibilidades de reciclaje lo cual sin duda es una de los argumentos justificativos de este trabajo.

Equipados con conocimientos, conceptos, estudios y análisis dentro y fuera de Colombia sobre las etapas de la gestión de los RCD, así como de las posibilidades de sus mejoras, se procedió a formular propuestas cuyas factibilidades estuviesen soportadas en la realidad colombiana, en particular la que presenta la ciudad de Bogotá D.C. Para ello se requirió cubrir una **fase de campo** en la cual se solicitó y acordó la colaboración de una de las empresas de mayor generación de residuos de construcción y demolición (RCD) en la ciudad de Bogotá D.C, en los últimos 2 años. Referida ayuda fue suministrada por la empresa **CONALVIAS S.A.**, quien permitió realizar una capacitación a su personal para efectuar una clasificación previamente convenida en obra de los RCD, que luego irían a un posterior tratamiento y/o a su disposición final. También fue requerida la participación y apoyo de la empresa **CONSTRUCTORA ESPECIALIZADA LTDA**, propietaria del LOTE DE ADECUACIÓN TEQUENDAMA 4, el cual recibe residuos de construcción y demolición (RCD) para llevar a cabo la nivelación del terreno que poseen, de acuerdo a la licencia ambiental aprobada por el instituto de desarrollo urbano (IDU). En el mencionado lote, se adecuó un espacio para cuantificar y clasificar de acuerdo a planillas elaboradas para tal efecto, el material proveniente de las diversas obras

dentro de la ciudad de Bogotá, en particular las de la carrera 26 correspondiente a la empresa CONALVIAS S.A. Cabe recalcar, que el lote de adecuación Tequendama 4, corresponde a uno de los (2) sitios de mayor capacidad y recepción de residuos de construcción y demolición (RCD) de la ciudad, con lo cual se asegura la significancia de los resultados obtenidos en cuanto a su representatividad como sitio de disposición final, incluyendo las escombreras.

Teniendo un sistema de clasificación en marcha acordado tanto con el generador como con el encargado de la disposición final, se realizó un acuerdo con una cantera autorizada seleccionada del listado de proveedores del IDU, que permitiese triturar el material seleccionado tipo C (Prefabricados de concretos, concreto de demoliciones y morteros), con la finalidad de realizar una fase de laboratorio que permitiese caracterizar física y mecánicamente este tipo de material.

La cantera con la cual se logró hacer el acuerdo fue “**Altos de Mondoñedo**” ubicada en el sector del Alto de Mondoñedo (Sibaté), para llevar a cabo el proceso de trituración primaria. El material ya triturado y listo para su caracterización física y mecánica fue transportado hasta las instalaciones del laboratorio de ingeniería civil de la Pontificia Universidad Javeriana, para sus posteriores ensayos. Referidos análisis y estudios se realizaron entre los meses Septiembre 2011 y Diciembre 2011, logrando obtener una caracterización del material proveniente de las obras de la fase III de transmilenio en concordancia con la clasificación que se propuso. Mayores detalles, fotografías, planillas y resultados pueden ser revisados en el **capítulo 5, Formulación de Propuestas.**

Teniendo el material clasificado, cuantificado y sometido a un proceso primario de trituración, se procedió a trasladar las muestras al laboratorio de ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana, para la caracterización del material pétreo según las normas técnicas I.N.V.E en las Normas de ensayo de materiales para Carreteras con la realización de diversos estudios, entre otros: granulometría, caracterización (ensayo de mortero adherido al agregado (método del choque térmico)), dureza, durabilidad, limpieza, geometría, resistencia, y diseño. En esta fase de laboratorio se

estableció la viabilidad del uso del elemento RCD como un sustituto, en variados porcentajes, para la reutilización como material pétreo en los diversos usos de la construcción. Además se diseñó una mezcla de concreto permeable con material RCD para la creación de “**losetas peatonales**” que podrá ser utilizados en andenes y senderos peatonales sobre techos verdes. En resumen, se establecieron posibilidades técnicas para la reutilización y reciclaje de una porción que aunque modesta es muy significativa en el volumen generado de RCD. La data, los resultados y la discusión detallada de los mismos se muestran igualmente en **el Capítulo 5, Formulación de las Propuestas.**

Finalmente, se abordó lo que se denominó “**la fase propositiva del trabajo**”, que consiste es la concatenación de los conocimientos y la consolidación de toda la información previa, en especial los resultados en campo y laboratorio, para generar propuestas de contribuyan a una mejor gestión de los RCD en la ciudad de Bogotá D.C. Se formularon propuestas para el mejoramiento de cada uno de los procesos que conforman la generación, separación in situ, recolección, transporte, transformación y uso de los residuos de construcción y demolición (RCD). Se establecieron tres (3) modelos de empresas, demostrando su factibilidad, cuya promoción y desarrollo contribuirían a una adecuada gestión en la ciudad de Bogotá-Colombia. Las modalidades de implantación y los mencionados modelos, pueden ser muy diversos: pueden desarrollarse como nuevas empresas especializadas en el tema o pueden tener su origen a partir de la adaptación de empresas que ya trabajan en algunas de las fases de la gestión de RCD.

Aun y cuando cualquier evaluación que permitiese incorporar monetariamente los impactos ambientales evitados en la urbe de Bogotá D.C., como consecuencia del desarrollo de las propuestas aquí establecidas, **sería altamente rentable a nivel social**; pero mediante esta investigación se propuso evaluar sólo los aspectos financieros a detalle de los tres (3) modelos sugeridos, demostrando que es un esquema rentable de negocio, en flujos reales de dinero y que para muchos promotores vinculados o no en el negocio, sería una atractiva inversión.

Aunque en los tres (3) modelos se logró demostrar la viabilidad económica del proyecto, se implementó un análisis de sensibilidad, que permitiese afectar las diferentes variables significativas, con el objetivo de encontrar los parámetros límite, para que el proyecto continúe siendo viable financieramente. Para los entes públicos, también lo serían pudiendo participar de manera directa como promotores o como reguladores, otorgando incentivos que recuperarían con creces en el cumplimiento de su tarea primordial, como es la de mantener la calidad de vida de los habitantes bajo su responsabilidad. En el Capítulo cinco (5), referido a las evaluaciones de las propuestas, así como en las conclusiones y recomendaciones se discuten en detalle estos aspectos.

3 MARCO CONCEPTUAL Y REFERENCIAL

3.1 RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)

En la actualidad cualquier residuo sólido (materiales y elementos), sobrante de las actividades de construcción, reparación o demolición, de las obras civiles o de otras actividades conexas, complementarias o análogas es llamado residuo de construcción y demolición y es abreviado mediante las siglas RCD. (Corporación autónoma regional del centro de Antioquia. 2005).

Según López (2008) la principal diferencia entre los residuos de construcción y demolición provenientes del concreto y los agregados naturales, se encuentra en la cantidad de mortero adherido y otros contaminantes como maderas, vidrios, metales, ladrillos y yesos, teniendo en cuenta la procedencia de los agregados reciclados. También afirma que los agregados reciclados presentan distintas propiedades a los agregados naturales, entre ellas se encuentra una mayor absorción, menor densidad, menor resistencia, menor dureza y menor desgaste; la diferencia en dichas propiedades estará ligada directamente a la calidad del concreto del cual proceda y de la presencia de contaminantes e impurezas.

Los residuos generados de las construcciones están típicamente conformados en un 40% a 50% de partes de concreto, asfalto, ladrillo, bloques, arenas, gravas, tierra y barro. De un 20% a un 30% lo conforman madera y productos afines, como formaletas, residuos de estructuras de cubiertas y pisos, madera tratada, marcos de madera y tablas; el último 20% a 30% son desperdicios misceláneos, como maderas pintadas, metales, vidrios acabados, asbestos y otros materiales de aislamiento, tuberías y partes eléctricas (Tchobanoglous, et al. 1994).

Se ha podido evidenciar de acuerdo a lo escrito por Poon (2001) que la principal afectación al concreto fabricado a partir de materiales reciclados con presencia de contaminantes es la resistencia a la compresión, con lo cual también se establece que los agregados reciclados a partir de demoliciones de concretos son los que menores porcentajes de contaminantes presentan, siendo idóneamente indicados para casi cualquier tipo de reutilización.

Según diversas investigaciones encontradas, se han podido clasificar los residuos de construcción y demolición (RCD) de acuerdo con las características físicas, composición, origen y su posible utilización como material, entre las cuales se mencionan, de acuerdo a la normativa estipulada en los diferentes países las siguientes:

ESTADOS UNIDOS (Asociación americana de concretos (ACI))

CLASIFICACIÓN SEGÚN COMPOSICIÓN

A. Residuos triturados procedentes de demoliciones. Son una mezcla de concreto y residuos cerámicos triturados, clasificados y que contienen cierto porcentaje de otros elementos contaminantes.

B. Residuos de demolición clasificados y limpios. Son una mezcla de concreto y residuos cerámicos triturados, clasificados y sin presencia de otros elementos contaminantes.

C. Residuos cerámicos limpios. Son restos de ladrillos triturados y clasificados que contienen menos del 5% de concreto, materiales pétreos u otros contaminantes.

D. Residuos de concreto limpios. Son restos de concretos triturados y clasificados que contienen menos del 5% de restos de ladrillo, materiales pétreos u otros contaminantes.

JAPÓN (NORMAS JIS A 5021, JIS A 5022 Y JIS A 5023)

Tipo H: Mayor calidad, concreto en masa o armado con fin estructural.

Tipo M: Para utilización en concreto en masa o losas de concreto.

Tipo L: Para utilización en concretos pobres.

BÉLGICA (VINCKE, et al .1998)

GBSB I: Procedentes de residuos cerámicos.

GBSB II: Procedentes en mayoría de residuos de concreto.

INGLATERRA

NORMA (BS 8500:02)

RCA: Áridos procedentes de concreto.

RA: Áridos procedentes de materiales cerámicos o mezcla de ambos.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT DIGEST 433, CLASIFICACIÓN CONFORME AL RILEM

RCA I: Áridos procedentes de ladrillo.

RCA II: Áridos procedentes de concreto con contenido de ladrillo de 0 -10%.

RCA III: Áridos procedentes de concreto y ladrillo, con contenidos de ladrillo de 0 - 50%.

ALEMANIA NORMA (DIN 4223)

Tipo 1: Áridos procedentes de concreto >90%, con contenidos < 10% de Clinker, ladrillo o arenisca calcárea.

Tipo 2: Áridos procedentes de concreto >70%, con contenidos < 30% de Clinker, ladrillo o arenisca calcárea.

Tipo 3: Áridos procedentes de residuos cerámicos >80%, con contenidos de materiales procedentes de concreto <20%.

Tipo 4: Áridos procedentes de mezclas de RCD, con contenidos >80% de materiales procedentes de concreto o productos cerámicos.

HOLANDA NORMA (NEN 5905)

Tipo 1: Áridos reciclados de concreto.

Tipo 2: Mezcla Áridos reciclados de concreto y árido cerámico.

Tipo 3: Áridos reciclados cerámicos.

ESPAÑA

La EHE 2010, en su anejo 15, define como concreto reciclado (HR), el concreto fabricado con árido grueso reciclado procedente del machaqueo de residuos de concreto y recomienda limitar para su aplicación en concreto estructural el contenido de árido grueso reciclado al 20% en peso sobre el contenido total de árido grueso y resistencia característica no superior a 40 N/mm².

Categoría ARH: Áridos Reciclados de Hormigón: el contenido de hormigón y piedra natural (sin mortero adherido) es del 90% o más en peso. Se suma el contenido de hormigón al de piedra natural, por considerar que tienen un comportamiento asimilable.

Categoría ARMh: Áridos Reciclados Mixtos de Hormigón: el contenido de hormigón y piedra es menor al 90% y el de material cerámico no alcanza el 30%.

Categoría ARMc: Áridos Reciclados Mixtos Cerámicos: el contenido de material cerámico supera el 30%.

Categoría ARC: Áridos Reciclados Cerámicos: el contenido de material cerámico supera el 70%.

Esta clasificación debe completarse con la determinación del contenido de los otros dos tipos de fracciones en la mezcla, dado que su exceso determina la pérdida de la consideración de árido reciclado:

Contenido de Asfalto: Áridos Reciclados con Asfalto: cuando el árido reciclado contiene entre un 5% y un 30% de materiales bituminosos, más del 30% se considera Mezcla Bituminosa.

Contenido de “impropios”: se considera que con más de un 1% en peso de “impropios”, no puede definirse como árido reciclado, y debe definirse como “Material Inerte”.

Por lo tanto, no tienen la consideración de áridos reciclados los siguientes materiales que, sin embargo, pueden tener otros usos adecuados a sus características técnicas específicas:

Mezclas bituminosas (MB): aquellos materiales inorgánicos previamente utilizados en la construcción con un contenido de mezclas bituminosas superior al 30% en peso.

COLOMBIA (COAMBIENTE 2009)

Tipo I: Tierras y materiales pétreos.

Tipo II: Escombros.

La generación de escombros también depende del tipo de actividad que se ejecute, así como el espacio en el cual se desarrollen según lo establecido por la secretaría distrital de hábitat (2009).

3.2 ORÍGENES Y DESTINOS DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)

La generación de los agregados reciclados, tiene como materia prima los RCD generados en las diferentes obras, siendo posible agrupar los tipos de acuerdo a las actividades que se ejecuten dentro de la misma. Es así, como los RCD generados pueden clasificarse según las siguientes actividades:

3.2.1 DESCAPOTE Y LIMPIEZA

Pertenece a la iniciación de obras que incluye la remoción del material vegetal existente y la adecuación del terreno para ubicación del personal y maquinaria. Por lo general el tipo de RCD generado es material vegetal, material granular con alto contenido orgánico y lodos entre otros.

3.2.2 EXCAVACIONES

Es la actividad correspondiente a la remoción de material granular para modificar adecuadamente una superficie, o simplemente la extracción definitiva de tierras en zonas localizadas del terreno, que por lo general contempla materiales con alto contenido orgánico.

3.2.3 DEMOLICIONES

Son los trabajos encaminados al derribo de estructuras; por lo general se pueden encontrar gran porcentajes de material reutilizable, teniendo en cuenta que no sólo los granulares y residuos del concreto serán aprovechables, sino que también los materiales como el acero de refuerzo, puertas, ventanas y carpintería entre otros, pueden ser reutilizados en distintas obras, o incluso por otras industrias diferentes a la construcción.

3.2.4 CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

Está relacionada con la construcción de actividades como la cimentación, vigas, columnas, muros estructurales y placas. Se producen residuos estrictamente vinculados con los desperdicios de granulares, excesos de mezcla, acero de refuerzo y madera de formaletas.

3.2.5 OBRA NEGRA

Es la construcción de elementos no estructurales tales como, mampostería, pañetes y cubiertas. Los principales residuos generados de esta actividad son los ladrillos, bloques, excesos de mezcla, granulares que hacen parte de la mezcla, tejas y materiales metálicos o de madera pertenecientes a las estructuras de soporte de la cubierta.

3.2.6 INSTALACIONES HIDROSANITARIAS, ELÉCTRICAS, MECÁNICAS, GAS, TELEFONÍA

Están asociadas a la inclusión de ductos y conductos que permitan la conexión integral del edificio en las diferentes áreas. Los principales residuos generados están relacionados a los desperdicios por cortes y empates de la tubería a instalar, así como los lubricantes, sellantes y elementos de fijación requeridos, estos residuos en su mayoría deberán ser dispuestos en un lugar autorizado y su reutilización es baja, por lo cual se debe evitar su desperdicio.

3.2.7 OBRA GRIS

Referida a las actividades encargadas de pañetar muros, proteger los ductos que no queden embebidos en los elementos estructurales y no estructurales, mediante cielos rasos; teniendo además en cuenta la carpintería. Los residuos producidos en estas actividades son pinturas, lechadas, recortes de madera y virutas.

3.2.8 ACABADOS

Representa el mejoramiento del aspecto final de la obra que tendrán en cuenta actividades como pintura, acabado de pisos, enchapes, instalación de accesorios y decoración. Como producto de estas actividades se obtendrán residuos de pinturas, baldosas o cerámicos en general y en algunos casos accesorios averiados durante el proceso constructivo.

3.2.9 LIMPIEZA DE LA OBRA

Al finalizar el proceso constructivo se deberá garantizar la entrega de la misma en condiciones adecuadas para su funcionamiento, por lo cual es importante realizar actividades como retiro de sobrantes, retiro de equipo y labores de limpieza de los acabados. En este proceso es difícil llegar a clasificar los residuos generados por lo cual deberá procurarse planear adecuadamente los procesos previos para aminorar la generación de RCD.

Desde la generación de residuos de construcción y demolición (RCD) se pueden comenzar a caracterizar los materiales producidos en situ, mediante el almacenaje del mismo en contenedores identificados por tamaño, colores y nombre técnico. Poon et al. (2001), denota que el índice de aprovechamiento de los RCD aumentará a medida que sea posible una clasificación adecuada en los sitios de generación de los mismo, incluso para su reutilización en sitio. Por otro lado en las demoliciones manuales también se puede generar mayores índices de aprovechamiento en comparación con las demoliciones realizadas con maquinaria pesada.

En los casos en los que sea necesario evacuar los residuos de construcción y demolición (RCD) del sitio de obra, es importante contar con una estación de transferencia en la que se determine con certeza la posibilidad de realizar una separación adecuada de los RCD, para conducir los residuos a una planta de procesamiento la cual deberá encargarse de realizar una separación de materiales no reutilizables, tales como elementos contaminados definidos anteriormente. La

figura 2, representa todas las actividades correspondientes a la generación y posterior gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD), hasta su posible transformación y venta como material pétreo para la construcción y una disposición final de materiales contaminados:

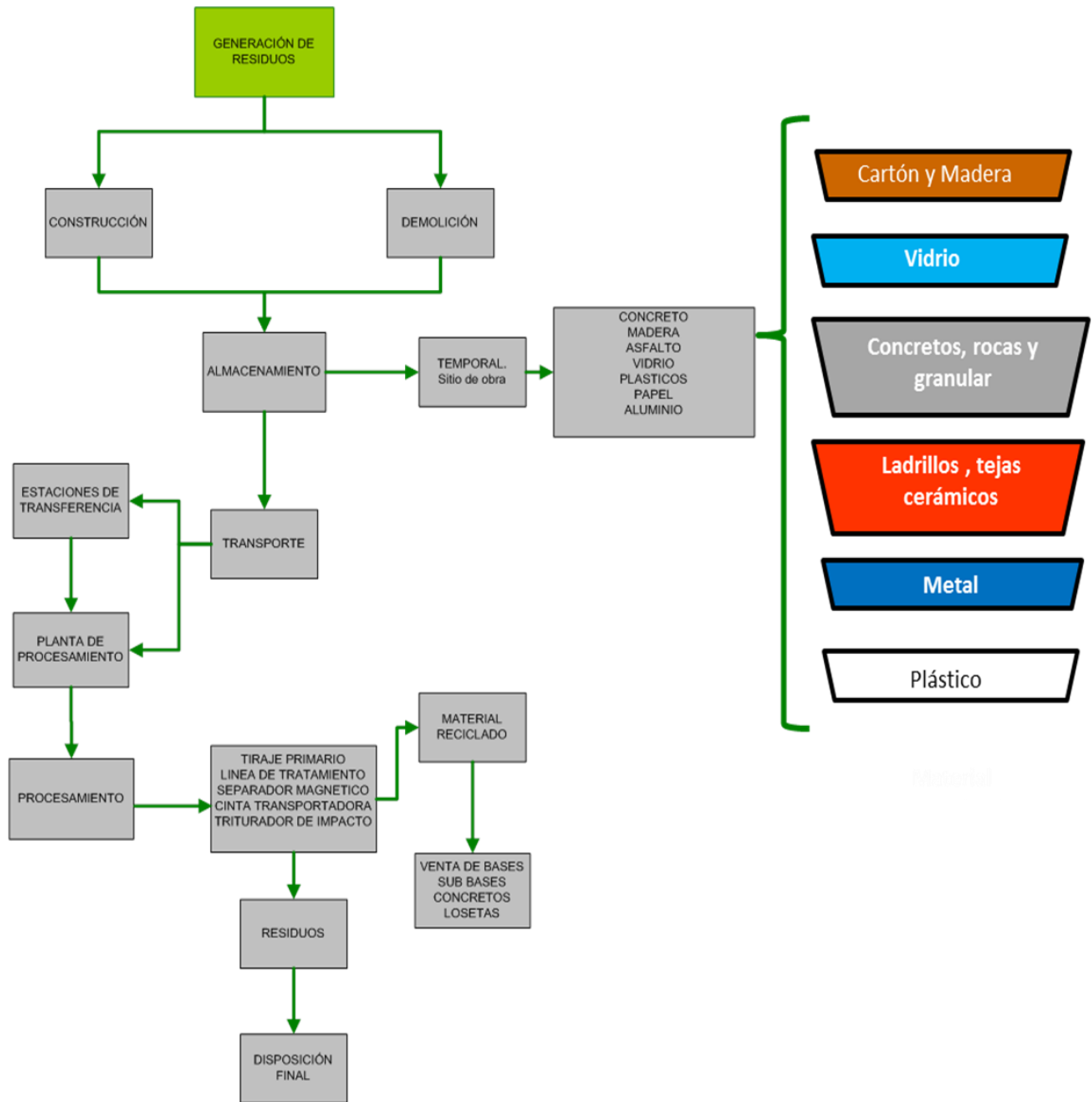


Figura 2. Diagrama de proceso de la generación y procesamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD).

3.3 ESTRATEGIAS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD).

Como principal estrategia se contempla la prevención como una alternativa en el manejo de escombros, la cual contempla la reducción de residuos de construcción y demolición (RCD) generados y en consecuencia lo que debe ser gestionado, contribuyendo a minimizar potenciales impactos ambientales. Para lograr una disminución significativa de los residuos RCD, se plantean varios conceptos:

3.3.1 SEPARACIÓN Y RECUPERACIÓN DE MATERIALES

Es la creación de "islas de separación" de materiales para facilitar luego su recolección y transporte hacia los sitios de reciclaje o disposición final.

3.3.2 DECONSTRUCCIÓN (DEMOLICIÓN PLANEADA)

Significa el desmonte selectivo de las edificaciones o estructuras, para facilitar la reutilización o el reciclado de los materiales propios de cada estructura. Esta práctica se basa en la emoción selectiva de elementos estructurales y no estructurales para el posterior tratamiento químico y físico in situ de los materiales que puedan estar contaminados (EPA, 2006).

3.3.3 EDIFICACIONES BIOSOSTENIBLES (EDIFICIO VERDE)

Es una estructura que es ambientalmente responsable y maneja eficientemente sus recursos durante su ciclo de vida. Los edificios verdes pueden ser certificados a través del sistema de liderazgo en energía y diseño ambiental (LEED por sus siglas en inglés), desarrollado por el consejo de edificios verdes de los Estados Unidos (USGBC) por medio de un reconocimiento en el desempeño en cinco áreas claves: desarrollo-localización sostenible, ahorro de agua, eficiencia energética, selección de materiales y calidad ambiental interior. Medicinados edificios poseen terrazas verdes, que son cubiertas que contienen elementos vegetales vivos como parte integral del sistema total del techo el cual consta de una lámina geotextil antirraíces para evitar que filtraciones de arena puedan obstruir los drenajes, así como para impedir que las

raíces de las plantas puedan dañar los elementos inferiores de la construcción. También incorporar paneles de nódulos, que poseen relieves para recoger una pequeña cantidad de agua de lluvia.

3.3.4 CONSTRUCCIÓN SIN PÉRDIDAS (LEAN CONSTRUCTION)

Aparece como una alternativa que mejora la competitividad de las empresas constructoras en el mercado, mediante el fortalecimiento del sistema de producción y la integración óptima de las actividades y los procesos (Martínez, 2007). Esta forma de construir tiene sus principios en la eliminación de pérdidas, mediante el continuo mejoramiento de todos los procesos que se llevan a cabo en los proyectos, minimizando desperdicios de materiales, tiempo y esfuerzo con la finalidad de generar la máxima cantidad posible de valor.

Para el manejo de escombros se pueden establecer acopios temporales, los cuales sirven como centros transitorios donde llega el material recuperado y separado proveniente de los sitios en donde se desarrollan las actividades de construcción y deconstrucción, para ser enviados posteriormente a las plantas de reciclaje o en su defecto a los sitios de disposición final.

Por otro lado debería buscarse el uso de un material en más de una ocasión (reutilización) independientemente del destino o propósito, sin necesidad de reprocesarlo. Con ello, se busca evitar el descarte de un material cuando su uso inicial ha concluido. Este manejo es preferible comparado con el reciclaje al no necesitar proceso de tratamiento detallado.

En caso de tener un material que puede ser aprovechado, pero que ello conduce a un tratamiento primario o reprocesamiento de materiales descartados para que se puedan reutilizar en su forma original u otro propósito se estará definiendo una estrategia de reciclaje. Mencionadas prácticas son: (a) Instalar plantas de reciclaje de escombros las cuales podrán ser privadas o públicas destinada a la clasificación y valorización de los RCD reduciendo su tamaño y eliminando las impurezas de manera que se obtenga un producto final apto para la venta como áridos para la construcción, (b) Implementar planes de manejo para el reciclaje de escombros, (c)

Impulsar la compra de materiales reciclados y (d) Asegurar el uso de materiales reciclados hasta el fin de su vida útil.

Por último, en caso de que el material o una fracción de él, no pueda ser aprovechado, deberá ser llevado a un sitio autorizado para su disposición final. Los lugares determinados para la disposición, que deben contar con ciertas características físicas y ambientales para poder ser aprobados por las autoridades competentes, como sitio de disposición final pueden ser:

- Escombreras.
- Nivelaciones o rellenos.
- Adecuaciones de Terrenos.

Teniendo en cuenta las diferentes estrategias que existen para el manejo de los residuos de construcción y demolición se puede establecer un sistema que comprenda la producción o generación, almacenamiento temporal, recolección y transporte, aprovechamiento o reciclaje y disposición final de escombros que garantice el adecuado tratamiento de la totalidad de los RCD para su futuro aprovechamiento, con esto se puede establecer una gestión de residuos de construcción y demolición efectiva.

3.4 BASES CONCEPTUALES Y REFERENCIALES PARA LA EVALUACIÓN

3.4.1 EVALUACIÓN TÉCNICA

PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS:

- Teniendo en cuenta que el material en su gran mayoría vendrá mezclado y con tamaños no adecuados para su manejo, se procederá a separar los materiales que pueden ser reutilizados, pero que no serán procesados por la planta tales como acero y madera entre otros. En el caso de sobretamaños se tendrán equipos con martillos neumáticos para la reducción de dichos elementos.
- Cuando ya el material entra en la etapa de procesamiento, deberá pasar por un cribado que permita clasificar el material con tamaños adecuados para su aprovechamiento sin necesidad de ser procesados, con lo cual evitamos el desgaste

de la maquinaria en elementos que ya pueden ser aprovechados sin trituración. Los materiales que sean rechazados del cribado serán aquellos con tamaños mayores que requieren una trituración para su aprovechamiento.

- Para llevar a cabo la trituración se hará una alimentación de la planta mediante cargadores, los cuales deberán ser seleccionados de acuerdo al volumen a procesar. Luego se comenzará a realizarse una trituración primaria.
- Al finalizar la trituración deberá trabajar el separador magnético que es el encargado de eliminar los elementos metálicos que puedan desprenderse de los elementos estructurales de concretos, así mismo para otros materiales que presenten baja densidad se debe contar con un separador neumático.
- Una vez el residuo de construcción y demolición ha sido triturado, pasará a través de cribas en serie, cuyo principal objetivo es clasificar el material de acuerdo a su tamaño, mediante la acción de las bandas transportadoras, las cuales deberán formar los acopios de grava, gravilla y arena.
- Al finalizar el proceso de cribado o separación del material, se deberá revisar los porcentajes de material generado, discriminados por el tamaño final con el objetivo de definir si se requiere una trituración secundaria.

Todo el proceso de obtención del material reciclado puede observarse en el siguiente diagrama (Figura 3):



Figura 3. Procesos para la obtención de material reciclado

EQUIPOS DE TRITURACIÓN Y CONSIDERACIONES PARA SU SELECCIÓN

En el procesamiento del material mediante un sistema de trituración, se realizará una selección de equipos que permita un mayor aprovechamiento del residuos de construcción y demolición (RCD), teniendo en cuenta las características físicas de los productos generados a partir de los equipo de trituración.

En mencionado proceso las características físicas del material generado, las cantidad de volumen de procesamiento, así como los costos de adquisición y mantenimiento que genera cada trituradora , serán las que definan tanto la capacidad de la planta como los equipos anexos a complementar el sistema de trituración.

Se podrán establecer en varios procesos simples, la manera con la cual, se deberían ejecutar las actividades para lograr un adecuado aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD), partiendo del punto de llegada del material a planta de aprovechamiento.

Para ello podemos encontrar algunas ventajas entre las trituradoras existentes en el mercado como se muestra a continuación:

TRITURADORA DE MANDÍBULAS (Figura 4):

- Son de estructura robustas, con gran abertura de entrada para material pétreo de grandes dimensiones.
- Económica al triturar (Piezas de desgastes).
- Se puede usar en materiales muy duros y abrasivos.
- Diferente perfil de los dientes para diferentes aplicaciones.
- Recicla (separa el acero del producto final).
- Producto final más grueso con un porcentaje relativamente bajo de finos (generan una cantidad de finos inferior al 10%).
- El proceso de trituración se puede observar; cavidad abierta.
- Para material grueso, necesita de una trituración secundaria (Cono).

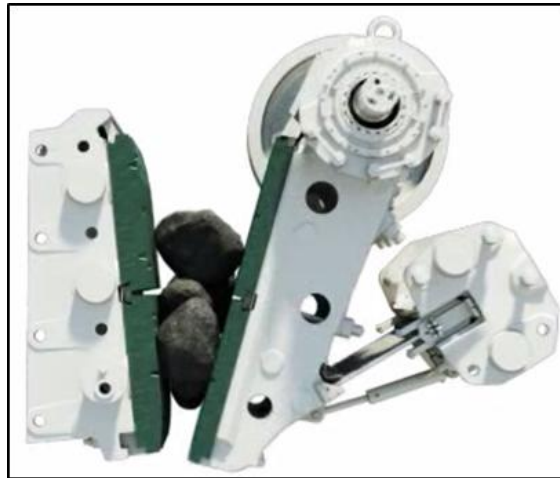


Figura 4. Trituradora de mandíbulas. Fuente. Crushing and screening handbook METSO 2011.

TRITURADORA DE IMPACTO (Figura 5):

- Dispone de un rotor provisto de barras que arrojan el material pétreo contra las paredes internas las cuales se encuentra revestidas con placas de acero anti-abrasivo.
- Altas tasas de reducción del material granular.
- Capacidad muy alta, lineal con la entrada de alimentación.
- El Impactor puede recibir tamaños más grandes que un tamaño similar de mandíbula.
- Apropiado para material reciclado de asfalto por permitir temperaturas más altas que una trituradora de mandíbulas.
- Separación de acero de refuerzo en reciclaje de concreto armado.
- Buena forma de producto final
- La trituradora de Impacto produce más finos que la de Mandíbula.

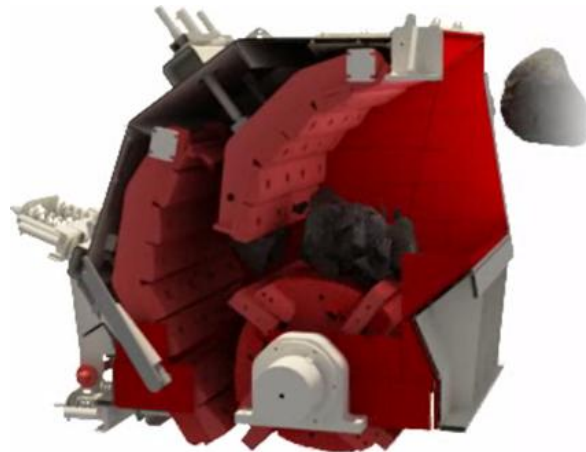


Figura 5. Trituradora de impacto. Fuente. Crushing and screening handbook METSO 2011.

TRITURADORA DE CONO (Figura 6):

- El agregado producido con este tipo de máquinas presenta mejores características mecánicas (menos desgaste).
- La cantidad de finos producidos está alrededor del 20%.
- Tiene limitaciones de procesamiento con materiales que tengan sobretamaños.
- El consumo de energía es alto.
- Los costos de producción son altos debido al desgaste prematuro de los componentes.
- Su utilización es mayormente como una trituradora secundaria.

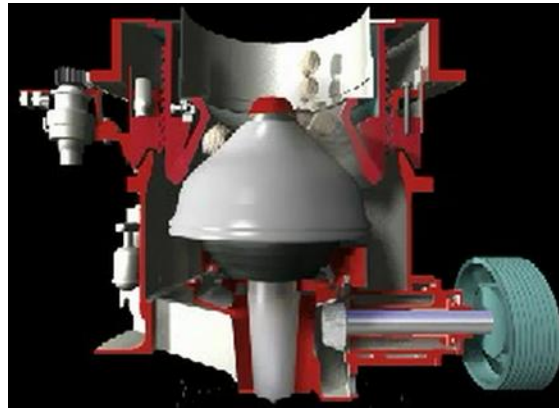


Figura 6. Trituradora de cono. Fuente. Crushing and screening handbook METSO 2011.

La Tabla 1, presenta las principales características evaluadas por S. Buchner, L.J. Scholten (1992), para la trituración de residuos de construcción y demolición (RCD) mediante los tres (3) diversos tipos de maquinaria usados en el proceso de trituración, donde se puede evidenciar que el equipo de trituración de impacto presenta características muy favorables para el proceso de producción de nuevos materiales granulares provenientes RCD.

Tabla 1. Principales características de producción de las máquinas de trituración.

CARACTERÍSTICA	MANDÍBULAS	IMPACTOS	CONO
Capacidad	Alta	Media	Baja
Costos de producción	Bajo	Medio	Alto
Desgaste	Bajo	Bajo	Alto
Calidad del agregado	Bajo	Media	Alta
Contenido de finos	Bajo	Medio	Alto
Consumo de energía	Bajo	Medio	Alto

Fuente: S. Buchner, L.J. Scholten (1992)

Luego de definir los equipos de trituración más convenientes (mandíbulas, impacto y conos), se deberá seleccionar el tipo de sistema de trituración, el cual consiste en establecer si los equipos serán fijos o móviles.

SISTEMAS DE TRITURACIÓN

De acuerdo a su movilidad, los sistemas de trituración puede clasificarse en: sistemas fijos y sistemas móviles. Los sistemas móviles pueden destinarse a realizar trabajos en los sitios de producción de material RCD, mientras que los sistemas fijos necesitan de instalaciones y terrenos propios para su funcionamiento.

▪ SISTEMA FIJO

Es el ensamblaje, colocación y fijación de los equipos en arreglos permitiendo que siempre los materiales abastezcan el sistema de trituración en un punto determinado. Se debe tener en cuenta, que dicho sistema requiere unas adecuaciones físicas, tales como la cimentación de la maquinaria, distribución de las bandas transportadoras, así como, el ajuste del sistema eléctrico, los cuales ocasionan un costo adicional que puede incrementar el valor de implementación del sistema en cerca de cuatrocientos millones de pesos (\$ 400.000.000). (METSO 2011).



Figura 7. Sistema fijo de trituración. Fuente. Crushing and screening handbook METSO2011

▪ SISTEMA MÓVIL

Es el ensamblaje de sistemas fijos de trituración sobre estructuras móviles de orugas, que permiten el desplazamiento del sistema hasta el sitio de acopio de materiales a tratar. Esto evita transportes de material innecesario, alcanzando un reciclaje de material en sitio, acomodados de pilas de material procesado en lugares previamente seleccionados, efectivo y productivo uso de espacios físicos de la planta de reciclado, además costos menores de implementación y una rápida ejecución.



Figura 8. Sistema móvil de trituración. Fuente. Crushing and screening handbook METSO 2011

En el momento de seleccionar el tipo de sistema de trituración se debe tener en cuenta los costos (adquisición y mantenimiento) en los cuales se incurre para las alternativas existentes en el mercado, tal como se muestra en la Tabla 2 y donde se puede evidenciar una gran diferencia entre los costos de compra de los diferentes sistemas, pero equiparándose con el costo de montaje y mantenimiento.

Tabla 2. Costos aproximados del sistema de trituración.(Costo al 2012 COP)

Sistema de trituración	Modelo	Costo de compra (Pesos Colombianos COP 2012) Bogotá	Costo de Montaje (Pesos Colombianos COP 2012)	Mantenimiento anual (Pesos Colombianos COP 2012)
Sistema Fijo	TK8 32-2V(Criba)	\$ 138.415.434	\$ 195.000.000	
	NP 1100 (Trituradora)	\$ 340.841.466	Incluye: Estructura, fundaciones, muro de alimentación, bandas, arrancadores, interconexiones eléctricas)	\$ 634.545
	CVB1540-3 (Criba secundaria)	\$ 71.900.222		
	Total	\$ 551.157.122		
Sistema Móvil	LT 1110 (Trituradora)	\$ 963.264.116		\$ 757.756
	ST 3,5 (Criba)	\$ 456.823.254		
	Total	\$ 1.420.087.370		

EQUIPOS Y TRATAMIENTOS ADICIONALES PARA APROVECHAMIENTO DE RCD

Es importante definir algunos tratamientos adicionales que deberían realizarse justo después del proceso de trituración, para garantizar óptimas condiciones del material a aprovechar. Entre los tratamientos a implementar están los separadores magnéticos que ya se encuentran instalados en la mayoría de máquinas trituradoras, a su vez pueden utilizarse separadores de tipo neumático e hidráulico, los cuales permiten la separación de ciertos materiales de menor densidad que el agregado (madera, plástico y cartón entre otros). Un tratamiento adicional que se puede utilizar está basado en corrientes de Foucault, el cual se encarga de generar un campo magnético variable y al interactuar con materiales conductores permiten la separación por repulsión de los metales no magnéticos y no férricos (METSU 2011).

Existe un novedoso sistema de separación, él cual trabaja por medio de una separación magnética por densidad en seco, el cual trabaja con los materiales teniendo en cuenta la susceptibilidad magnética que poseen los materiales de mortero y los materiales cerámicos, debido a las diferencias de contenido de óxido de hierro (METSU 2011).

Según Larbi J, et al. (2.000), existe un tratamiento térmico para material RCD, el cual tiene como finalidad separar el mortero adherido del material pétreo natural, para de esta manera garantizar un material reciclado de gran durabilidad. Para este tratamiento especial se debería realizarse el siguiente procedimiento:

1. Trituración del material hasta encontrar un tamaño máximo del agregado de 100mm.
2. Eliminación de elementos metálicos mediante un separador magnético.
3. Separación del mortero mediante el paso por un horno rotatorio a 700°C, esto a su vez debe ser complementado con una acción mecánica.
4. Separador de neumático y tamizadora vibrante lo cual permite la obtención y clasificación de un agregado grueso, un agregado fino y polvo de cemento.

Aunque existen más alternativas de separación y mejoramiento de la calidad del material RCD, según Larbi J et al. (2000), estas generan un elevado costo lo cual hace que en la mayoría de los casos no sea viable económicamente el remplazo de materiales de cantera con materiales reciclados.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS RCD PARA SU REUTILIZACIÓN

Los residuos de construcción y demolición (RCD), corresponden a material de origen mineral con algunas propiedades diversas a los agregados de origen natural. La producción de agregados reciclados originados a partir de residuos de concretos se realiza de forma similar al proceso que se emplea para producir agregados naturales triturados. Las plantas de tratamiento que se utilizan integran diversos modelos de trituración, tamizadores y equipos para separar los residuos no deseados o contaminados. Si estos residuos son seleccionados adecuadamente desde el origen, los sistemas de eliminación de materiales contaminados se ven reducidos.

Es por ello que se hace importante el análisis desde la perspectiva técnica (laboratorio) del material pétreo generado a partir de los residuos de construcción y de demolición de la ciudad de Bogotá- Colombia.

▪ GRANULOMETRÍAS

En la actualidad existen diversos tratamientos para la trituración de material de residuos de construcción y demolición (RCD) para la obtención de distribuciones granulométricas que se adapten fácilmente a las diferentes especificaciones, para los diseños de construcción establecidos por las normas técnicas (I.N.V.E.). La trituración por procesos de impacto, son las que permiten obtener tamaños de áridos con mayor cantidad de finos (10%),obteniendo una cantidad de árido grueso entre el 70% y 90% de la producción total; Luego, se adicionan procesos secundarios como la trituración por maquinaria cónica, que generan finos de tamaños inferiores.

Según Poon et al. (2002), el agregado reciclado produce partículas de forma piramidal, donde se observa un bajo contenido de partículas planas o alargadas que

afecten el contenido de vacíos de la mezcla. De esta forma se tiene que debido al proceso de trituración se obtiene superficies ásperas y bordes angulosos similares a los agregados de canteras. Por otro lado sin el adecuado tratamiento y equipo de trituración, el material obtenido puede presentar grandes cantidades de agregados mayores a una pulgada y las ausencias de finos.

Como resultado de la disgregación que sufre el árido grueso reciclado durante su transporte y almacenamiento, una vez cribado se siguen obteniendo fracciones ultra finas que oscilan entre 0,5% y el 2%. Dicha fracción fina se caracteriza por presentar un elevado contenido de mortero influyendo negativamente en las propiedades del concreto, ya que se presentan bajas adherencias entre el árido y la pasta de mortero (López 2008).

▪ **FORMA Y TEXTURA**

En comparación con los áridos naturales, las partículas de árido reciclado obtenidas suelen presentar una textura con mayor rugosidad y porosidad debido al proceso de obtención y al mortero adherido a la superficie del árido de origen, causa principal de problemas de trabajabilidad.

Los porcentajes obtenidos de caras fracturadas son bastante elevados, ya que se ven directamente afectados por el sistema de trituración empleado en la obtención del árido reciclado. Los índices de alargamiento y aplanamiento, también presentan elevados porcentajes, ya que corresponden, a que el espesor de las partículas aumenta debido a la acumulación de mortero en las caras planas de las partículas (Poon et al. 2002).

▪ **DENSIDAD**

Las principales causas que influyen sobre la densidad del árido reciclado son aquellas representadas por el proceso de producción del árido, el grado de contaminación y el tamaño de las fracciones obtenidas. Es por ello que los agregados gruesos y finos, presentan una capa de mortero adherido, que conduce a una densidad menor a la del árido natural.

Según Poon et al. (2002), la densidad del árido reciclado oscila entre 2390-2260 Kg/m³, mientras que el árido natural presenta una densidad de 2520-2570Kg/m³.

▪ ABSORCIÓN

Debido a la gran cantidad de mortero adherido y las fracciones de tamaño que presenta los agregados reciclados, la absorción puede alcanzar un aumento que oscila entre 3,3% y 13% con respecto a un agregado natural cuyos valores están entre el 0% y 4% (López 2008).

El tamaño del agregado es uno de los principales factores de aumento en el porcentaje de absorción debido a que las fracciones más finas poseen gran cantidad de mortero adherido respecto al área de que abarca las pequeñas partículas de áridos; Mencionada causa y el efecto de la baja densidad del agregado reciclado se pueden observar en la figura (7 y 8) para los diversos tiempos.

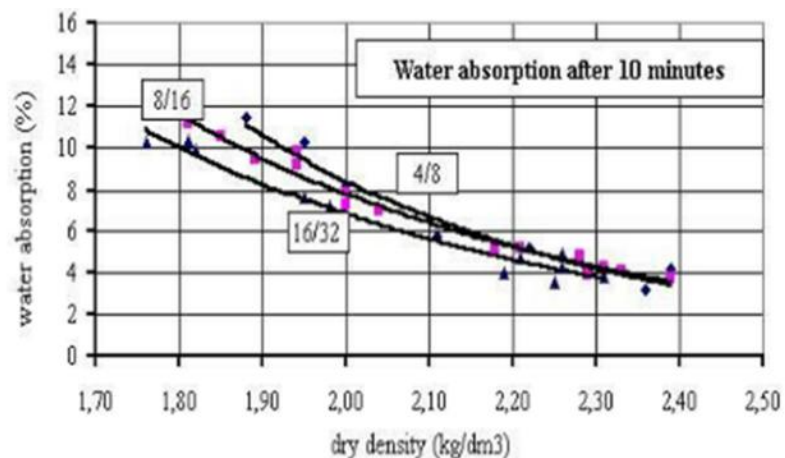


Figura 9. Relación entre la absorción y la densidad en áridos reciclados según su tamaño .Transcurridos 10 minutos. Fuente: Kobayashi, S; Kawano, H 1988

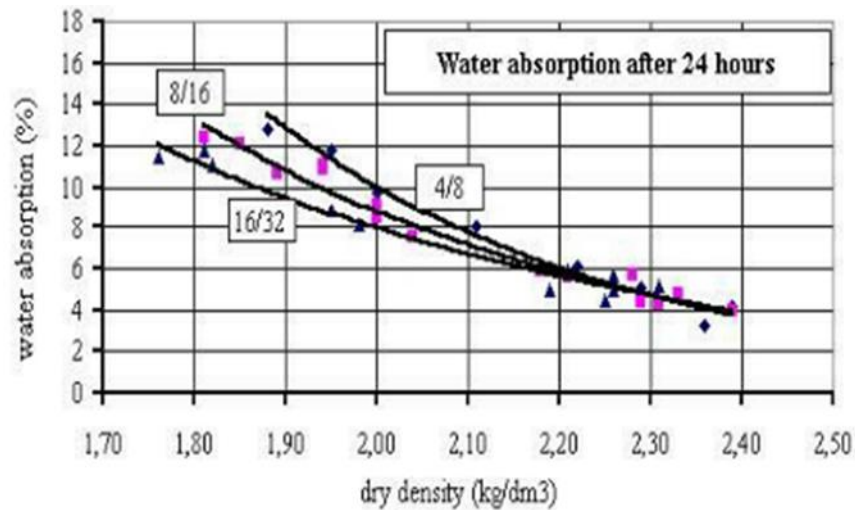


Figura 10 Relación entre la absorción y la densidad en áridos reciclados según su tamaño transcurridas 24 horas. Fuente: Kobayashi, S; Kawano, H 1988

Como se puede observar en la graficas anteriores, la absorción presenta valores diferenciados según el tamaño del árido reciclado en densidades bajas, mientras que en densidades superiores, dicha diferencia se anula.

El sistema de trituración influye directamente en el porcentaje de absorción. Según el estudio realizado por Marmash (2000), se obtuvieron valores de absorción mayores cuando se utilizan trituradoras de mandíbulas o molinos de impacto. Adicionalmente, en este estudio se comprobó que los agregados reciclados procedentes de concretos que presentan resistencia elevadas la absorción es menor que el de resistencia más bajas.

Poon et al. (2002), concluyó que la absorción del árido reciclado presento un porcentaje de 7,14% mientras que un agregado natural presentó una absorción de 1,25%.

Kobayashi, S (1988), menciona que los agregados reciclados utilizados en la fabricación de nuevos concretos en Japón, presentan valores máximos de absorción según el tipo y tamaños máximos del agregado como se muestra en la Tabla 3:

Tabla 3. Valores de la absorción según la norma japonesa

Tipo	Absorción (%)	
	AG(agregado Grueso)	AF(Agregado Fino)
I Calidad elevada. Uso en concreto armado	< 3	< 5
II Calidad media. Concreto en masa o soleras	< 3	< 10
III Calidad inferior. Concretos pobres	< 7	-

Fuente: Kobayashi, S (2002)

▪ **DESGASTE**

Un estudio realizado por el American Concrete Institute ACI (2001), concluyó que los agregados provenientes de los residuos de construcción y demolición (RCD) pasan satisfactoriamente en el ensayo ASTM C-131 de desgaste (Maquina de los Ángeles).Mencionada afirmación se debe a que el ensayo no solamente se produce por la pérdida de peso del agregado natural, sino también el resultado de eliminar la totalidad del mortero adherido.

La utilización de sistemas de trituraciones sucesivas (Impacto–Cono), logra retirar de manera más eficiente el mortero adherido al agregado natural, obteniendo una mejora en la calidad del agregado, alcanzando coeficientes de los ángeles con valores más próximos a los de los agregados naturales.

Gonzales (2002), encontró que el coeficiente de desgaste en la máquina de los ángeles del agregado natural corresponde al 27% mientras que para agregado reciclado aumenta hasta llegar al 34%.

▪ **CONTENIDO DE SULFATOS**

En concretos procedentes de demoliciones en edificaciones e infraestructuras, la cantidad de sulfatos contenido en los agregados reciclados producidos, es de gran importancia en el comportamiento del concreto reciclado por su mayor permeabilidad, lo cual facilita la penetración de sustancias con alto contenido en sulfatos. Mencionado comportamiento puede dar a lugar a su combinación con el

aluminato tricálcico del cemento formando ettringita (sulfoaluminato tricálcico hidratado), provocando fuertes expansiones y corrosiones. Además de esto, pueden formarse el hidróxido de calcio libre, que conlleva a un aumento del volumen, generando el agrietamiento del concreto endurecido (López 2008).

Es de considerar que se puede reducir la presencia de yeso en los agregados reciclados mediante la eliminación de los tamaños más finos, de esta manera se reduce la posibilidad de generar mencionadas expansiones.

Los concretos con porcentajes de sustitución de agregado grueso que no superen el 30%, presentarán un comportamiento similar al concreto producido con agregados naturales. A su vez, con porcentaje superiores, la resistencia al ataque por sulfatos disminuye según lo establecido por López (2008).

▪ **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN:**

El uso único de material granular reciclado produce una pérdida de resistencia mecánica, esto debido principalmente a las fracturas internas que se presentan entre el agregado y la matriz del cementante (Corinaldesi et al., 1999). Ver Tabla 4

Tabla 4. Caracterización mecánica del concreto estructural (material natural-material reciclado)

Ensayo Realizado	Material pétreo natural	Material pétreo Reciclado
Resistencia a la compresión (MPa)	30 ± 2	18 ± 2
Volumen (Kg/m³)	2400	1800
Porosidad (%)	12	23

Fuente: Corinaldesi et al., 1999

Según Poon et al. (2004), Resultados de pruebas mostraron que la sustitución de los agregados gruesos y finos naturales por áridos reciclados corresponde a niveles de 25% y 45% (AD=secado al aire; OD=Secado al horno; SSD=muestra en estado de humedad natural) para obtener poco efecto sobre la resistencia a la compresión de las muestras pero niveles más altos de sustitución reduce la resistencia a la compresión como se muestra en las tablas (Tabla 5 y Tabla 6) y Figura 11:

Tabla 5. Caracterización de la muestras (100 %Natural, 80 %Natural-20%Reciclado, 50% Natural-50%Reciclado)

Muestras	Codificación	Adición de agregado
Muestra 1	AD1	100 % Material Natural
	OD1	
	SSD1	
Muestra 2	AD2	80 % Material Natural , 20 % Material reciclado (RCD)
	OD2	
	SSD2	
Muestra 3	AD3	50 % Material Natural, 50 % Material Reciclado (RCD)
	OD3	
	SSD3	

Fuente: Poon (2004)

Tabla 6. Resistencia a la compresión a 3, 7 y 28 días ((100 %Natural, 80 %Natural-20%Reciclado, 50% Natural-50%Reciclado). Fuente Poon (2004)

Mix	Compressive strength of concrete		
	Compressive strength (MPa)		
	3 days	7 days	28 days
AD1	25.0	34.9	48.3
OD1	18.2	27.9	40.2
SSD1	25.2	33.1	46.0
AD2	23.3	34.8	44.9
OD2	19.4	29.2	43.2
SSD2	20.4	30.3	43.0
AD3	22.9	32.2	44.7
OD3	21.0	29.2	39.7
SSD3	17.7	27.0	38.1
AD4	24.4	33.9	46.8
OD4	21.7	32.1	43.3
SSD4	17.5	28.5	39.1

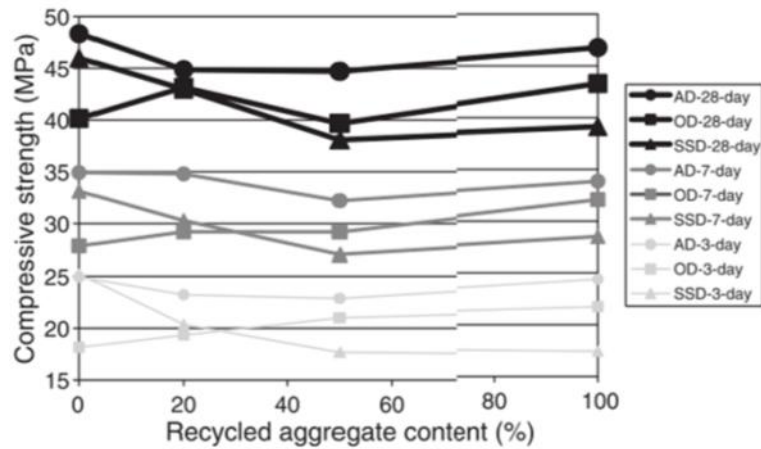


Figura 11. Resistencia a la compresión para diversos porcentajes de agregado reciclado. Fuente Poon (2004)

Para las mezclas de concreto preparadas con la incorporación de agregados reciclados, los concretos de agregado secados al aire (AD) mostraron la mayor resistencia a la compresión. Los agregados reciclados en estado de humedad natural (SSD) parecían imponer el mayor efecto negativo en la resistencia del concreto, que podría ser atribuido al sangrado (exceso de agua) (Poon et al. 2004)

Según López (2008), en los que se reemplaza únicamente el árido grueso y cuyos datos quedan reflejados en la Tabla 7, las pérdidas de resistencia son muy pequeñas cuando el porcentaje de sustitución no supera el 30%, mientras que cuando el porcentaje sustituido es del 50% la resistencia varía entre ganancias de resistencias del 5% y pérdidas de resistencias que van hasta el 16%. Cuando dicho porcentaje aumenta al 100%, las pérdidas de resistencias oscilan entre 1% y 23 %.

Tabla 7. Resistencia a la compresión (diversos autores)

Referencia	Resistencia a compresión. (MPa)			% sustituido	Observaciones
	HC	HR	%Δ		
Kasai 1988	44-34	43-33	-2% -3%	30% AG	
	44-34	42-32	-5% -6%	50% AG	
	44-34	40-26	-10% -23%	100% AG	
Mukai 1988	31,7	29,8	-6%	100% AG y AF	Aumenta contenido de agua y cemento
Kikuchi 1993	40	38	-5%	100% AG	Aumenta contenido de agua y cemento
	40	35	-12,50%	30% AG y	
	40	38	-5%	15% AG y	
Yanagi 1994	34	27,3	-20%	100% AG	Impurezas (5-8%)
Tavakoli 1996	33	33,5-32	-1,50%	100% AG	Aumenta contenido de agua y cemento
Barra 1996	44,4	40,3	-9%	100% AG	Aumenta contenido de agua y cemento
Di Niro 1998	45	38	-16%	50% AG	
Knight 1998	45,2	46,7-43	-3% -5%	30% AG y	Igual contenido de cemento y agua libre
	45,2	44,7-34,8	-1% -23%	60% AG y	
Nagataki 2000	-	-	3% +16%	100% AG y	Árido saturado
Park 2001	41,5	38	-8%	50%	
	41,5	40	-4%	100% AG	
Ajdukiewicz	37,7	34,6	-8%	100% AG	Mas agua HR.
González B. 2002	38,3-	40,2-	5%	50% AG	Aumento 12% de agua y cemento.
	41,8	42,9	3%	50% AG	
Gómez J. 2002	39	35,8	-8%	60% AG	400 kg/m3 de cemento
	39	34,5	-12%	100% AG	
Kou S.C. 2004	45,9	43,6	-5%	20% AG	Con ceniza volante
	45,9	40,4	-12%	50% AG	
	45,9	38,3	-17%	100% AG	
Sánchez M. 2005	29,3	26,3	-10%	100% AG	a/c = 0,60
	40,3	34,4	-15%	100% AG	a/c = 0,50
	48,5	41,3	-15%	100% AG	a/c = 0,50
Jianzhuang X.	26,9	25,4	-6%	20% AG	
	26,9	23,6	-12%	50% AG	
	26,9	23,8	-12%	100% AG	
Tsung Y. T. 2006	-	-	-20%	100% AG	Aumenta contenido de agua y cemento
	-	-	-30%	100% AG y	
Evangelista 2007	59,3	57,3	-3,40%	20% AF	
		58,8	-0,80%	50% AF	
		54,8	-7,60%	100% AF	
Etxeberria 2007	29	28	-4%	25% AG	a/c = 0,55
	29	29	-	50% AG	a/c = 0,52
	29	28	-4%	100% AG	a/c = 0,50
Turatsinze 2007	33,5	33,1	-1%	100% AG	a/c = 0,40
	24,1	23,6	-2%	100% AG	a/c = 0,50
	18,1	17,9	-1%	100% AG	a/c = 0,60

La calidad del concreto de origen, es otra propiedad que influye directamente en la resistencia a la compresión. En la Figura 12, se puede observar como a partir de áridos procedentes de concretos cuyas resistencias era de 30N/mm², pueden fabricarse concretos reciclados, sustituyendo el árido grueso, dando como resultados resistencia por encima de los 35 N/mm² reduciendo adecuadamente la relación agua-cemento. (Ravindrarah 1985).

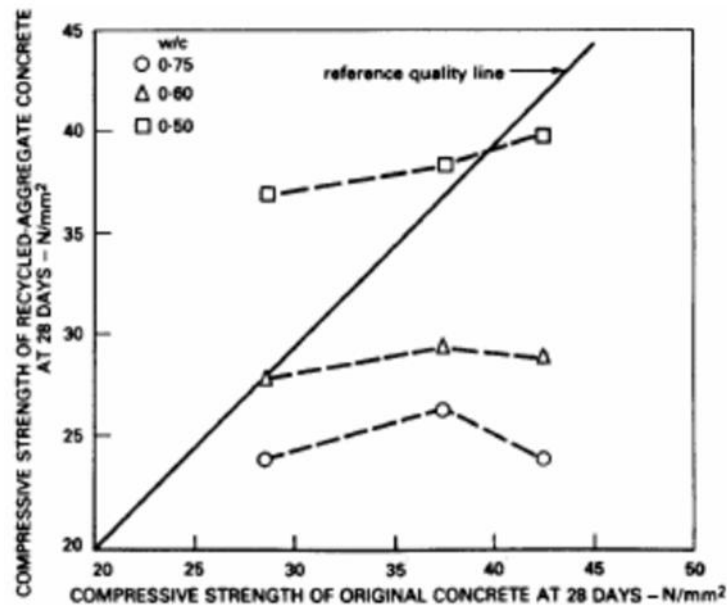


Figura 12. Relación entre la resistencia a la compresión del concreto original y el reciclado. Ravindrajah (1985)

Otro aspecto que influye en la resistencia a la compresión del concreto reciclado, es la cantidad de mortero adherido. Según Nishbayashi et al. (1988), la disminución de resistencia experimentada en un concreto fabricado con agregado reciclado que contenía un 35,5% en peso de mortero adherido fue del 15%, mientras que en el mismo concreto fabricado con el mismo tipo de árido reciclado pero conteniendo un 67,6% de mortero adherido, la disminución de la resistencia fue del 30%.

▪ LOSETA PERMEABLE

Según Subramanian (2008), un concreto permeable es aquél que es diseñado mediante el control detallado de las cantidades de cemento, agregado grueso, agua, y aditivos para de esta manera crear una masa de partículas de agregado cubierta con una capa delgada de pasta. Dicha mezcla contiene poca o ninguna proporción de arena, una relación baja de agua/cemento (w/c) y la suficiente pasta para cubrir y aglomerar las partículas de los agregados y crear un gran contenido de vacíos interconectados altamente permeable que drena con rapidez el agua de lluvia.

Teniendo en cuenta lo anterior expuesto, se realiza las proporciones establecidas para la fabricación de este tipo de concretos permeables (ver Tabla 8)

Tabla 8. Proporción de materiales para concretos permeables

Material	Proporción (Kg/m ³)
Materiales cementosos*	270-415
Agregados de granulación fina (grava o piedra chancada)	1190-1480
Proporción w/cm	0.25-0.34 (con aditivos químicos) 0.34-0.40 (sin aditivos químicos)
Materiales cementosos - Proporción de agregado	1:0.21-0.25
Agregado fino: Proporción de agregado grueso+	0 a 1:1

Fuente Subramanian (2008).

3.4.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Consiste en elaborar los flujos de dinero proyectados para un horizonte temporal, en nuestro caso diez (10) años, para luego descontarlos a una tasa ajustada que permita cuantificar la generación de valor agregado. Mediante este análisis se determina la rentabilidad a precios de mercado de los procesos involucrados en la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) (Murcia, 2009).

Aunque los términos de evaluación económica y evaluación financiera en algunos casos se emplean indistintamente, es importante señalar las diferencias que existen entre ellas: la evaluación financiera tiene como objetivo medir la rentabilidad del capital invertido por el ó los promotores del proyecto (los posibles accionistas) y/o por las entidades que facilitan parte del capital. La evaluación económica tiene como finalidad medir la rentabilidad que para toda la sociedad ofrece el capital invertido. Estas diferencias de objetivos implican otras tales como: en la evaluación financiera se contabilizan todos aquellos impactos, beneficios y costos, que afectan sólo al grupo de accionistas, mientras que en la evaluación económica se contabilizan los que afectan a toda una comunidad y que no impliquen transferencias de recursos. Otra discrepancia entre ambas evaluaciones tiene que ver con los precios; la evaluación financiera se emplean los precios de mercado vigentes para valorar bienes, servicios o insumos en general, en la evaluación económica se utiliza el

costo de oportunidad o utilidad marginal del consumidor siempre y cuando se evidencie que los precios de mercado no son un buen reflejo de estos.

La evaluación económica y financiera permite hacer recomendaciones de políticas públicas referidas a la participación de los diferentes actores en la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) y a los arreglos organizacionales más idóneos para contribuir a mejorarla.

En esta investigación se trabajará con la evaluación financiera, sin que ello niegue hacer algunas consideraciones de los impactos del proyecto, en particular los ambientales sobre la sociedad colombiana, en la ciudad de Bogotá D.C.

Para la identificación y valoración de los costos y beneficios financieros de cada proceso es necesario conocer la situación macroeconómica actual del país, tecnología implicada, los recursos de capital exigidos, los insumos de cualquier tipo requeridos y los recursos humanos necesarios; la valoración de los mismos se realiza a los precios que estén vigentes en el mercado para el momento del análisis. (García O.2009).

La rentabilidad económica y financiera se determina primordialmente por medio de “indicadores económicos”, que son aquellos que contemplan el tiempo durante el cual se realiza el análisis del proceso, cuya estimación viene generalmente dada por la vida útil del activo fijo (maquinaria, instalaciones, equipo) de mayor duración. Se considera que durante ese lapso se incurrirán en costos (de inversión y operación) y se obtendrán beneficios (ingresos monetarios y/o intangibles), los cuales sólo pueden ser comparados si ocurren en el mismo periodo de tiempo; si se generan en periodos distintos, para efectos de comparación, es necesario previamente determinar su equivalencia a través del valor del dinero en el tiempo (Murcia 2009).

ENTORNO MACROECONÓMICO

▪ INFLACIÓN

Es el aumento sustancial, persistente y sostenido del nivel general de precios a través del tiempo, el cual posee la capacidad para promover el crecimiento económico en aquellas economías que muestran bajos niveles de ingresos y, por tanto, una baja capacidad para generar ahorro que permita financiar inversiones, incrementar el empleo y, en general, la actividad productiva. (Banco de la República de Colombia 2012). Para la implementación del modelo económico tomamos como referencia la inflación presentada por el banco de la república (ver figura 12):

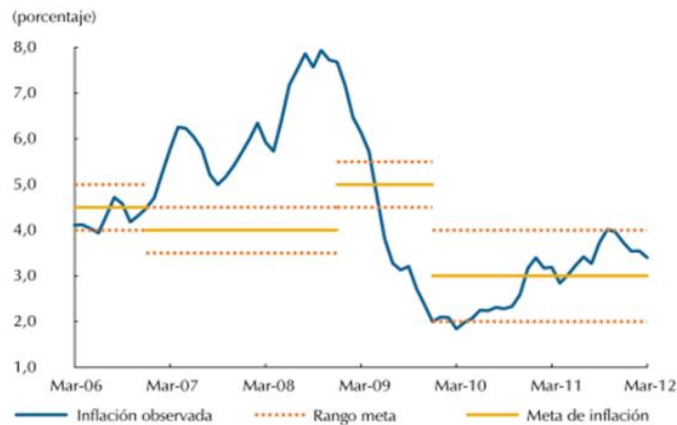


Figura 13. Comportamiento de la Inflación año Marzo 2006- Marzo 2012. Fuente DANE y Banco de la República 2012.

Luego se realizó su acumulación, dejando una tasa de tendencia inflacionaria (TTI) del tres por ciento (3%) para la evaluación financiera a diez (10) años como se muestra a continuación:

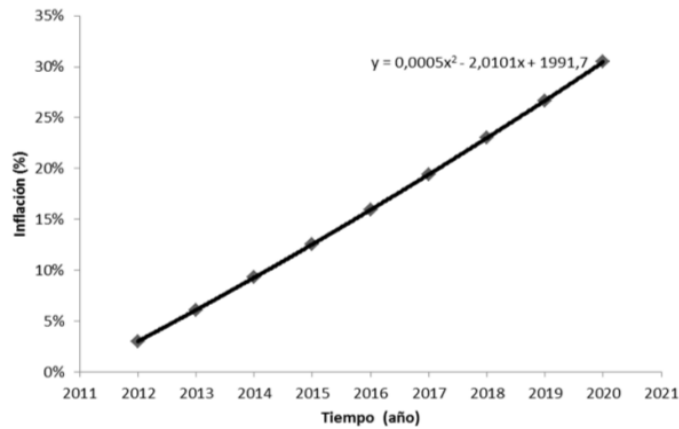


Figura 14. Inflación Acumulada (2012-2020)

▪ ÍNDICE DE COSTOS DE LA CONSTRUCCIÓN PESADA (ICCP)

Es un instrumento estadístico que permite conocer el cambio porcentual promedio de los precios de los principales insumos requeridos para la construcción de carreteras y puentes, en un período de estudio (DANE 2012). Para la implementación del modelo económico se realizó las siguientes proyecciones dadas por el departamento de administrativo nacional de estadística (DANE):

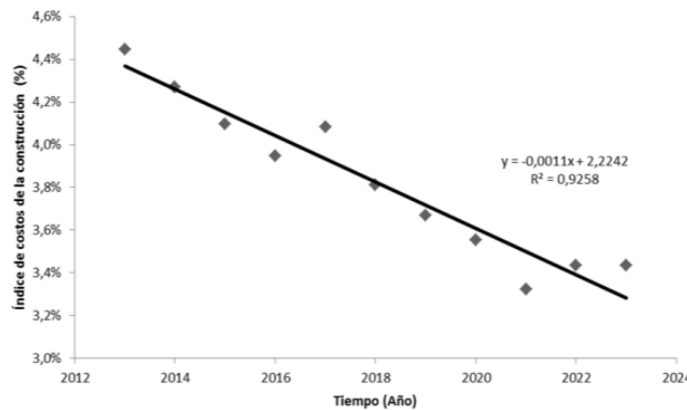


Figura 15. Índice de Costos de la construcción pesada (ICCP). Año (2012-2022).

▪ PRODUCTO INTERNO BRUTO (PIB)

Es el resultado final de la actividad productiva de las unidades de producción residentes. Se mide desde el punto de vista del valor agregado, de la demanda final o las utilizaciones finales de los bienes y servicios y de los ingresos primarios distribuidos por las unidades de producción residentes (DANE).

Tabla 9. Producto interno bruto (2000-2011)

Años	Producto Interno Bruto Total				Población ¹ (Personas)	Producto Interno Bruto Por Habitante	
	A precios corrientes		A precios constantes de 2005 por enca denamiento			A precios corrientes	
	Miles de millones de pesos	Tasas anuales de crecimiento	Miles de millones de pesos	Tasas anuales de crecimiento		Pesos	Tasas anuales de crecimiento
2000	208.531	-	284.761	-	40.295.563	5.175.036	-
2001	225.851	8,3	289.539	1,7	40.813.541	5.533.727	6,9
2002	245.323	8,6	296.789	2,5	41.328.824	5.935.881	7,3
2003	272.345	11,0	308.418	3,9	41.848.959	6.507.808	9,6
2004	307.762	13,0	324.866	5,3	42.368.489	7.263.936	11,6
2005	340.156	10,5	340.156	4,7	42.888.592	7.931.153	9,2
2006	383.898	12,9	362.938	6,7	43.405.956	8.844.362	11,5
2007	431.072	12,3	387.983	6,9	43.926.929	9.813.388	11,0
2008*	480.087	11,4	401.744	3,5	44.451.147	10.800.329	10,1
2009	504.647	5,1	408.379	1,7	44.978.832	11.219.656	3,9
2010 ^P	543.747	7,7	424.719	4,0	45.509.584	11.947.967	6,5
2011 ^{Pr}	615.727	13,2	449.837	5,9	46.044.601	13.373.381	11,9

Fuente: Departamento de administrativo nacional de estadística (DANE 2011)

▪ TASAS DE INTERESES (DTF)

Las tasas de captación son las tasas de interés que las instituciones financieras reconocen a los depositantes por la atracción de sus recursos. Mencionadas tasas de interés se conocen también como tasas de interés pasivas porque son depósitos que constituyen una deuda de la entidad financiera con terceros. El Banco de la República calcula tasas de interés de captación como la denominada DTF y CDT con base en promedios ponderados por montos transados (Banco de la república de Colombia).

Tabla 10. Tasas de captación semanales - DTF, CDT 180 días, CDT 360 días y TCC Abril 2012

	Tasa de interés - efectiva anual
Tasa de interés de los certificados de depósito a término 90 días (DTF)	5,42%
Tasa de interés de los certificados de depósito a término 180 días (CDT180)	5,95%
Tasa de interés de los certificados de depósito a término 360 días (CDT360)	6,31%

Fuente: Banco de la república de Colombia

▪ PRESUPUESTO DE INVERSIÓN

Es la cuantificación de los recursos financieros requeridos y la ubicación en el tiempo de dichas cuantías, que permite a la dirección planear y controlar los objetivos en cuanto a ganancias y servicios. El sistema de presupuestos exige una previsión sistemática basada en la experiencia del pasado y en las condiciones que se prevean en el futuro (Murcia 2009).

El presupuesto de inversión es un documento que prevé las inversiones y su financiación, los gastos e ingresos que se producirán, y se percata de las compras e ingresos de varios periodos.

El presupuesto de inversión utilizado abarca tres grandes rubros:

1. Activos Fijos
2. Diferidos
3. Capital de trabajo

▪ FUENTES DE FINANCIACIÓN

Se refiere a la consecución de fondos (capital), para las adquisiciones de los diferentes activos que se requieran para la operación del negocio. El hecho de que una empresa financie recursos con deuda, con la finalidad de generar una rentabilidad que sea mayor que el costo de esos recursos se denomina “apalancamiento financiero” o “palanca financiera”.

Si la rentabilidad que presenta el activo es mayor al costo de la deuda adquirida, a mayor endeudamiento, mayor rentabilidad para el propietario, lo cual no significa que deba tomarse la máxima cantidad de deuda disponible (García O.2009); Es por esta razón que la principal decisión de financiación es la determinación de la estructura financiera de la empresa (proporción entre pasivo y patrimonio que la empresa utiliza para financiar sus activos)

El apalancamiento financiero, se ejecutará mediante dos únicos aportes:

1. **Créditos comerciales:** pertenece a un porcentaje (%) de los costos de los siguientes activos:

- Lote.
- Construcción.
- Maquinaria y equipo.

2. **Financiación accionistas:** pertenece un porcentaje (%) de los costos faltantes de los rubros anteriores (lote, construcción, maquinaria y equipo), así como también al capital de trabajo correspondiente a dos (2) meses de salario.

PROYECCIONES FINANCIERAS

▪ COSTO DE CAPITAL

Es la rentabilidad mínima que deben producir los activos de la empresa, Si la empresa obtiene una rentabilidad igual a su costo de capital, los propietarios obtiene sobre su patrimonio una rentabilidad igual a la mínima esperadas (García O.2009).

▪ FLUJO DE CAJA LIBRE

Es el flujo de caja que permanece disponible para los acreedores financieros y los socios. A los acreedores financieros se le atiende con servicios a las deuda (capital más intereses), y los propietarios con la suma restante, con la cual se tomaran decisiones (García O.2009).

Tabla 11 Relación entre flujo de caja libre y el balance general

ACTIVOS Flujo de Caja Libre (FCL)	PASIVOS Acreedores Financieros
	PATRIMONIO Accionistas

Fuente: García (2009)

Los activos de una empresa producen flujo de caja libre, que a su vez se entregan a quienes financian esos activos, es decir, acreedores financieros y los accionistas o Socios. El flujo de caja se estima mediante las siguientes operaciones expresadas en la tabla 12:

Tabla 12. Calculo del flujo de caja libre

Ventas
Costo de Ventas (costos directos + costos indirectos)
UTILIDAD BRUTA
Gastos de administración y de ventas y depreciaciones
UTILIDAD OPERATIVA
Impuesto operativo 33 % de la utilidad operacional.
UTILIDAD operativa después de impuestos
Depreciaciones y amortizaciones de activos diferidos
FLUJO DE CAJA BRUTO
Aumento de capital del trabajo neto operativo (KTNO)
Inversión en capital de trabajo
Activos fijos
Diferidos (gasto de constitución y licencias)
Recuperación
FLUJO DE CAJA LIBRE (FCL)

Fuente: García (2009)

El flujo de caja libre y la rentabilidad del activo son los dos aspectos cuya permanente mejora proporciona el aumento del valor de la empresa.

- **FLUJO DE CAJA DE LOS INVERSIONISTAS (FCA)**

Calcula las transacciones monetarias que deben hacer los inversionistas en un proyecto y los beneficios que obtendrán.

- **FLUJO DE CAJA DE LA FINANCIACIÓN (FCF)**

Calcula los requerimientos de financiación del proyecto, sus pagos y los ahorros en impuestos derivados de esta financiación.

- **RENTABILIDAD**

Es una medida de la productividad de una empresas que comprende los fondos percibidos en un negocio desde un análisis a largo plazo dando como importancia, garantizar su permanecía y crecimiento y un aumento de su valor (García O.2009)

▪ **VALOR PRESENTE NETO (VPN)**

Es el equivalente en valores actuales de todos los ingresos y egresos, presentes y futuros que constituyen el proyecto (Murcia 2009).

Si el VPN es mayor que cero, el proyecto rinde una tasa superior al costo de capital, por lo tanto agrega valor. Por el contrario si el VPN es igual a cero, el proyecto rinde a una tasa igual al costo de capital, y por lo tanto ni agrega ni destruye valor. (García O.2009)

▪ **COSTO DE CAPITAL (WEIGHTED AVERAGE COST OF CAPITAL (WACC))**

Es una tasa de descuento que mide el costo de capital entendido éste como una media ponderada entre la proporción de recursos propios y la proporción de recursos a terceros. Mencionado parámetro pondera los costos de cada una de las fuentes de capital. (García O.2009).

$$WACC = K_e \frac{CAA}{CAA + D} + K_d(1 - T) \frac{D}{CAA + D}$$

Dónde:

WACC: (Weighted Average Cost of Capital) o (Promedio Ponderado del Costo de Capital).

Ke: Cost of equity, es decir, lo que le cuesta a la empresa financiar sus recursos propios provenientes de accionistas, o lo que es lo mismo, la tasa de retorno que exige el accionista para el riesgo de esa empresa.

CAA: Capital aportado por los accionistas.

D: Deuda financiera contraída.

Kd: Costo de la deuda financiera.

T: Tasa de impuesto a las ganancias.

- **VALOR ECONÓMICO AGREGADO (EVA):**

Es la diferencia de la utilidad operacional después de impuestos (UODI) que una empresa obtiene y la mínima que debería obtener por el costo de capital. Es un remanente que generan los activos cuando rinden por encima del costo de capital. EL valor económico agregado (EVA), es un indicador innovador que promueve el reconocimiento de otros costos (costo de patrimonio de los accionistas o socios) adicional al costo financiero de la deuda. (García O.2009).

$$\text{EVA} = \text{UODI} - \text{recursos utilizados} * \text{WACC}$$

Donde:

UODI: Utilidad operacional después de impuestos

WACC: Costo de capital.

Cuando el EVA se incrementa se debe principalmente porque la rentabilidad marginal del periodo fue superior al costo de capital. (García O.2009).

- **RELACIÓN BENEFICIO / COSTO (B/C)**

Es un complemento de la evaluación financiera sobre la rentabilidad del proyecto, la relación beneficio costo (R (B/C)), es un criterio importante para definir la “conveniencia” y “oportunidad” del mismo proyecto, en términos de sí el sacrificio de los recursos económicos se ve superado por los beneficios, que en diferentes ámbitos, ofrezca la realización del mismo. (García O.2009).

Si $R (B/C) > 1$, el proyecto es aceptable.

Si $R (B/C) < 1$, el proyecto NO es aceptable.

- **ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD**

Tiene como objetivo diseñar diferentes escenarios supliendo los valores iniciales de variables claves (precio, costos y ventas), con el fin de determinar su impacto en los indicadores de evaluación, lo que puede llevar a revisar escenarios optimistas o pesimistas (Murcia 2009).

Mediante este análisis podemos estimar que tanto se afecta el pago del servicio a la deuda ante diferentes cambios en los ingresos esperados. Mencionada cálculo nos dará una idea sobre lo remoto o no de una posible situación de insolvencia (García O.2009).

Para efectuar dicho análisis se tomaron como variables afectables a saber: Precio de venta (% de descuento respecto a costo del agregado natural), Tasa de interés pagada al accionista (%).

- **PERIODO DE RETORNO DESCONTADO**

Consiste en realizar la acumulación no en términos nominales sino en término de los valores presentes de los flujos de caja, utilizando como tasa de descuentos el costo de capital, es decir acumula los valores presentes de los diferentes flujos de caja. (García O.2009)

3.4.3 EVALUACIÓN INSTITUCIONAL

Se refiere a los arreglos organizativos de mayor conveniencia económica y legal para adelantar cada uno de los procesos que conforman la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD). Mediante este análisis se logra realizar recomendaciones a las diferentes organizaciones y sugerir cuales deberían ser las estructuras y características de las mismas.

Esta evaluación permite formular sugerencias sobre las ventajas y desventajas de las administraciones privadas para los procesos de gestión de construcción y demolición (RDC), ya sea mediante gerencias parcialmente delegadas a costos previamente acordados, o mediante la promoción de iniciativas que señalen a potenciales inversionistas las ventajas de invertir y operar alguno de estos procesos (Romero 1995).

Los resultados de este análisis también se emplean para sugerir las propuestas de políticas públicas necesarias para sugerir y/o ajustar el necesario marco legal requerido por los arreglos organizativos que puedan ser recomendados. Es por ello que en acápite posteriores se documenta el marco legal colombiano.

3.5 LA SITUACIÓN DE LOS RCD A NIVEL INTERNACIONAL

GENERACIÓN, COMPOSICIÓN, PRODUCCIÓN Y REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)

Según Oliveira (2004), Brasil es el primer país de América Latina en donde fue instalada una planta de reciclaje de residuo de la construcción. Por otra parte, según Poon et al. (2006), Hong Kong posee grandes déficits de espacio y la forma más común para obtener territorio adicional es mediante la demolición de edificios antiguos y la sustitución por edificios de gran altura. Las cantidades de residuos de construcción y demolición (RCD) generada en Hong Kong han aumentado significativamente, de 13.6 millones de toneladas en 1999 a más de 20 millones de toneladas en 2004 y para poder utilizar estos residuos se deben realizar ensayos de uso de áridos reciclados en las propiedades del concreto resultante y se resumen en las especificaciones de la RILEM y el Reino Unido que regulan el uso de áridos reciclados en el concreto.

Kibert (2009), presenta cifras de producción de escombros por persona en un año, en demolición de estructuras de edificios, la cual produce una enorme cantidad de materiales (escombros) que en la mayoría de los países son reutilizados (ver tabla 13):

Tabla 13. Cantidad de materiales es diferentes países (toneladas/persona/año) (kibert 2009)

País	T/p/Año
Estado Unidos	0,32
Australia	0,37
Europa	0,9
Israel	0,09
Noruega	0,32
China	0,02
Brasil	0,03

Fuente: Kibert 2009.

Según Kibert (2009), la deconstrucción de los edificios tiene varias ventajas sobre la demolición convencional .Las ventajas son:

- Una reducción significativa de espacio en la escombrera.
- Gran potencial de reutilización de los componentes de la construcción.
- Mayor facilidad de reciclaje de materiales.
- Mayor protección del medio ambiente, tanto local como globalmente.

La deconstrucción conserva la energía invertida en el proceso de creación de materiales, reduciendo así, la entrada de nueva energía incorporando el tratamiento o refabricación de materiales. En Estados Unidos de América (EE.UU), los residuos de construcción y demolición (RCD) representa aproximadamente una tercera parte del volumen de materiales que entran en las escombreras(Kibert 2009).

La primera reunión del CIB TG39 en el Building Research Establishment (BRE) en Garston, Watford, Reino Unido realizada en el año 2000, tuvo como finalidad evaluar el estado de la deconstrucción en una variedad de países de todo el mundo. Informes de los países: Australia, Alemania, Israel, Japón, Países Bajos, Noruega, Reino Unido y los EE.UU. A continuación se presenta un breve resumen de la deconstrucción en una selección de estos países, que representa las diferencias y similitudes Ver figura 16:

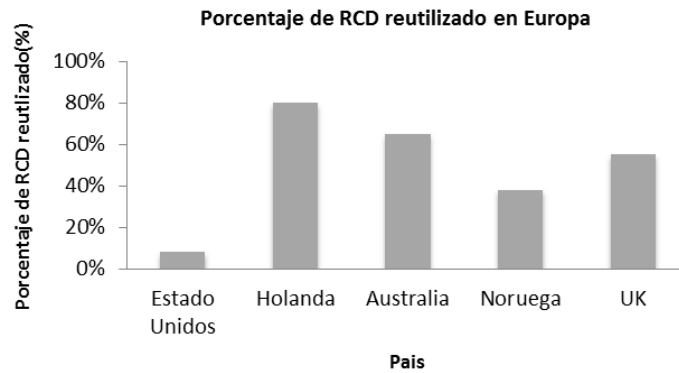


Figura 16. Porcentaje de RDC reutilizado por Desconstrucción en diferentes países (kibert 2009)

Según Rao (2006), los residuos de construcción y demolición (RCD), constituyen una porción importante de la producción total de residuos sólidos en el mundo, y la mayor parte se utiliza en rellenos sanitarios. Las investigaciones realizadas por los ingenieros de concreto sugieren claramente la posibilidad de un tratamiento adecuado y la reutilización de estos residuos como agregado en el concreto nuevo, especialmente en aplicaciones de nivel inferior.

De los aproximadamente 2,7 millones de toneladas métricas de agregados que se utilizan actualmente en los EE.UU, su uso se clasifican en : (Ver figura 17):

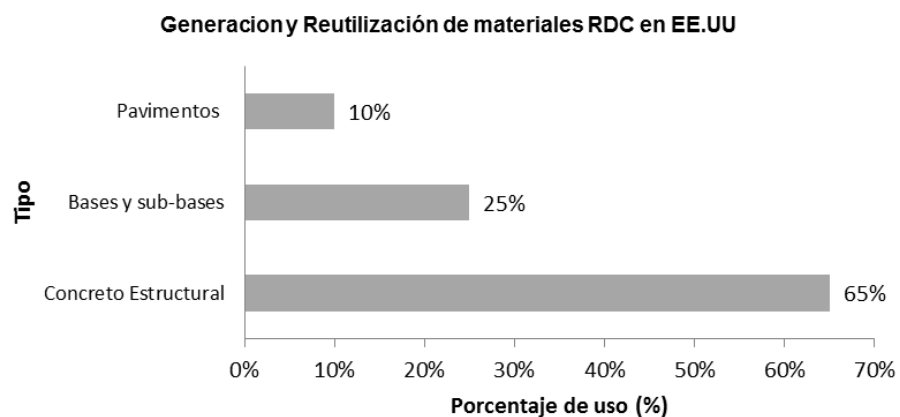


Figura 17. Generación y reutilización de materiales RDC en EE.UU (Rao 2006)

Se estima que la producción de RCD en la unión Europea (EU) alcanza 450 millones de toneladas por año, incluso si se sacaran los residuos de tierra y otros, alcanza los 180 millones de toneladas, o lo que se traduce en 480 kg per cápita al año. Se calcula que en toda la UE en los años 90 reciclaba alrededor del 28% de la producción de RCD. La mayoría de los miembros de la UE se trazaron metas para aumentar de un 50 a un 90% el reciclaje de los RCD con la finalidad de ir sustituyendo los recursos naturales.

Según Rao (2006), el agregado de concreto reciclado puede ser producido a partir de dos elementos: (a) prefabricados, y (b) demolición de edificaciones de concreto. En el primer caso (prefabricados), el total del material recuperado podría ser relativamente limpio, con la pasta de cemento adherida al material, mientras que en el caso (b) (Demolición de edificaciones), el material podría estar contaminado con sales, ladrillos, tejas, arena, polvo, madera, plásticos, cartón, papel, y metales. Se ha demostrado que la contaminación adherida después de la separación de otros residuos, y tamizado, se puede utilizar como un sustituto natural de los agregados gruesos de concreto (Nagataki et al., 2004).

Los áridos reciclados, ya sean finos o gruesos, se pueden obtener de trituración primaria y secundaria y su posterior eliminación de impurezas. La forma de las partículas mejor distribución se consigue normalmente en la trituración primaria y la trituración secundaria, pero desde un punto de vista económico, un único proceso de trituración suele ser más eficaz. Trituración primaria por lo general reduce los escombros RCD de concreto a unos 50 mm, mientras que en segundo lugar, los electroimanes se utilizan para eliminar las impurezas del metal (Corinaldesi et al., 2002). La segunda trituradora se utiliza para reducir el material adicional a un tamaño de partícula de aproximadamente 14 a 20mm.

Natalini (2001), realizó un estudio del destino de los residuos de construcción y demolición en Argentina, efectuando un análisis con entidades públicas y privadas, dando como resultado las siguientes cifras (Ver figura 18):

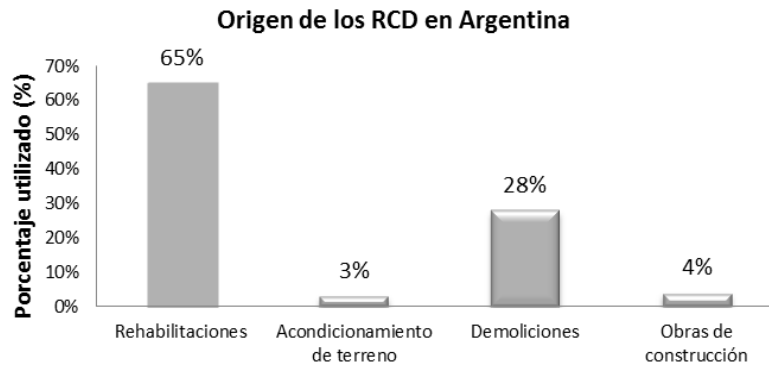


Figura 18. Origen de los RCD en Argentina (Natalini 2001)

Según Natalini (2001), la composición de los RCD se encuadra dentro de lo previsible, ya que la mayoría de los desechos provienen de obras de reparación de viviendas; las estructuras de concreto son menos comunes (ver Figura 19).

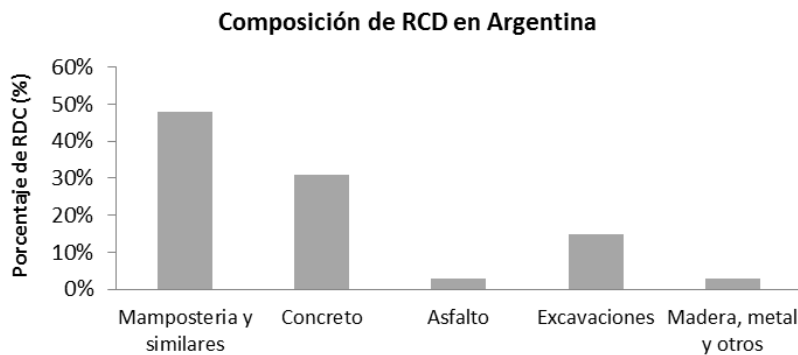


Figura 19. Composición de RCD en Argentina (Natalini 2001)

Otro estudio realizado por el Instituto de Tecnología de Cataluña (ITEC), concluye que los RCD destinados a vertedero están compuestos básicamente de materiales de origen pétreo, en porcentajes que pueden variar de 75% y 95%. La fracción pétreo de los RCD es la base para la producción de áridos reciclados; la madera y los metales ya tienen su espacio en el mercado; en cuanto a los plásticos y los rechazos son perfectamente valorizables energéticamente (Álvarez 2010).

CLASIFICACIÓN, DISPOSICIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE RCD

En Argentina se llevan a cabo una serie de procesos con los materiales RCD, los cuales son detallados por Natalini (2001) y presentados en la Tabla 14:

Tabla 14. Procesos realizados para disposición final o reutilización de RCD. (Natalini 2001)

Tipo de residuo	destino	Material	Uso	
RCD seleccionado	Selección manual	Trituración del material seleccionado	Trozos de mampostería	Construcción de vivienda, contrapiso
		Vertido	Tierra	rellenos
	Selección manual y mecánica (con cintas transportadoras)	Acopio y Venta	Escombros	Venta en depósito
		Vertido	Pétreos	Relleno de terrenos
		Demolición selectiva (residuos quedan separados)	Acopio y Venta	No pétreos
RCD no seleccionado	Vertido	Pétreos	Relleno de terrenos	
		Cualquier escombros	Relleno Sanitario	

En la tabla anterior se puede evidenciar que algunas empresas en Argentina llevan a cabo procesos de selección y trituración de materiales RCD con el objetivo de reutilizarlos o de venderlos a terceros, buscando ganancias adicionales o de esta manera disminuir los costos que a su vez son transferidos a las utilidades de cualquier proyecto.

Entre tanto Inglaterra lleva la delantera en cuanto a criterios de disposición de RCD y reutilización de dichos materiales según lo mostrado por Echeverry (2009), buscando normalizar los criterios de selección de los RCD en la Comunidad Europea. Para ello ha llevado a cabo una clasificación de residuos reciclables (RCD) mediante la utilización de contenedores de colores, tal como se muestra continuación:

- Color Amarillo: Material Orgánico.
- Color Blanco: Yeso.
- Color Naranja: Residuos Peligrosos. (Residuos Hospitalarios).
- Color Morado: Material Inerte. (Concreto, Adoquín, prefabricados).
- Color Azul: Metales.
- Color Negro: Materiales mezclados de difícil selección.

- Color Café: Empaquetaduras.
- Color Azul Claro: Vidrio.
- Color Verde: Madera.

Estas medidas de identificación han venido siendo tomadas debido a que los costos de la disposición final de RCD son muy elevados. Según Echeverry (2009), La extracción del material cuesta alrededor de \$11.000/m³ (Pesos Colombianos COP 2009), mientras que disponerlo cuesta cerca de \$16.500/m³ (Pesos Colombianos COP 2009).

En España, específicamente en la comunidad de Cataluña se encuentra el mayor número de instalaciones gestoras de RCD, la cual cuenta con un programa de gestión que está directamente vinculado a la legislación nacional y europea; el PROGROC (Programa de Gestión de los Residuos de la Construcción). La planta de reciclaje de Les Franqueses, Tecnocatalana de Runes, posee el más amplio y diverso nivel tecnológico en sus instalaciones para de esta manera procesar cerca de 8.000.000 toneladas de residuos de la construcción y demolición (RCD) al año (ver Figura 20). (Álvarez 2010).

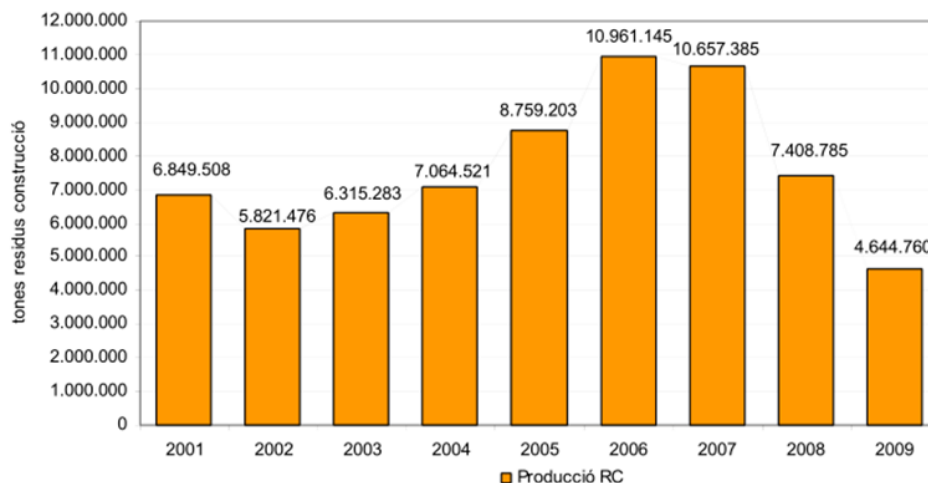


Figura 20. Producción de RCD (Toneladas), Cataluña –España. Fuente. Álvarez 2010

COSTOS

La planta de reciclaje de Les Franqueses ubicada en Cataluña–España, gestiona aproximadamente 112.289 Ton de residuos clase uno (1) y clase dos (2) a un costo de mercado estipulado (Ver Tabla 15) .Un total de 66.820 toneladas fueron recicladas y han vuelto al mercado como nuevos productos a ser utilizados en la construcción. La cantidad de residuos no reutilizables no recuperados ha sido de 502 toneladas (Álvarez 2010).

Tabla 15. Clasificación-descripción, cantidad y costo- Planta de reciclaje de Les Franqueses-España

CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	%	€/ton
Clase I – Escombros Limpio Hormigón	Hormigón + piedra natural	29.840,0 Tn	26,57	4,85
Clase II – Escombros Limpio Cerámico	Cerámicos + Hormigón + Hierro	76.059,0 Tn	67,73	7,00
Clase III – Escombros Mixto	Cerámicos + Hormigón + Poca cantidad de: (Hierro + Plásticos + Papeles + Maderas)	5.768,0 Tn	5,13	9,80
Clase IV – Escombros Bruto	Cantidad normal de: (Cerámicos + Hormigón) + Cantidad evidente de: (Hierro + Plásticos + Papeles + Maderas)	557,0 Tn	0,49	25,00
Clase V	Poca cantidad de: (Cerámicos + Hormigón) + Mucha cantidad de: (Hierro + Plásticos + Papeles + Maderas)	61,0 Tn	0,05	90,00

Fuente: Álvarez 2010.

3.6 LA SITUACIÓN DE LOS RCD EN COLOMBIA GENERACIÓN Y PRODUCCIÓN DE RCD

Según el trabajo realizado por la Secretaria de Hábitat de Bogotá (2009), se pueden establecer unos valores de generación de RCD en la ciudad de Bogotá D.C., teniendo en cuenta su procedencia, ya sea por ejecución de contratos públicos o privados, mostrando una generación total de RCD durante el periodo comprendido entre 1997 y 2008 tal como se muestra en la Figura 21.

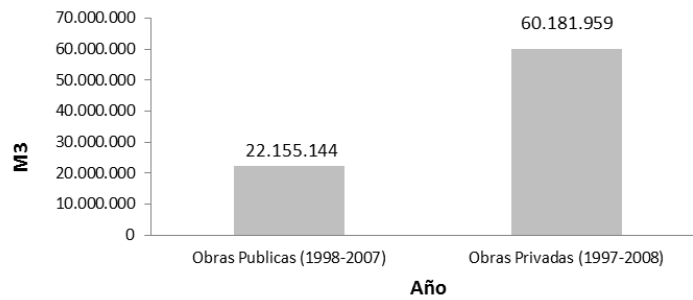


Figura 21. Generación de RCD en la ciudad de Bogotá D.C. durante el periodo (1998-2007). (Secretaría de Hábitat de Bogotá D.C., 2009)

Por otro lado este trabajo plasma información proyectada anualmente teniendo en cuenta la generación de RCD en contratos públicos y privados mostrando una tendencia de crecimiento superior en los contratos de carácter público en comparación con el sector privado, tal como se muestra en la Figura 22.

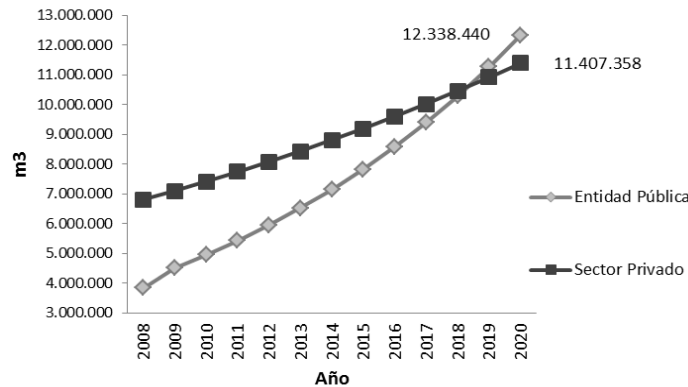


Figura 22. Tendencia de generación de RCD en la ciudad de Bogotá D.C. (Secretaría de Hábitat de Bogotá D.C., 2009)

Por otro lado COAMBIENTE en 2009, empresa cuyo objetivo es la asesoría técnica, para la ejecución de proyectos sostenibles en los cuales se priorice la preservación del medio ambiente, enfoca sus estudios a la gestión integral de los RCD en la ciudad de Bogotá. En su estudio encuentra que un metro cuadrado de construcción ejecutado puede generar 1,42 metros cúbicos (m³) aproximadamente de RCD, con lo cual se pueden hacer algunos cálculos preliminares para hallar la cantidad de RCD para una obra determinada. A su vez tienen algunos datos que muestran la incidencia de cada sector en la generación de los RCD para el año 2008 (ver Figura 23).

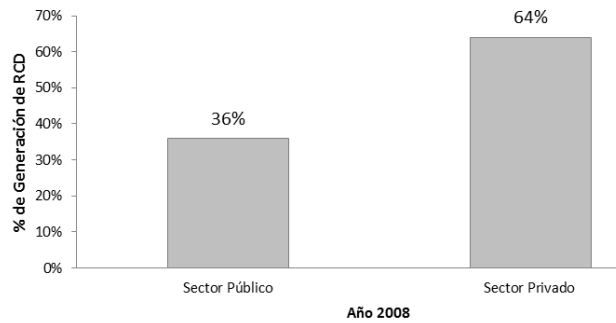


Figura 23. Incidencia del sector público y privado en la generación de RCD. (COAMBIENTE 2009)

Coambiente también reitera que de acuerdo al estudio realizado, desde el año 2008 al año 2020 se pueden generar cerca de 214 millones de metros cúbicos (m³) en la ciudad de Bogotá.

En cuanto a lo expuesto por Cárcamo (2008), se establece que la generación de RCD va directamente relacionada al crecimiento económico de la región en la cual se esté haciendo el estudio. Por tanto se detalla el crecimiento que ha tenido la economía entre el año 2005 y el año 2008, puntualizando dicho crecimiento por cada sector de la economía (ver Figura 24), que dependerá de la sostenibilidad económica y social actual del país.

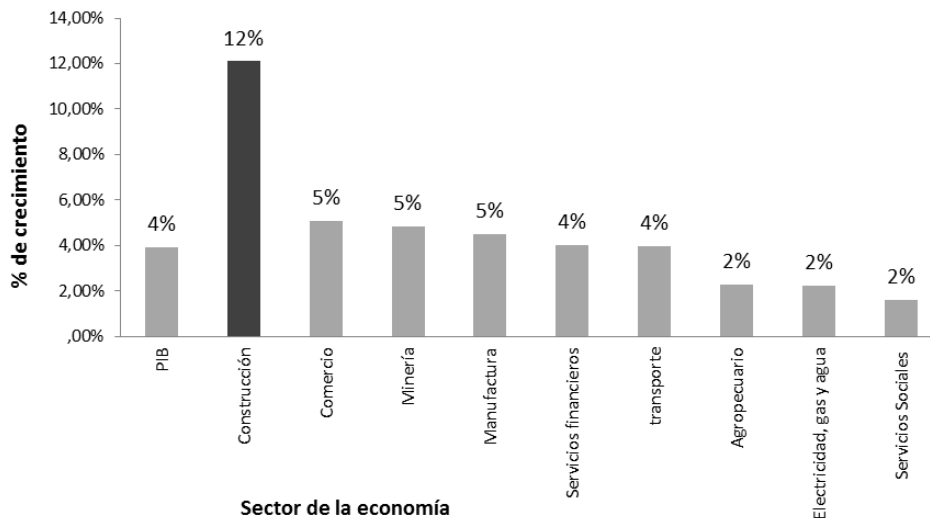


Figura 24. Porcentaje de crecimiento, según los sectores de la economía colombiana (Cárcamo 2008).

3.6.1 IMPACTOS AMBIENTALES

En la disposición final de los residuos de construcción y demolición (RCD) se tienen incluidos impactos ambientales negativos, los cuales deben ser minimizados al máximo, para garantizar la sostenibilidad del sitio de disposición. Por tanto la secretaría de hábitat de Bogotá (2009) estableció mediante su análisis, una caracterización de los componentes de la disposición final de escombros que más afectan el medio ambiente, con lo cual estimó unos porcentajes de afectación para cada uno de los componentes, tal como se muestra en la Figura 25.

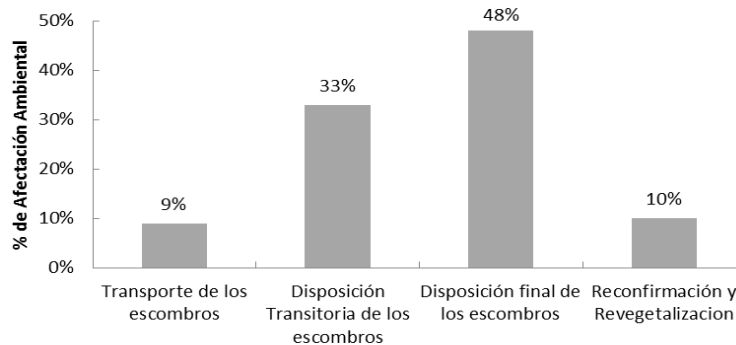


Figura 25. Afectación Ambiental teniendo en cuenta las diferentes actividades de la disposición final de RCD. (Secretaría de Hábitat de Bogotá D.C., 2009)

Por otro lado según lo expuesto por Echeverry (2009), se deben considerar los siguientes aspectos ambientales que pueden verse afectados por cada una de las actividades ejecutadas durante la disposición final de escombros.

- Procesos erosivos.
- Retiros a fuentes de agua.
- Compatibilidad con los usos del suelo.
- Paisaje.
- Manejo de bosques existentes.

Para ello Echeverry (2009) muestra que los residuos de construcción y demolición (RCD) para la ciudad de Medellín en el año 2008 estuvieron diferenciados tal como se muestra en la Figura 26:

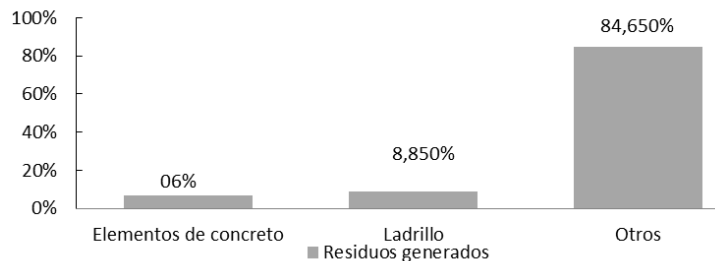


Figura 26. Caracterización de los residuos generados en Medellín en el año 2008. (Echeverry 2009)

Por otro lado Copete (2003), detalla algunos aspectos ambientales teniendo en cuenta el manejo actual que se lleva a cabo con los RCD y las dificultades que presentan a la hora de tratar de reutilizar dichos RCD:

- Elevados volúmenes.
- Dificultad en reutilización debido a mezcla de materiales.
- Disposición en sitios ilegales afectando el ecosistema existente.
- Deterioro de los pavimentos, debido al transporte de material.
- Generación de suciedad en las vías de tránsito del material.

Esto evidencia, que los costos hasta la fecha presentados, en cuanto a la disposición final de escombros sin una gestión integral de los mismos, no presentan mayores variaciones comparándolos con una gestión de los RCD para su posible reutilización. Lo que conduce a que las empresas prefieran no desgastarse en este tipo de procesos sin recibir beneficios económicos tangibles.

3.6.2 COSTOS

Lo que se busca es hallar las diferencias encontradas en cuanto a la utilización de materiales RCD para la construcción de elementos nuevos necesarios para el desarrollo de la construcción. Así mismo y de acuerdo con lo contemplado por Echeverry (2009) en el análisis realizado en la elaboración de concreto utilizando agregado proveniente de RCD y otro proveniente de cantera se evidencia en la Tabla 16.

Tabla 16. Comparación de costos entre un concreto con agregado RCD y otro convencional. (Echeverry 2009)

CONCRETO CONVENCIONAL					
MATERIAL	CANTIDAD		COSTO UNITARIO		COSTO
	Kg	m ³			
CEMENTO	350.00	0.12	\$ 19,000.00	\$/Bulto	\$ 133,000.0
AGREGADOS	1750.00	0.70	\$ 34,000.00	\$/m ³	\$ 23,800.0
AGUA	175.00	0.18	\$ 1,457.00	\$/m ³	\$ 255.0
TOTAL	2275.00	0.99			\$ 157,055.0

CONCRETO RECICLADO					
MATERIAL	CANTIDAD		COSTO UNITARIO		COSTO
	Kg	m ³			
CEMENTO	350.00	0.12	\$ 19,000.00	\$/Bulto	\$ 133,000.0
AGREGADOS	1260.00	0.70	\$ 25,000.00	\$/m ³	\$ 17,500.0
AGUA	175.00	0.18	\$ 1,457.00	\$/m ³	\$ 255.0
TOTAL	1785.00	0.99			\$ 150,755.0

Con este análisis se puede establecer que se puede generar un ahorro cercano al 4% utilizando material RCD como agregado, lo cual significa un avance en el tema de costos a favor de la gestión de RCD.

También el autor hace un análisis teniendo en cuenta una disposición final de materiales RCD y otra en la cual se hace la gestión y se lleva a cabo un proceso para lograr la reutilización de este tipo de materiales obteniendo la siguiente (Tabla 17):

Tabla 17 Diferencia en costos entre la disposición final de RCD y la reutilización de RCD. (Echeverry 2009)

MANEJO DE ESCOMBROS - DISPOSICIÓN		
RETIRO DE ESCOMBROS		
Coefficiente de Expansión		1.3
# Viajes Escombrera		337
Costo Viaje Escombrera	\$	100,000.00
Costo Total	\$	33,700,000.00
APROVECHAMIENTO DE ESCOMBROS		
PROCESO DE TRITURACIÓN		
Costo Aproximado Trituración (\$/m ³)	\$	40,000.00
Costo Transporte (\$/Km-m ³)	\$	500.00
Viaje Promedio (Km)		7.00
Costo Transporte (\$/m ³)	\$	6,300.00
Coefficiente Expansión Triturado		0.80
Costo Trituración - Transporte	\$	84,031,536.80
NUEVA MATERIA PRIMA		
Costo Promedio Viaje Agregado (\$/m ³)	\$	30,000.00
Costo Materia Prima	\$	(54,448,080.00)
Costo Total	\$	29,583,456.80

Con la tabla anterior podría hacerse un estimativo preliminar en el cual se puedan generar ahorros económicos para la empresa que genere una gestión de los RCD encaminada a la reutilización de este material como agregado para la construcción de nuevos elementos constructivos, ya sea en su propia obra o para la venta a terceros.

Con el objetivo de encontrar todos aquellos costos incurridos en la disposición final de escombros la empresa CONALVIAS S.A., facilitó información que poseen acerca de los costos significativos en la disposición final de RCD, tales como el transporte de RCD a sitios autorizados, como el valor por metro cubico (m³) cobrado por disponer en un sitio autorizado dicho material. Para el caso del transporte y de acuerdo a lo suministrado por CONALVIAS S.A. se tiene que en promedio se puede tener un costo de \$625/m³-Km (Pesos Colombianos COP 2012), es decir que para disponer 1metro cubico (m³) en un sitio autorizado ubicado a 30Km se tiene un costo aproximado de \$18.750 (Pesos Colombianos COP 2012). En el caso del transporte se tienen diferentes tarifas para cada uno de los sitios de disposición final, tal como se muestra en la Figura 27.

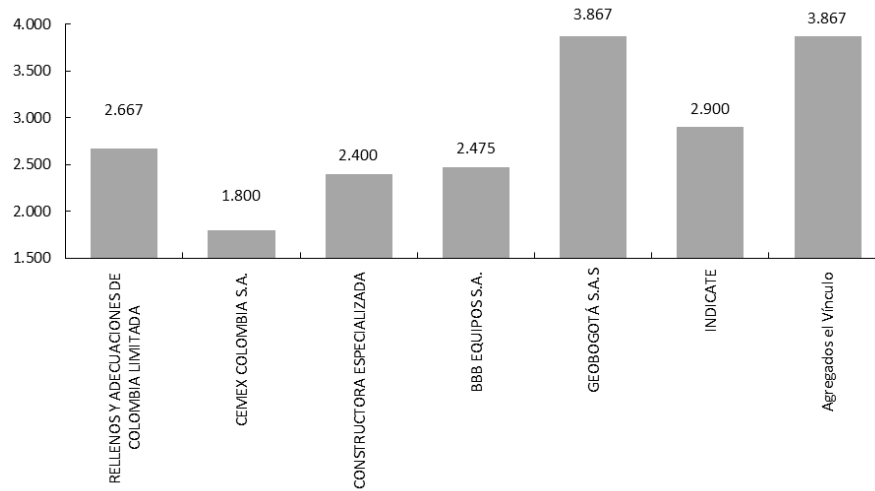


Figura 27. Costos por metro cubico (m3) para la disposición final de RCD en sitios autorizados por las entidades de Bogotá D.C. (Conalvias S.A 2011)

3.6.3 SITIOS DE DISPOSICIÓN

Los sitios de disposición final de RCD fueron creados a partir de la resolución IDU 3353 de 2001, con el objetivo de disminuir el riesgo de incurrir en afectaciones ambientales que generen delitos ambientales y mineros. Dicha herramienta, le permite al IDU revisar las condiciones ambientales de explotación y disposición final dependiendo el tipo de uso que se requiera. En el caso de cumplimiento a cabalidad de todos y cada uno de los requisitos, el IDU procede a generar una certificación a cada uno de los proveedores, lo que les permite inscribirse a un listado especial, que es exclusivo para cualquier tipo de negociación, entre los contratistas del IDU y cualquier suministro que ellos requieran.

Por otro lado ha permitido a los contratistas e interventorías del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), conocer de forma ágil y eficiente los proveedores de materiales de construcción y sitios de disposición final de escombros que cumplen con la normatividad ambiental y minera vigente, apoyando la legalidad en la explotación, producción y transformación de los materiales de construcción. Esto

conduce a categorizar los diferentes tipos de materiales existentes en las construcciones entre la cuales se pueden destacar:

- Agregados Pétreos.
- Ladrillo y productos de Arcilla.
- Mezclas Asfálticas.
- Concreto y prefabricados.
- Escombreras.

La Guía ambiental para el manejo de escombros en la ciudad de Bogotá, SDA (Octubre 2008), establece que los generadores de escombros son responsables por los impactos causados al ambiente derivados de su inadecuado manejo. Si el manejo de escombros es contratado con un tercero, la responsabilidad subsiste hasta que se compruebe que fue entregado para aprovechamiento y/o disposición final con un gestor autorizado.

Es de recalcar que de acuerdo con un estudio realizado por la UAESP (2011), no todos los residuos de construcción y demolición (RCD) generados en la ciudad de Bogotá, son dispuestos en algún sitio de disposición autorizados. Por el contrario en el citado estudio se logró calcular cerca de 1.800 toneladas de residuos dispuestos de manera ilegal en toda la ciudad. Esto se ve reflejado a nivel de localidad, teniendo en cuenta que la mayoría de sitios destinados para llevar a cabo la disposición final ilegal, es generado en las localidades que presentan menores índices de ingresos per cápita (Ver Figura 28).

Disposición de escombros por Localidad

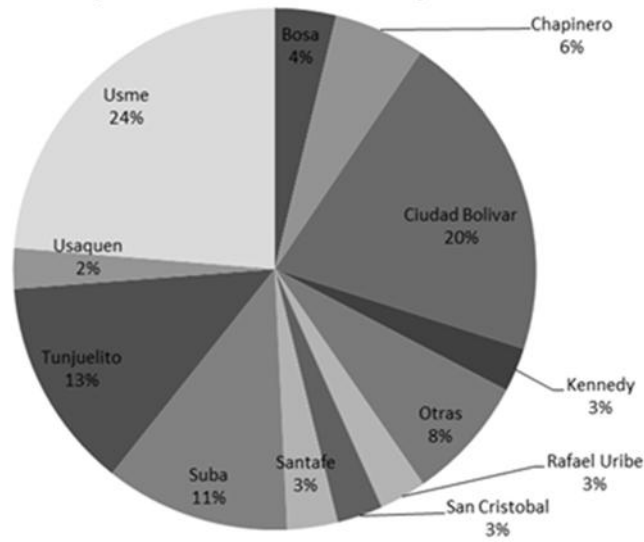


Figura 28. Disposición de escombros por localidad en la ciudad de Bogotá- Colombia. Fuente (UAESP 2011)

En Bogotá, actualmente existen cinco (5) espacios autorizados por el IDU, para realizar la disposición final de escombros y material de excavación activas según lo evidenciado en el documento publicado por el IDU para dicho fin el 15 de agosto del presente año (ver Figura 19)

Tabla 18 Sitios de disposición final autorizados por el IDU. Agosto 2012.

ALCALDIA MAYOR BOGOTÁ D.C. Instituto de Desarrollo Urbano		SUBDIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO URBANO DIRECCIÓN TÉCNICA ESTRATÉGICA SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL - ESCOMBROS Y MATERIAL DE EXCAVACIÓN ACTIVOS A AGOSTO 15 DE 2012 AVISO IMPORTANTE: EL IDU SUGIERE AL PÚBLICO EN GENERAL, REALIZAR LA REVISIÓN ESPECÍFICA DE CADA PROVEEDOR POR CATEGORÍA	
INSCIDU	Año	Categoría	Nombre_Razon_Social
237	2007	Disposición final de escombros	Cemex de Colombia S.A
355	2011	Disposición temporal de escombros	Reciclados industriales de Colombia S.A.S
356	2011	disposición final de escombros estériles y materiales seleccionados	Constructora especializadas
364	2011	Disposición final de material de excavación	Agregados el Vinculo LTDZ
367	2011	Disposición final de escombros	Tecnociviles LTDA

Fuente: Instituto de desarrollo urbano (IDU) 2012.

Teniendo en cuenta el histórico que tiene el IDU en sus bases de datos se puede observar una tendencia a la limitación y mayores restricciones que tienen estos sitios de disposición final, evidenciada en la disminución de certificaciones para dicho fin, tal como se muestra en la figura mostrada a continuación (Figura 29). Dichos

permisos son otorgados, bajo tres modalidades: Escombreras, Nivelaciones o rellenos y adecuaciones de terreno.

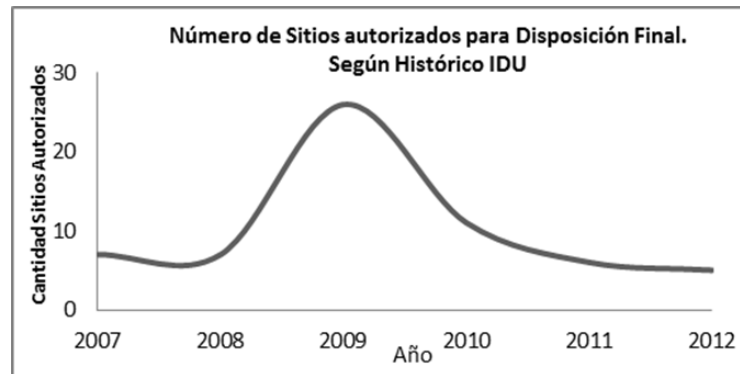


Figura 29. Números de sitios autorizados para disposición final (2007-2012)

Aunque en el año 2.009 se ve un aumento pronunciado de las autorizaciones generadas por el IDU, ello se explica porque la mayoría de obras con mayor presupuesto contratadas fueron ejecutadas en mayor porcentaje durante el 2.010, 2.011 y primer semestre del 2.012. Esto demuestra que aunque en el 2.009 fueron muchas las solicitudes y autorizaciones pronunciadas por el IDU para la disposición final de escombros, las revisiones periódicas evidenciaron la carencia de una normatividad ambiental adecuada que permitiera un adecuado manejo de los RCD. Esto se manifestó en los problemas generados en las obras por sobredemanda y en algunos otros casos por lluvias que imposibilitaban el ingreso de material a dichos sitios.

3.6.4 MARCO LEGAL

Está enmarcado en las bases sobre las cuales las organizaciones construyen y determinan el alcance y naturaleza de la participación en la sociedad. Corresponde a las políticas de cada gobierno nacional, regional y local, teniendo en cuenta las negociaciones o acuerdos internacionales en un tema específico, en este caso los residuos de construcción y demolición (RCD). En la Figura 30 mostramos los elementos que conforman el marco jurídico colombiano:



Figura 30, Marco jurídico

En la legislación colombiana, se encuentra una serie de decretos y artículos que hacen referencia a la reglamentación, almacenamiento, disposición, transporte, tarifas, sanciones y posible reutilización de los residuos de construcción y demolición (RCD), como se explica a continuación:

▪ REGLAMENTACIONES AMBIENTALES

Código nacional de recursos naturales renovables y protección al medio ambiente 1974 Decreto 2811 de la presidencia de la república.

Ley 9 de 1979. Consagra el código sanitario nacional, desarrolla aspectos relacionados con el manejo de residuos.

Ley 99 de 1993. Crea el ministerio del medio ambiente. Decreto 948 de 1995, expidiendo en 1994 el Decreto 1753. Se crea unidades ambientales urbanas para poblaciones mayores de 1 millón de habitantes. DAMA.

Ley 1259 de 2008. Crea el Congreso de la República en la cual se consagra una medida de carácter ambiental para generar cultura ciudadana. Reglamentación de licencias ambientales.

- **ALMACENAMIENTO Y DISPOSICIÓN TEMPORAL**

Resolución 541 de 1994- Ministerio de ambiente

Artículo 2: establece que en obras públicas y privadas está prohibido el almacenamiento y disposición en zonas públicas, ríos, parques, etc.

Decreto 357 de 1997- Distrito capital

El tiempo máximo de permanencia de los escombros es de veinticuatro (24) horas, evitando obstrucción al paso peatonal y vehicular, esto teniendo en cuenta que debe tenerse autorización previa para disponerlos por el mencionado lapso de tiempo.

Decreto ley 1421 del año 1993

Artículo 41: establece un máximo de seis (6) horas por invasión de espacio público con materiales de construcción.

- **DISPOSICIÓN FINAL**

Resolución 541 de 1994- Ministerio de ambiente

Artículo 2: Prohibición de escombros en áreas de espacio público. La persona natural o jurídica que genere tales materiales y elementos debe asegurar su disposición final de acuerdo a la legislación sobre la materia.

Artículo 3: Escombreras. Los municipios deben seleccionar los sitios específicos para la disposición final. Esta selección será teniendo en cuenta el volumen de producción, así como las distancias óptimas de acarreo.

Las escombreras municipales se localizarán en áreas cuyos paisajes se encuentren degradados, como minas, canteras abandonadas entre otros.

Artículo 4: Criterios de manejo ambiental de escombreras y estaciones de transferencia. Las escombreras municipales tendrán en cuenta la minimización de impactos ambientales sobre la población civil, a causa de la movilización de vehículos transportadores de materiales.

Decreto 357 de 1997- Distrito capital

Especificaciones sobre la disposición final en escombreras.

Decreto 190 de 2004: Manejo integral de residuos sólidos que permita el aprovechamiento de dichos residuos mediante incentivos a la empresa privada.

Decreto 620 de 2007. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Por el cual se reglamentan los requerimientos técnicos, administrativos y ambientales requeridos para la disposición final de escombros en un lote determinado.

- **TRANSPORTE DEL MATERIAL DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN:**

Ley 769 de 2002 Código Nacional de tránsito. Con el cual se reglamenta el transporte de material en el territorio colombiano.

Resolución 541 de 1994- Ministerio de ambiente

Art. II (1) Requisitos en materia de transporte en general. Especificaciones sobre vehículos.

Decreto 357 de 1997- distrito capital

Especificaciones para los vehículos de transporte de escombros.

- El contenedor o platón deberá estar en buen estado de mantenimiento, en forma tal que no haya lugar a derrames, pérdida de material o escurrimiento de material húmedo durante el transporte. Las compuertas de descargue deberán estar herméticamente cerradas durante el transporte.
- La carga debe estar a ras del platón, siendo una obligación cubrirla con el fin de evitar la dispersión de la misma. El material de la cubierta ha de ser lo suficientemente fuerte y estar bien sujeto a las paredes exteriores del platón, de manera que impida la fuga del material que se transporta. En el evento de escape, pérdida o derrame de material en áreas del espacio público, éste deberá ser recogido inmediatamente por el transportador.

- El contenedor o platón podrá utilizar un par de tablas adheridas sobre sus lados más largos. Estas tablas no podrán aumentar en más de 30 cm., la altura de contenedor o platón.

- **TARIFAS**

Resolución 541 de 1994- Ministerio de ambiente

Art. 5 Tarifas: La disposición final a la que se refiere la presente resolución podrá dar el cobro de tarifas, las cuales serán fijadas por el respectivo municipio de conformidad con la legislación vigente.

- **SANCIONES**

Decreto 605, 1996

Sanciones en salarios mínimos a los generadores de escombros que impacten en forma negativa cualquier aspecto ambiental o social.

Ley 1259 de 2008.

Se estipulan comparendos ambientales, sanciones e incluso el cierre del inmueble.

- **VIGILANCIA Y CONTROL**

Decreto 787 de 1998

Se reglamentan las competencias de la policía distrital para apoyar la vigilancia y control.

- **UTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN**

Resolución 2397 de 2011

Esta resolución permite reglamentar y fomentar el aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) en la ciudad de Bogotá D.C, a su vez permite fomentar y reglamentar los sitios destinados al aprovechamiento de los mismos.

Teniendo en cuenta que dentro de sus normativas o reglamentaciones a aplicar se encuentra, la reutilización de los RCD generados por las etapas constructivas y de

desmantelamiento, en un porcentaje no inferior al 10%, del total de los metros cuadrados a construir por la entidad anualmente. Con esta resolución además se exige, que se incremente el porcentaje anualmente hasta alcanzar un 25% de reutilización, es que se puede establecer una línea base de aprovechamiento del 10% como indicador inicial del estudio y el cual servirá de base para los estudios a realizar.

Dentro de la misma resolución se establecen los lineamientos que deberán tener los sitios encargados del procesamiento de los RCD en cuanto a normativas ambientales, así mismo establece las condiciones en cuanto a los sitios en los cuales se pueden realizar las actividades de procesamiento de RCD.

Esta resolución también se encarga de la regulación de la calidad del material resultante del procesamiento de RCD en cuanto a las especificaciones técnicas de los materiales a producir y tipifica el régimen de transición que se establecerá.

Sección 452-10, empleo de agregados pétreos a partir de concreto hidráulico reciclado. Instituto desarrollo urbano (IDU)

Los agregados pétreos producidos a partir del concreto hidráulico reciclados podrán ser empleados o hacer parte de materiales de Base, Subbase, concreto o como material del relleno.

- Rellenos: Sección 320-10
- Bases y Subbases: Sección 400-10
- Capa de material estabilizado con cemento: Sección 420-10
- Capa de material estabilizado con Emulsión Asfáltica: Sección 440-10
- Mezclas Asfálticas en Caliente, Densas, Semidensas y Gruesas: Sección 510-10
- Pavimento de Losas en Concreto Hidráulico: Sección 600-10

Los materiales triturados no podrán constituir el 100% de la granulometría en una aplicación específica.

- **INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO (IDU)**

Especificación técnica GE-005 para agregados pétreos a partir de concreto hidráulico reciclado

Consiste en el empleo de material granular del reciclaje del concreto hidráulico obtenido en la demolición de pavimento de concreto y estructuras verticales (mediante una planta de trituración provista con una trituradora primaria y filtros para prevenir la contaminación ambiental), estas últimas que no hayan sido empleados para el almacenamiento de aceites, aguas negras y residuos peligrosos, para una reutilización en parte de materiales de bases, subases, concretos o como material de relleno.

Los agregados serán los resultantes de la selección y trituración del concreto hidráulico reciclado. Las condiciones de granulometría y demás requisitos serán los indicados en las especificaciones técnicas generales de “materiales y construcción para proyectos en infraestructura vial y de espacio público en Bogotá, D.C. – (IDU 2005)

- **PROYECTO DE ACUERDO No. 186 DE 2008**

"Se ordena la creación del estándar único de construcción sostenible para el distrito capital y se dictan otras disposiciones"

El presente proyecto tiene como objetivo disminuir el impacto de la ciudad sobre el medio ambiente y reducir el uso de recursos naturales por parte de los habitantes. Lo anterior se logra incentivando a los constructores de la capital a adoptar estándares de construcción sostenible que midan objetivamente la reducción en el impacto ambiental de los proyectos.

En la actualidad Colombia no tiene un estándar propio de construcción sostenible, también llamadas construcciones “verde” , es por ellos que es necesario adoptar estándares creados en otros países y realizar las modificaciones necesarias. Algunos estándares existentes son:

Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM)

Creado en el Reino Unido y evalúa las construcciones en diferentes aspectos: uso eficiente de energía, uso eficiente del agua, manejo de desechos y uso de materiales. Al concluir la evaluación el proyecto puede estar en uno de cuatro niveles: ***aprobado, bueno, muy bueno y excelente.***

Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency (CASBEE)

Es el estándar del Consorcio Japonés de Construcción Sostenible (JSBC). Se diferencia de otros estándares ya que califica las construcciones en dos dimensiones: calidad de vida para los habitantes de la construcción (Q) y carga ambiental (L). Una construcción tendrá mayor puntaje a medida que aumente Q y disminuya L. Al concluir la evaluación el proyecto puede estar en uno de cinco niveles: ***C, B-, B+, A y S.***

Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)

Es el estándar del Consejo de Construcción Verde de los Estados Unidos (USGBC). Evalúa las construcciones en 8 categorías: Innovación y diseño, ubicación, respeto del entorno, uso eficiente del agua, impacto atmosférico, materiales, calidad ambiental interior y, finalmente, educación y capacitación. Al concluir la evaluación el proyecto puede estar en uno de cuatro niveles: ***certificado, plata, oro o platino.***

▪ CONSEJO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SOSTENIBLE (CCCS)

Es una organización privada sin ánimo de lucro, fundada en el 2008, miembro pleno del consejo mundial de construcción sostenible (World GBC). Para cumplir su misión cuenta con una Red de miembros y de alianzas estratégicas con el gobierno, la academia y otras ONGs (Icontec y el ministerio de ambiente, Vivienda y desarrollo Territorial), realizando certificados para las construcciones como lo son:

SELLO AMBIENTAL COLOMBIANO

Es una etiqueta que consiste en un dispositivo o sello, otorgado por una institución independiente (ICONTEC) y que puede portar un producto o servicio que cumpla con los siguientes requisitos:

- Hace usos sostenible de los recursos naturales que emplea (materia prima e insumos)
- Utiliza materia prima que no son nocivas para el ambiente
- Emplea procesos de producción que involucra menos cantidad de energía o que hace fuentes de energía renovables
- Considera aspecto de reciclabilidad , reutilización o biodegradabilidad

En Colombia no existen actualmente incentivos para la construcción sostenibles, por lo cual el CCCS trabaja con el gobierno en formular una política que permita avanzar. Algunos incentivos que se están discutiendo son los siguientes:

Zonificación Verde- Bonos de Densidad: Consiste en otorgar edificabilidad adicional otorgada a una edificación que cuenta con algún sello sostenible. Mayor número de unidades de viviendas permitida, índice de construcción adicional, mayor altura de edificaciones o área mínima de predios más pequeña

Licenciamiento acelerado o “Express”: Este incentivo genera condiciones para lograr procesos más rápidos para proyectos que comprometan con cumplir estándares verdes

Edificios Públicos Certificados: Edificaciones son obligaciones verdes para el sector público, colegios, hospitales, edificios de seguridad (policía/ejercito).

Exenciones en impuestos: Las exenciones en impuestos (nacionales o locales) se otorgan a edificaciones que cumplan con estándares predefinidos o en el IVA de materiales certificados.

Incentivos Financieros: Prestamos con tasas especiales y/o montos adicionales.

Incentivos o ayudas a la actualización de edificaciones (Reciclaje/Retrofitting):

Instrumentos para edificaciones existentes que surten procesos de renovación con el fin de mejorar su eficiencia energética y consumo de agua.

Incentivos del Gobierno Central: Reglamentaciones para el estímulo a la construcción en sus normas locales.

4 FORMULACION DE PROPUESTAS

Para formular propuestas de gestión viables para los RCD, además de apoyarse en la conceptualización, requerimientos teóricos, experiencias internacionales y las iniciativas que se vienen dando en Colombia, se procedió a realizar una investigación en campo durante un periodo de tiempo establecido de cuatro (4) meses, para conocer el tipo de material generado y ensayar en el laboratorio algunas posibilidades de elaborar productos innovadores para la comercialización y venta que cumplan con las características adecuadas para su reutilización.

4.1 TRABAJO DE CAMPO

Para el trabajo de campo se efectuó un convenio con uno de los sitios autorizados por el IDU para llevar a cabo la disposición final de RCD, con lo cual se pretendía obtener una muestra representativa del universo. El sitio escogido para dicho estudio fue el lote de adecuación Tequendama 4, el cual se encuentra ubicado en el sector el cerrito vereda Chacua, Sibaté, inscrito en el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) desde el 8 de marzo de 2011, bajo el número 358-11 en la categoría “disposición final de materiales de excavación”. Su administración se encuentra a cargo de constructora especializada Ltda.

La finalidad del trabajo de campo es lograr la identificación, cuantificación y clasificación de los diferentes tipos de escombros procedentes de los residuos de construcción y demolición (RCD) de las obras con mayor generación en Bogotá D.C;

Dicha tipificación se realizó implementando un sistema de separación primario en situ, el cual fue complementado en el lote de adecuación Tequendama 4, para luego proceder a la cuantificación del material que puede ser aprovechado como material de construcción. Para ello se realizó la clasificación de dicho material de la manera siguiente:

- **Concreto (C):** Incluye prefabricados en concreto, concretos de demolición y morteros.
- **Asfalto (A):** fresados de pavimentos.
- **Cerámicos (L):** ladrillos y enchapes.
- **Material Granular Reutilizable (G):** gres, rajón, arenas y recibos.
- **Material Contaminado (N):** material totalmente contaminado o no reutilizable.

Al momento de ingresar la volqueta al lote de adecuación Tequendama 4, se efectuó una clasificación por medio de observación directa con el diligenciamiento de la siguiente planilla (ver Tabla 19):

Tabla 19 Planilla de control de despacho y recibo de materiales RCD

Control para despacho y recibo de materiales				
Fecha	Tipo de Material	Código de Actividad	Cantidad	
			Numero	Letras
Centro de operación:				
Material:				
Lugar de cargue:			Lugar de entrega:	
Placa Vehículo:				
Firma Despachador:			Firma Recibidor:	
Nombre :			Nombre:	
Cargo:			Cargo:	
Cedula:			Cedula:	

De todo el material que ingresa al lote, se seleccionó el generado por la constructora CONALVIAS, proveniente principalmente de la obras contratadas por el IDU para la implementación de la Fase III del sistema transporte masivo TRANSMILENIO por el corredor de la 26, teniendo a cargo el grupo 4 y el grupo 5 que corresponden a la Calle 26 desde la Cra 19 hasta el portal del dorado o Tr 96. Es así que en acuerdo con un gran generador de escombros en la ciudad de Bogotá (CONALVIAS), se logró que se hiciesen algunas separaciones en sitio que no afectaran los tiempos de obra

para luego cargar el material en los diferentes medios de transporte y ser llevado al sitio de disposición final.

Del estudio realizado en conjunto con el Lote de adecuación Tequendama 4, fue posible realizar una separación más detallada de los materiales que llegaban y fueron dispuestos en una zona adecuada para tal fin. Ver Figura 31, Figura 32 y Figura 33):



Figura 31. Lote Tequendama 4. Material Cerámico (L) y prefabricado (C)



Figura 32. Lote Tequendama 4. Material granular (G)



Figura 33. Lote Tequendama 4. Material Contaminado (N)

El acopio y clasificación de materiales se realizó entre los meses de Septiembre 2011 y Diciembre 2011 lográndose obtener la caracterización del material, categorizando su tipo en concordancia con la tipología previamente propuesta. Los resultados que se obtuvieron se muestran en la siguiente tabla (Tabla 20):

Tabla 20 Clasificación y cuantificación de material RCD (Septiembre-Diciembre 2011).

Tipos de Residuos	Tipología	Porcentaje
Concretos: Incluye prefabricado , concretos de demolición	C	15%
Asfalto: fresado de pavimentos	A	30%
Cerámicos: ladrillos y enchapes	L	22%
Material Granular: Gres, rajón, arenas y recibos	G	29%
Material Contaminado: Material con presencia de N	N	31%

Sólo el 15 % del total de RCD generados durante esos 4 meses, corresponden a material pétreo de tipología C (prefabricados, concretos de demoliciones y morteros). Mencionado material será el utilizado para su posterior análisis de laboratorio y una posible reutilización como material de construcción. La selección única de este material (tipo C), se debe principalmente a su semejanza con el material pétreo natural y a los diversos estudios internacionales y nacionales que demuestran que de todos los materiales generados de los residuos de construcción y demolición (RCD) son estos materiales (tipo C), los que presentan un mejor desempeño técnico, químico y de durabilidad como material reutilizable para diversos fines en la construcción (bases, subbases, concreto, prefabricados)

Teniendo un sistema de clasificación en marcha tanto con el generador (CONALVIAS) como con el encargado de la disposición final (Tequendama 4), se procedió a realizar un acuerdo con una cantera autorizada seleccionada del listado de proveedores del IDU, que permitiese triturar el material seleccionado tipo C, con el fin de realizar una serie de ensayos de laboratorio que permitiesen caracterizar física y mecánicamente este tipo de material.

La cantera con la cual se logró hacer un acuerdo fue con Altos de Mondoñedo ubicada en el sector del Alto de Mondoñedo, Sibaté, para llevar a cabo el proceso de trituración primaria; en dicho proceso se contó con una trituradora de impacto PC-

1375l (Figura 34), propiedad de la cantera Altos de Mondoñedo y con la cual se trituró el material preseleccionado.



Figura 34. Trituradora de impacto. Modelo PC-1375.

El material ya triturado y listo para su caracterización física y mecánica (Figura 35) fue transportado hasta las instalaciones del laboratorio de ingeniería civil de la Pontificia Universidad Javeriana, para su posterior análisis. Este material granular reciclado se identificó dentro de las instalaciones del laboratorio de ingeniería bajo el código número 207-11, y es a referido material, al que se le hacen una serie de pruebas y ensayos para conocer sus posibilidades de reutilización



Figura 35. Muestra de material reciclado tratado.

4.2 ENSAYOS EN LABORATORIO

4.2.1 GRANULOMETRÍA

Previamente a los análisis, se redujo el tamaño las muestras transportadas (Método por cuarteo, Norma I.N.V.E. 202-07), dando como resultado la siguiente curva granulométrica correspondiente, con un tamaño máximo igual a 1 ½ Pulgada (Ver Figura 36):

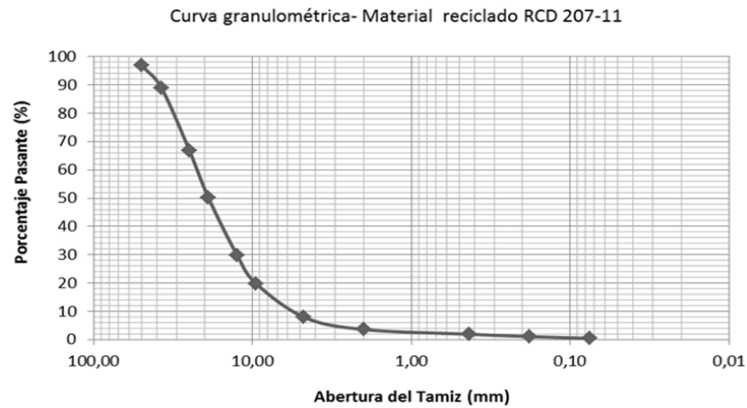


Figura 36. Curva granulométrica – material reciclado RCD 207-11

Obtenida la curva, se procedió a realizar una comparación con las diferentes especificaciones (Norma I.N.V.E), para los diversos parámetros de sub-bases granulares tipo I y II, bases granulares tipo I, II, y base de concreto hidráulico, cuyos resultados se muestran a continuación:

RCD VS SUB-BASES GRANULARES TIPO I Y II

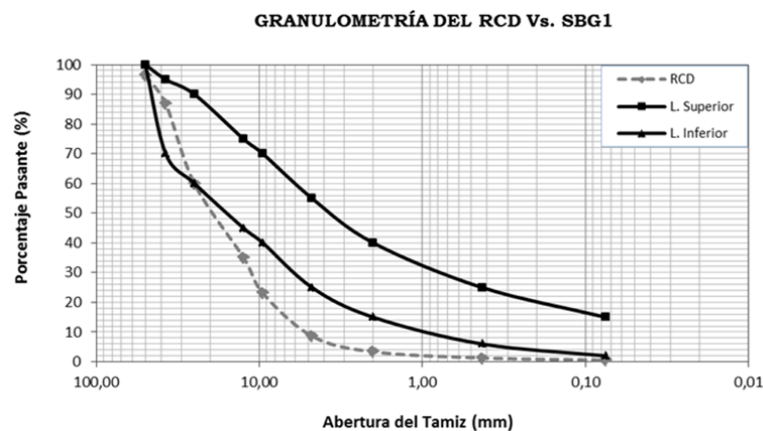


Figura 37. Granulometría del RCD Vs SBG1

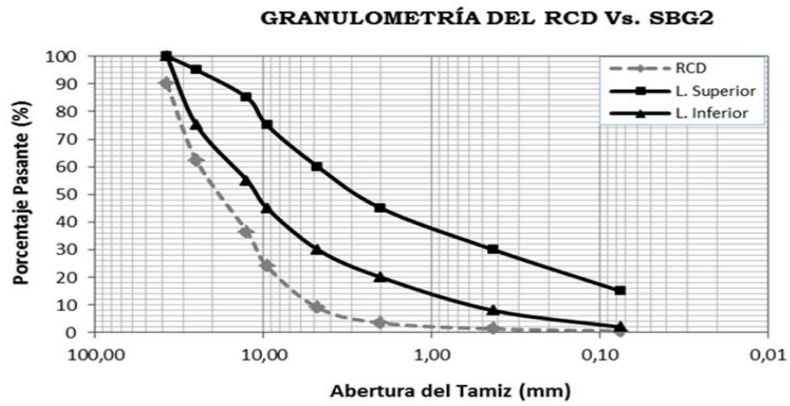


Figura 38. Granulometría del RCD Vs. SBG2

RCD VS BASES GRANULARES TIPO I Y II

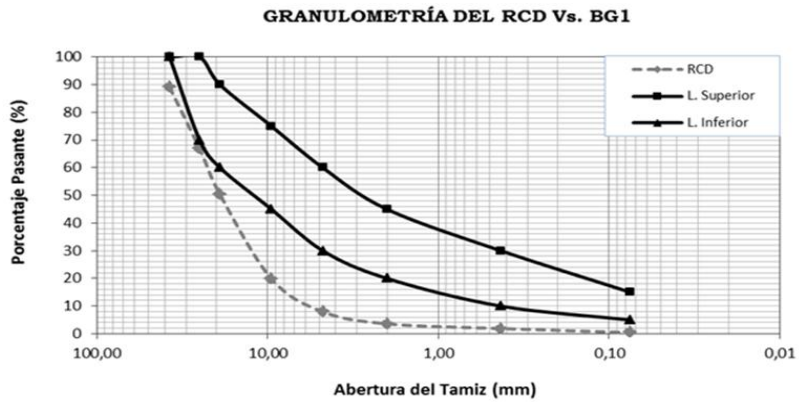


Figura 39. Granulometría del RCD Vs. BG1

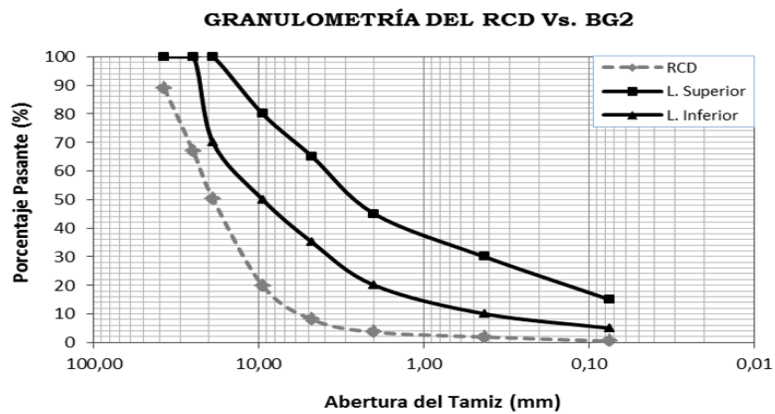


Figura 40. Granulometría del RCD Vs. BG2

RCD VS BASES DE CONCRETO HIDRÁULICO

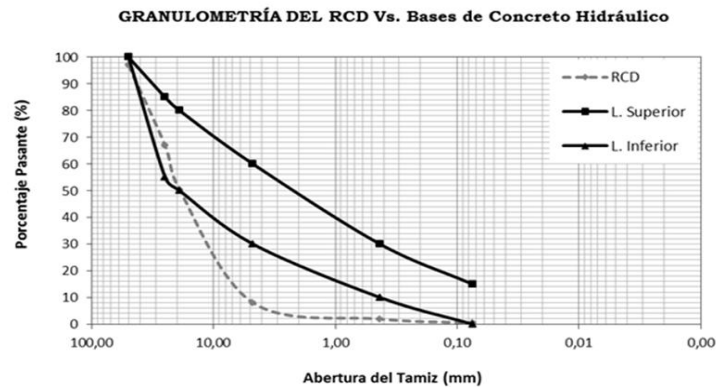


Figura 41. Granulometría del RCD Vs. Bases de concreto hidráulico

En las comparaciones realizadas para cada una de las especificaciones (bases, sub-bases y concretos hidráulicos) se evidencian sobretamaños en los materiales provenientes de las demoliciones (RCD), lo cual hace que la muestra no cumpla con la granulometría establecida en las normas I.N.V.E. Referidos sobretamaños se deben a la no realización de una trituración secundaria por no poseer la maquinaria especializada para el tratamiento de material (trituradora de cono) o al no tener un sistema de trituración redundante; este sistema permite reducir la muestra (RCD) dando como resultado mayor cantidad de finos, con lo cual se podría ajustar un poco más a cada una de las exigencias de las normas establecidas, teniendo en cuenta que el setenta por ciento (70%) de los finos producidos, pertenecen a micro partículas (polvos) generados de la fracturación del material cementante.

No obstante, resulta siempre necesario mezclar el material RCD con elementos pétreos naturales de cantera en aquellas proporciones que permitan, no sólo lograr la granulometría adecuada, sino además cumplir con las otras especificaciones establecidas en las normas.

Según estudios realizados y explicados anteriormente, la utilización del cien por ciento (100%) de material generados a partir de residuos de construcción y demolición (RCD) afecta directamente diversos factores físicos de la composición de estructuras (bases, subbases y concretos hidráulicos), como los son: absorción,

resistencia a la compresión y durabilidad, es por ello que se recomienda una combinación de material reciclado triturado (207-11) en un porcentaje de 30% junto con un material cantera o natural en un porcentaje de 70% (056-11), para cumplir con la gradación del material estipulada para sub-bases granulares tipo I y II, bases granulares tipo I, II, y base de concreto hidráulico. Siguiendo esa sugerencia se procedió a mezclar los materiales en esas proporciones obteniendo en cuanto a granulometría los siguientes resultados:

MATERIAL COMBINADO VS SUB –BASES GRANULARES

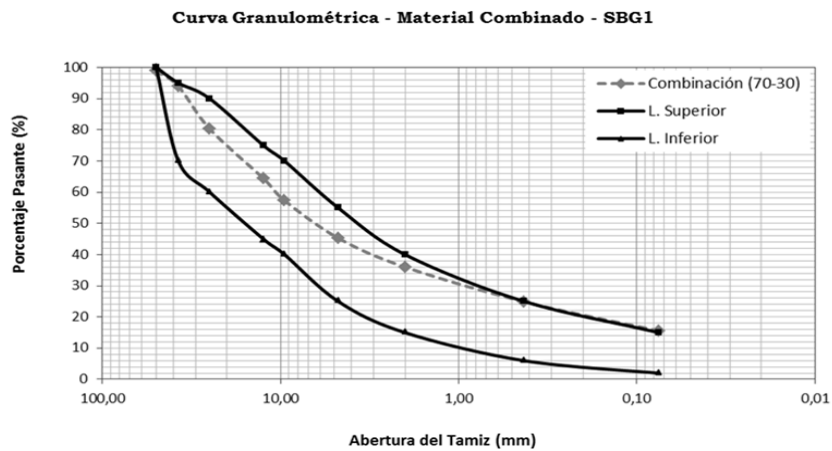


Figura 42. Curva Granulométrica – Material Combinado Vs. SBG1

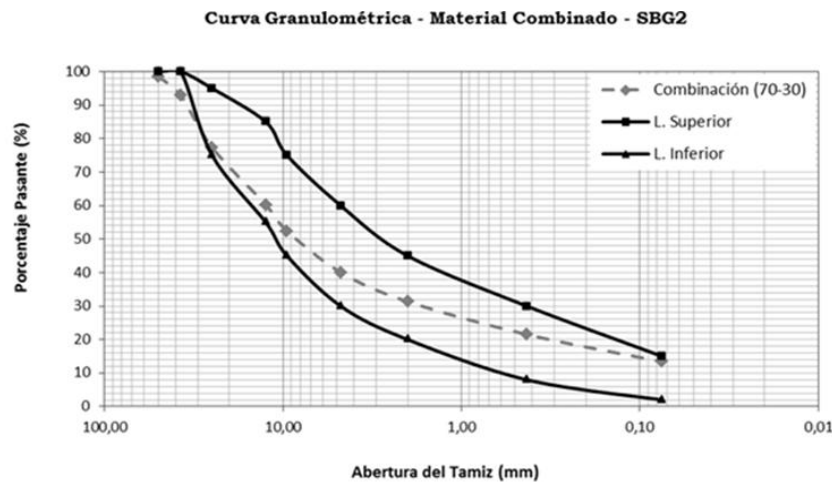


Figura 43. Curva Granulométrica. – Material combinado Vs. SBG2

MATERIAL COMBINADO VS BASES GRANULARES TIPO I Y II

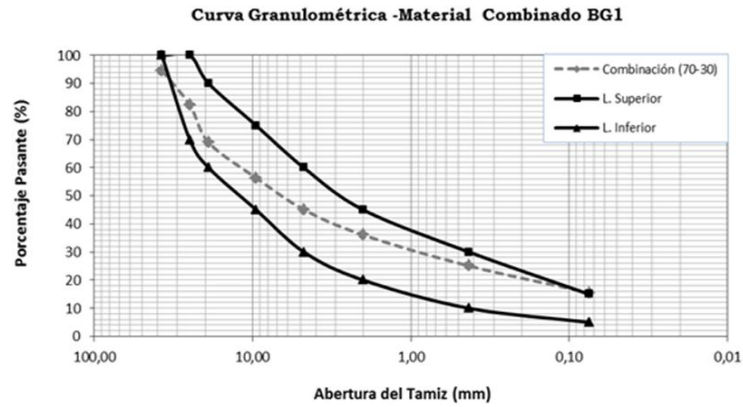


Figura 44. Curva Granulométrica- Material Combinado Vs. BG1

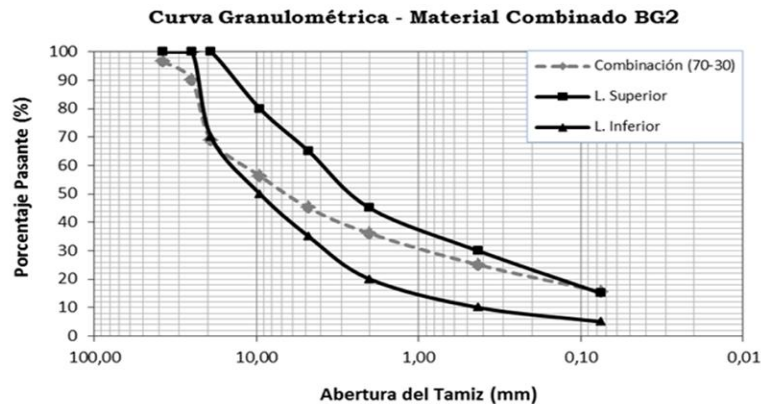


Figura 45. Curva Granulométrica- Material Combinado Vs. BG2

MATERIAL COMBINADO VS CONCRETO HIDRÁULICO

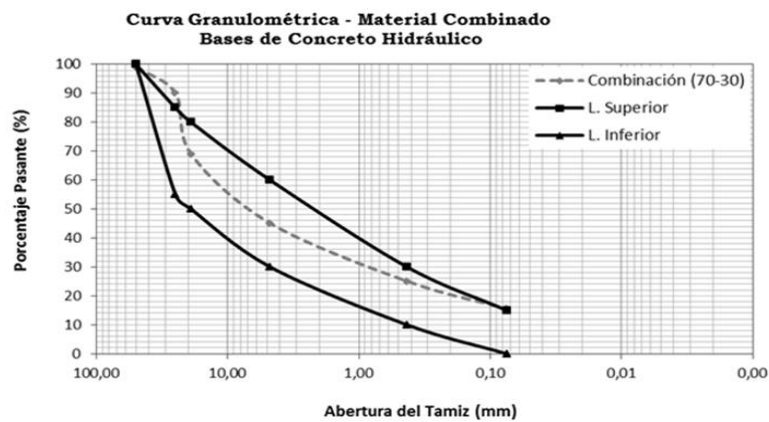


Figura 46. Curva Granulométrica- material Combinado Vs. Bases de concreto hidráulico

Como puede observarse de los gráficos anteriores la mezcla de material RCD (30%) con material de natural de cantera (70%), cumple con los límites de granulometría establecidos por las normas I.N.V.E. para cada estructura (bases, sub-bases y concreto hidráulico). No obstante, se procedió a realizar ensayos de laboratorio para analizar las propiedades físicas que presenta el material y comparar con las exigencias mínimas requeridas para ser utilizado como material para bases, sub-bases y/o concretos hidráulicos.

Los ensayos efectuados con el material granular reciclado (207-11) y el material de cantera (056-11) sirvieron para evaluar características como la: dureza, durabilidad, limpieza, geometría, resistencia, y diseño, de acuerdo con las especificaciones establecidas por la norma (I.N.V.E) para bases, sub-bases y mezclas de concreto.

Con la finalidad de proponer combinaciones de mezcla para algunas aplicaciones de la construcción tales como: concretos y materiales granulares, en particular, ensayamos una mezcla para la elaboración de losetas en concreto permeables para la utilización en techo de viviendas bio-sostenibles que permitan la reutilización de aguas de lluvias en las mismas.

A continuación se presenta una breve descripción de los ensayos realizados:

4.2.2 ENSAYO DE MORTERO ADHERIDO AL AGREGADO (MÉTODO DEL CHOQUE TÉRMICO).

Corresponde a un ensayo no normalizado por los criterios de aceptación como material aptos para la construcción de carreteras (Norma I.N.V.E.). Mencionado ensayo determina el porcentaje de mortero adherido al agregado natural y se realiza mediante la ejecución de tres (3) choques térmicos impartido mediante cambios bruscos de temperatura (Max 500°C) y sumergiendo la muestra en agua a temperatura ambiente (20 °C), logrando de esta manera desprender el mortero adherido de la matriz rocosa.

4.2.3 DUREZA:

- Desgaste en la máquina de los ángeles (INVE-218).
- Desgaste en el equipo Micro-Deval (INVE-238).
- Resistencia mecánica por el 10% de finos (INVE- 224).

4.2.4 DURABILIDAD:

- Solidez de sulfatos (INVE- 220).

4.2.5 LIMPIEZA:

- Valor de Azul de metileno (INVE- 235).
- Contenido de terrones de arcilla y partículas Deleznables (INVE- 211).

4.2.6 GEOMETRÍA:

- Índice de alargamiento y aplanamiento (INVE- 235).
- Partículas planas y alargadas (INVE-240).
- Porcentaje de caras fracturas (INVE- 227).

4.2.7 RESISTENCIA:

- Valor de soporte de california (CBR) (INVE-148).

4.2.8 DISEÑO:

- Gravedad específica y absorción de Agregados gruesos (INVE 223).
- Gravedad específica y absorción de Agregados finos (INVE 222).

Los resultados obtenidos se incluyen en tablas comparativas de nuestra mezcla con las especificaciones INVE para: Bases y Sub-bases, Tabla 21; para lechadas y mezclas bituminosas, Tabla 22 y para agregados naturales, Tabla 23:

Tabla 21 Resultado de Ensayos de laboratorio sobre agregados reciclados y comparación con la especificaciones (INVE) para bases y subbases

ENSAYOS	NORMA DE ENSAYO INVIAS	Especificación										RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO Material RCD 207-11
		NT1			NT2			NT3				
		AFIRMADO	SUBBASE GRANULAR	BASE GRANULAR	AFIRMADO	SUBBASE GRANULAR	BASE GRANULAR	SUBBASE GRANULAR	BASE GRANULAR	SUBBASE GRANULAR	BASE GRANULAR	
DUREZA												
Desgaste en la Máquina de Los Angeles Menores de 37,5 mm	I.N.V. E- 218 -07	≤ 50	≤ 50	≤ 40	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 40	≤ 50	≤ 35	≤ 35	28,4
Desgaste en la Máquina de Los Angeles mayores de 19 mm (3/4")	I.N.V. E- 219 -07	≤ 50	≤ 50	≤ 40	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 40	≤ 50	≤ 35	≤ 35	36
Desgaste en el Equipo Micro-Deval	I.N.V. E- 238 -07	-	-	-	-	-	-	≤ 30	≤ 30	≤ 25	≤ 25	14,03
Resistencia Mecánica por el 10% de Finos	I.N.V. E- 224 -07	-	-	-	-	-	-	≥ 70	-	≥ 90	≥ 90	113,575
DURABILIDAD												
Solidez de sulfatos	I.N.V. E- 220 -07	≤ 12	≤ 12	≤ 12	≤ 12	≤ 12	≤ 12	≤ 12	≤ 12	≤ 12	≤ 12	8,34
LIMPIEZA												
Valor de Azul de Metileno	INV E- 235 -07	-	-	≤ 10	-	-	-	≤ 10	-	≤ 10	-	N/A
Contenido de Terrones de Arcilla y Partículas Dezenables	INV E- 211 -07	-	≤ 2	≤ 2	-	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 2	0,271
Equivalente de Arena	I.N.V. E- 133 -07	-	≥ 25	≥ 30	-	≥ 25	≥ 30	≥ 30	≥ 25	≥ 30	≥ 30	80
GEOMETRÍA												
Índice de Alargamiento y Aplanamiento	I.N.V. E- 230 -07	-	-	≤ 35	-	-	-	≤ 35	-	≤ 35	-	21,1
Partículas planas y alargadas (5:1)	I.N.V. E- 240 -07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Porcentaje de Caras Fracturadas	I.N.V. E- 227 -07	-	-	≥ 50	-	-	-	≥ 50	-	≥ 50	-	87,7
RESISTENCIA												
Valor de Soporte de California (CBR)	I.N.V. E- 148 -07	≥ 15	≥ 30	≥ 80	≥ 15	≥ 30	≥ 80	≥ 80	≥ 30	≥ 100	≥ 100	96%
DISEÑO												
Gravedad específica y Absorción de Agregados Gruesos	I.N.V. E- 223 -07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,66 + 6%
Gravedad específica y Absorción de Agregados Finos	I.N.V. E- 222 -07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,52 + 7%

Tabla 22 Resultado de Ensayos de laboratorio sobre agregados reciclados y comparación con las especificaciones (INVE) para lechadas y mezclas bituminosas.

Requisitos de los agregados pétreos para tratamientos, lechadas y mezclas bituminosas (abierta en Caliente)					
ENSAYOS	NORMA DE ENSAYO INVIAS	NT1	NT2	NT3	RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO Material RCD 207-11
DUREZA					
Desgaste en la Máquina de Los Ángeles Menores de 37.5 mm	I.N.V. E – 218 – 07	max 35	max 35	max 35	28,4
Desgaste en la Máquina de Los Ángeles mayores de 19 mm (3/4")	I.N.V. E – 219 – 07	max 35	max 35	max 35	36
Desgaste en el Equipo Micro-Deval	I.N.V. E – 238 – 07	–	max 30	max 25	14,03
Resistencia Mecánica por el 10% de Finos	I.N.V. E – 224 – 07	–	–	90 min	113,575
DURABILIDAD					
Solidez de sulfatos	I.N.V. E – 220 – 07	12 max	12 max	12 max	8,34
LIMPIEZA					
Valor de Azul de Metileno	INV E– 235 – 07	–	–	–	N/A
Contenido de Terrones de Arcilla y Partículas Dezlenables	INV E– 237 – 07	0,5 max	0,5 max	0,5 max	0,271
Equivalente de Arena	I.N.V. E – 133 – 07	–	–	–	80
GEOMETRÍA					
Índice de Alargamiento y Aplanamiento	I.N.V. E – 230 – 07	–	–	–	21,1
Partículas planas y alargadas (5:1)	I.N.V. E – 240 – 07	max 10	max 10	max 10	–
Porcentaje de Caras Fracturadas	I.N.V. E – 227 – 07	min 60	min 75/60	min 75	87,7
RESISTENCIA					
Valor de Soporte de California (CBR)	I.N.V. E – 148 – 07	–	–	–	96%
DISEÑO					
Gravedad específica y Absorción de Agregados Gruesos	I.N.V. E – 223 – 07	–	–	–	2,66 + 6 %
Gravedad específica y Absorción de Agregados Finos	I.N.V. E – 222 – 07	–	–	–	2,52 + 7 %

Tabla 23 Resultado de Ensayos de laboratorio sobre agregados reciclados y comparación con agregados naturales

ENSAYOS	NORMA DE ENSAYO INVIAS	Especificación	
		Material 056-11 Muestra de Llenante mineral	RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO Material RCD 207-11
DUREZA			
Desgaste en la Máquina de Los Ángeles Menores de 37.5 mm	I.N.V. E – 218 – 07	28,6	28,4
Desgaste en la Máquina de Los Ángeles mayores de 19 mm (3/4")	I.N.V. E – 219 – 07	-	36
Desgaste en el Equipo Micro-Deval	I.N.V. E – 238 – 07	10,4	14,03
Resistencia Mecánica por el 10% de Finos	I.N.V. E – 224 – 07		113,575
DURABILIDAD			
Solidez de sulfatos	I.N.V. E – 220 – 07	4,1	8,34
LIMPIEZA			
Valor de Azul de Metileno	INV E– 235 – 07	4,83	N/A
Contenido de Terrones de Arcilla y Partículas Dezenables	INV E– 211 – 07		0,271
Equivalente de Arena	I.N.V. E – 133 – 07	58	80
GEOMETRÍA			
Índice de Alargamiento y Aplanamiento	I.N.V. E – 230 – 07	18,6	21,1
Partículas planas y alargadas (5:1)	I.N.V. E – 240 – 07	-	-
Porcentaje de Caras Fracturadas	I.N.V. E – 227 – 07	86,4	87,7
RESISTENCIA			
Valor de Soporte de California (CBR)	I.N.V. E – 148 – 07	-	96%
DISEÑO			
Gravedad específica y Absorción de Agregados Gruesos	I.N.V. E – 223 – 07	2,57	2,66 + 6 %
Gravedad específica y Absorción de Agregados Finos	I.N.V. E – 222 – 07	2,46	2,52 + 7 %

Además de los ensayos anteriores, interesaba conocer la resistencia del material seleccionado y poder determinar el comportamiento del mismo para ser utilizado como material granular de base o sub base en las estructura de una vía. Para ello se procedió a hacer estos dos ensayos adicionales:

4.2.9 ENSAYO DE MORTERO ADHERIDO:

Tabla 24 Resultado- ensayo de mortero adherido

Material granular reciclado	Mortero Adherido (%)
RCD 207-11	36,7 %

4.2.10 RELACIÓN DE SOPORTE DE UN MATERIAL (CBR)

Se realiza un primer ensayo de CBR para el material correspondiente al material de cantera (natural), identificado con el código de laboratorio número 056-11, dando como resultado un contenido de humedad del 7,5% y una relación de soporte del 81% como se muestra a continuación (Ver Figura 47 y Figura 48)

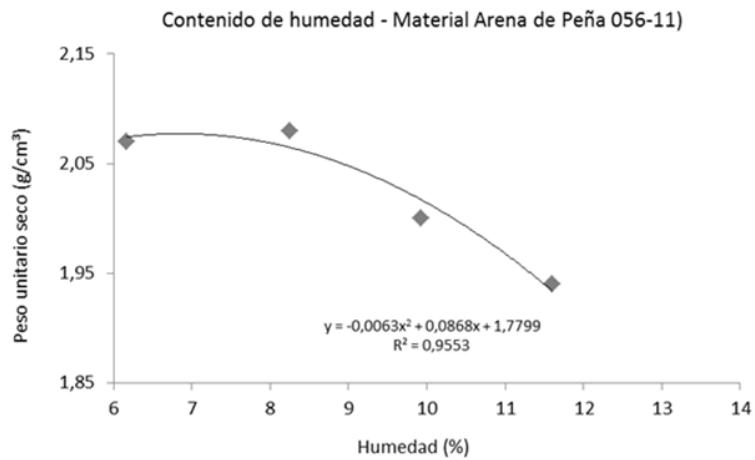


Figura 47. Resultado de contenido de humedad óptima – material Arena de Peña 056-11

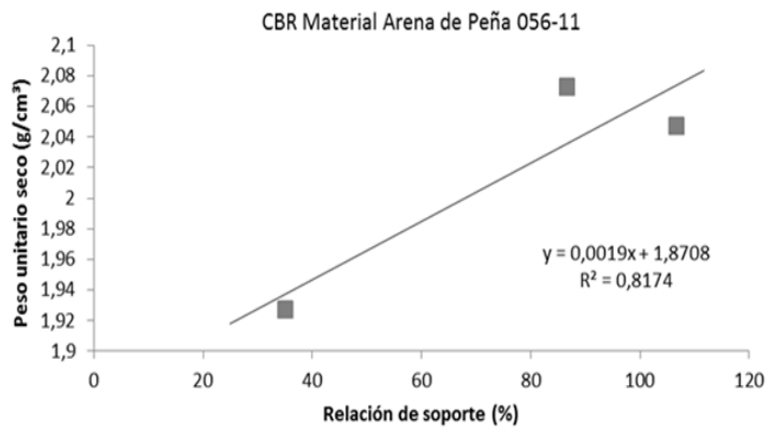


Figura 48. Resultado CBR material Arena de Peña 056-11

Luego se procedió a realizar la dosificación entre el material cantera (natural) identificado con el código de laboratorio número 056-11 y el material granular reciclado identificado con el código de laboratorio número 207-11, en una relación de 70%-30%, dando como resultado un contenido de humedad mayor al esperado de 9% (esto debido a la gran absorción presentado por el material reciclado y expuesto por los diversos autores) y una relación de soporte del 96% óptimo para la utilización como material de bases y sub bases (ver Figura 49 y Figura 50).

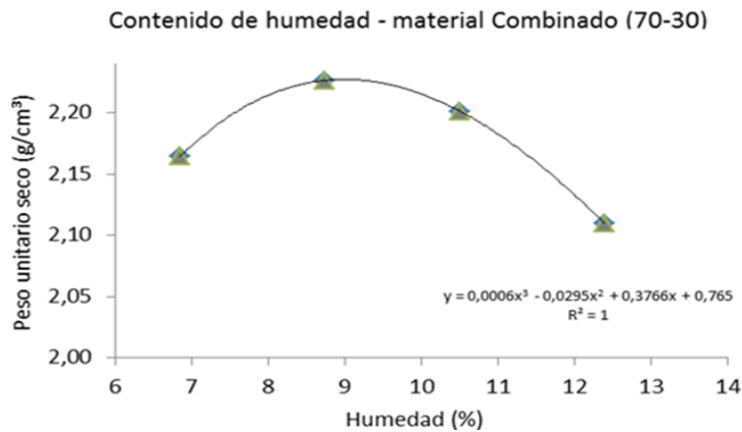


Figura 49. Resultado de contenido de humedad óptima- material Combinado (70-30)

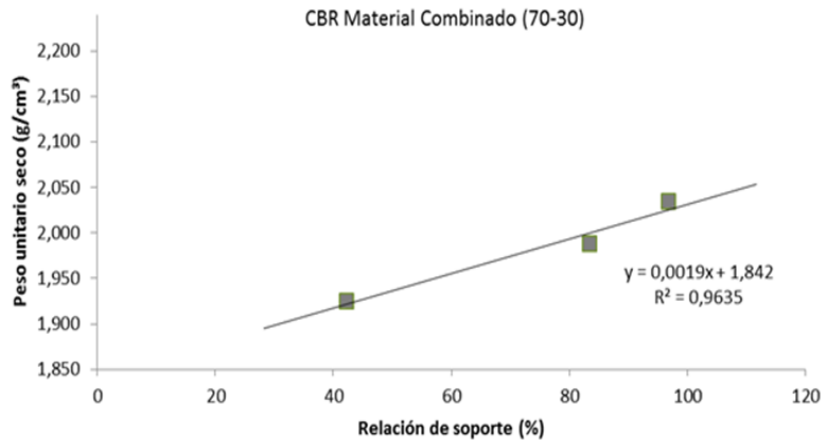


Figura 50. Resultado CBR- Material combinado (70-30)

Con los resultados obtenidos en el laboratorio se pudo establecer que la combinación de materiales pétreos (reciclado y natural), cumple con las especificaciones I.N.V.E. para estructuras de bases, subbases y concretos hidráulicos. Además se corroboró lo postulado por diferentes investigadores cuando señalan que entre un 25% y un 50% de un material puede ser remplazado por RCD. Encontramos que sustituyendo un 30% del material por pétreos reciclados (RCD) se puede incluso mejorar ciertas propiedades del material con lo cual se puede garantizar su funcionalidad como material de construcción compuesto.

Todos los reportes de ensayos obtenidos en la fase de laboratorio, se encuentran en el Anexo 1.

4.3 GENERACIÓN DE NUEVOS PRODUCTOS BIOSOSTENIBLES:

De acuerdo con los ensayos anteriores, se procedió a realizar un diseño de mezcla de concreto permeable para la creación de losetas permeables (Losetas Verdes (figura 51), con material cien por ciento (100%) reciclado (RCD), dosificando diversos materiales granulares, prescindiendo de los materiales finos y teniendo una baja relación agua/cemento tal como se muestra en la Tabla 25 a continuación:

Tabla 25. Resultado Diseño de mezcla, Loseta Permeable

1 m3	Diseño de mezcla	
	kg (por m3)	kg (para Volumen total)
Agregado 3/8	564,33	6,29
Agregado 4	477,51	5,32
Agregado 10	405,16	4,51
cemento	300	3,34
agua	90	1,00
Color (4% cemento)		0,13
Cemento total		3,21



Figura 51. Foto resultado - Loseta permeable

Según Subramanian (2008), debido a la naturaleza abierta de la matriz de concreto poroso, la resistencia a la compresión que se obtiene en los concretos permeables, es menor a la que se esperaría de una proporción de agua/cemento tan baja, esto debido a los vacíos ocasionados por el material granular y la ausencia de materia aglomerante como las arenas finas. La resistencia a la compresión de acuerdo a lo expuesto por Subramanian (2008), puede estar en un rango de 3.5 a 28 MPA y la resistencia a la flexión en el rango de 1 a 3.8 MPa.

Con el diseño de mezcla previamente establecido, se procedió a realizar los ensayos de laboratorio encontrando resistencias a la compresión por encima de los 7Mpa (ver Tabla 26 y Figura 52), y resistencias por módulo de rotura por encima de los 5Mpa (Ver Tabla 27 y Figura 53), necesarios para alcanzar la normativa establecida en la cartilla de andenes (IDU) para loseta peatonales de dimensiones 40mm x 40 mm x 60 mm

Tabla 26 Resultados de ensayo de resistencia a compresión (7, 14 y 28 días)

Ensayo a 7 días:	Ensayo a 14 días:	Ensayo a 28 días:
<ul style="list-style-type: none"> ▪ El área del cilindro es 78.54cm² ▪ Resistencia máxima 2820Kg (maquina Universal) ▪ La resistencia es de 35,90kg/cm² 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El área del cilindro es 78.54cm² ▪ Resistencia máxima 3120Kg (maquina Universal) ▪ La resistencia es de 39,72kg/cm² 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El área del cilindro es 78.54cm² ▪ Resistencia máxima 3890Kg (maquina Universal) ▪ La resistencia es de 49,52 kg/cm²



Figura 52. Foto resultado- ensayo a compresión.

Tabla 27 Resultado- Modulo de rotura

Carga Kg	Carga N	Li (mm)	Ar (mm)	Er(mm)	Er ² (mm ²)	Mr (Mpa)
400	6456	400	400	60	3600	5,111



Figura 53. Foto resultado- módulo de rotura

El resultado hallado permite establecer que las losetas permeables fabricadas con material RCD, pueden ser utilizadas en áreas de espacio público en la ciudad puesto que cumple con el módulo de rotura mínimo establecido. Además cabe aclarar que

este tipo de losetas tiene como función adicional el reciclaje de aguas grises, por lo cual deberá contemplarse en el diseño de estas áreas de espacio público, el flujo que debería tener el agua y el posterior almacenaje para su reutilización.

5 EVALUACIÓN DE LAS PROPUESTAS:

DESCRIPCIÓN:

Se evaluó la factibilidad de implementar tres (3) modelos de empresas; aquellos que más se ajustaran a las condiciones locales de oferta y demanda de la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD). Igualmente, aquellos que pudieran ser ejecutados y desarrollados sin muchas dificultades por empresas que se encuentran funcionando, o están relacionadas con diferentes aspectos de la gestión de residuos en la ciudad de Bogotá- Colombia, tales como: **escombreras, canteras, sitios de disposición final, cementeras y empresa especializadas en prefabricados**. , lo cual representaría un modelo de negocio adicional o reforzaría algunos de los que actualmente operan.

1. **MODELO 1:** “Recolección y planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD)”.
2. **MODELO 2:** “Planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD)”.
3. **MODELO 3:** “Planta de tratamiento y fabricación de concreto y pre-fabricados de residuos de construcción y demolición (RCD)”

La diferencia entre el modelo dos (2) y tres (3) radica principalmente en las inversiones que cada uno implica; así como los costos directos e indirectos que varían de acuerdo a cada modelo y los grados de dificultad de la entrada al mercado de los productos finales, los cuales son proporcionales al nivel de penetración actual de mercado de las empresas previamente establecida.

Para cada modelo de empresa se estima una producción basada entre otros criterios en : ***los análisis realizados de generación de RCD en la ciudad de Bogotá-Colombia, su posible uso como material de construcción, el porcentaje de reutilización exigido por la norma (Resolución 2397 de 2.011 IDU) y los diversos sistemas de trituración que existen en el mercado.***

PRODUCCIÓN ESTIMADA

Según estudios realizados por la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP), para el año 2013 se estarán produciendo en la ciudad de Bogotá-Colombia unos 14.961.888 metros cúbicos (m³) de residuos de construcción y demolición (RCD) .De estos, como ya anotáramos, según la resolución de la Secretaria Distrital de Ambiente 2397 de 2011, se deben ***“incluir desde la etapa de estudios y diseños los requerimientos técnicos necesarios con el fin de lograr la utilización de elementos reciclados provenientes de los centros de tratamiento y/o aprovechamiento de escombros legalmente constituidos y/o la reutilización de los generados por las etapas constructivas y de desmantelamiento, un porcentaje no inferior al 10%”***(RESOLUCIÓN 2397 DE 2011). Este requisito aunado a los resultados del estudio realizado en el lote de adecuación “Tequendama 4”, que arrojó que sólo un quince por ciento (15 %) de los residuos de construcción y demolición (RCD) pertenecen a la clasificación tipo C (prefabricados, concreto de demolición, morteros), se pudo estimar una generación anual de RCD de unos 224.428 m³/año. Por lo cual se propone un sistema de trituración, con una capacidad de producción de material de ***ciento cincuenta toneladas por hora (150 TPH)***, tal y como se deduce en la Tabla 28:

Tabla 28 Producción del sistema de trituración de RCD propuesto

Datos de Entrada			
Descripción	Unidad	% de Afectación	Cantidad
Volumen de escombros a generar por año según UAESP. 2013	m3/año		14.961.888
Volumen de escombros a reutilizar en obra 10%. Según Resolución 2397 DE 2011	m3/año	10%	1.496.189
Volumen estimado que llegará a la escombrera para tratar 15%	m3/año	15%	224.428
Producción del sistema de trituración de RCD propuesto	m3/hora		94
Producción del sistema de trituración de RCD propuesto	m3/año		204.750

PRODUCCIÓN PARA LOS PRÓXIMOS 10 AÑOS

Se estimó una producción gradual, comenzando en el primer año con una capacidad de utilización del equipo de trituración del cincuenta por ciento (50 %), cuota estimada de penetración del producto en el mercado para ese año, hasta alcanzar en el décimo año un noventa y cuatro por ciento (94%) de la capacidad máxima de trituración del equipo. Se formularon hipótesis de que ese crecimiento gradual iba a comportarse como se muestra en la Figura 54:

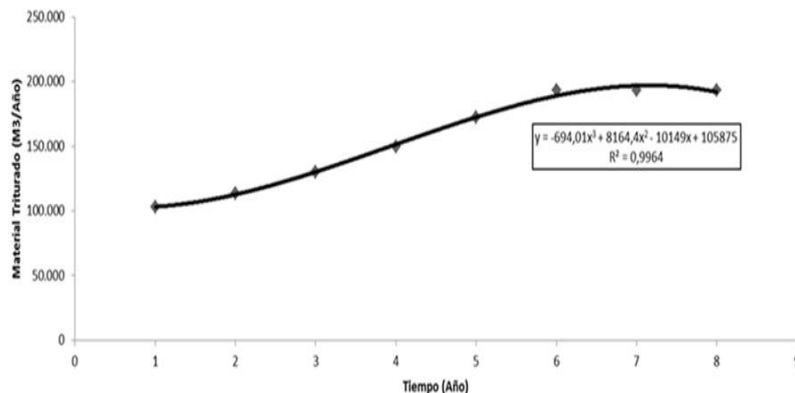


Figura 54. Producción del equipo de trituración 1-10 años

DIMENSIÓN O TAMAÑO DE LAS PROPUESTA (CONDICIONADO POR LA TECNOLOGÍA DE TRITURACIÓN)

▪ SISTEMA DE TRITURACIÓN

Para lograr la trituración de los de 94 m3/hora de RCD previamente estimados y de realizar un reciclaje eficiente que aproveche el espacio físico donde se genere

además la transformación y producción de materiales para la venta, consideramos la necesidad de utilizar un sistema móvil de trituración.

Un factor adicional a considerar en la selección del sistema de trituración es que de acuerdo a las observaciones en campo, se presenta un gran porcentaje de RCD con sobretamaños y para poder alcanzar las especificaciones granulométrica se debe contar con un equipo que garantice la uniformidad del material pétreo resultante. Las **trituradoras móviles de impacto** se adaptan de una manera más eficiente a este indispensable requerimiento. Además, se ha podido evidenciar que los costos finales de producción debido al mantenimiento y desgaste de los diferentes sistemas de trituración, son muchos menores en una trituradora de impacto que los demás tipos de trituradoras como los de mandíbulas y conos.

Por las razones antes expuestas, nos permitimos recomendar una trituradora de impacto que cumpla con lo establecido en cuanto a capacidad de procesamiento, pero que a su vez esta ensamblada sobre un sistema móvil. La trituradora LOKOTRACK LT1110 como la mostrada en la Figura 55 la cual posee una capacidad de procesamiento de 150 Toneladas por Hora (según manual Metso).

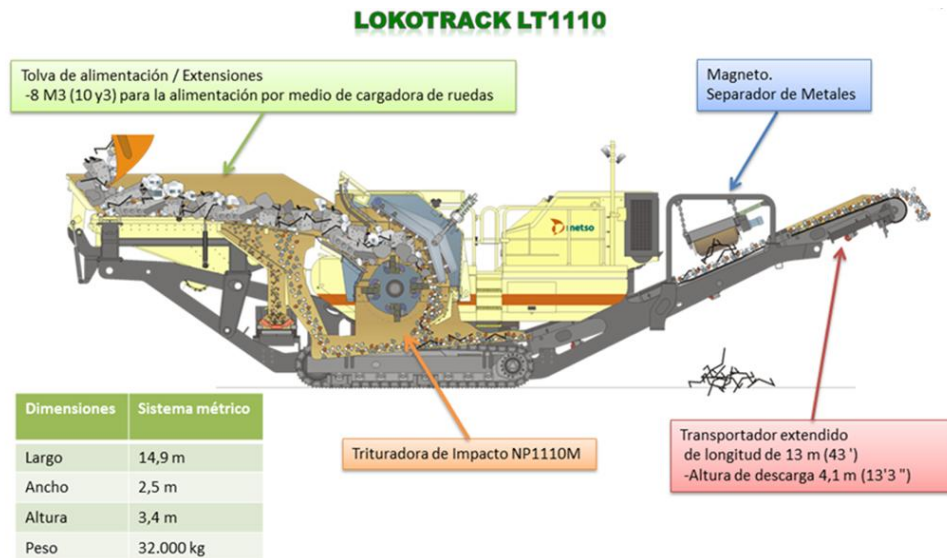


Figura 55. Equipo móvil de trituración modelo - LOKOTRACK LT1110

Como complemento a la trituración se requiere de una criba móvil que permita separar los materiales procesados y que en caso dado de no cumplir con los tamaños máximos permitidos, permita un reingreso a la trituración primaria (ver Figura 56).



Figura 56 Sistema de criba móvil, modelo ST3.8.

Con base en la selección de la trituradora referenciada y con la ayuda técnica del personal de METSO, se definió el sistema piloto de una planta de procesamiento y reciclaje de material granular para tener un óptimo funcionamiento, dadas las características ya mencionadas. El sistema de trituración planteado será tal como se muestra en la Figura 57.

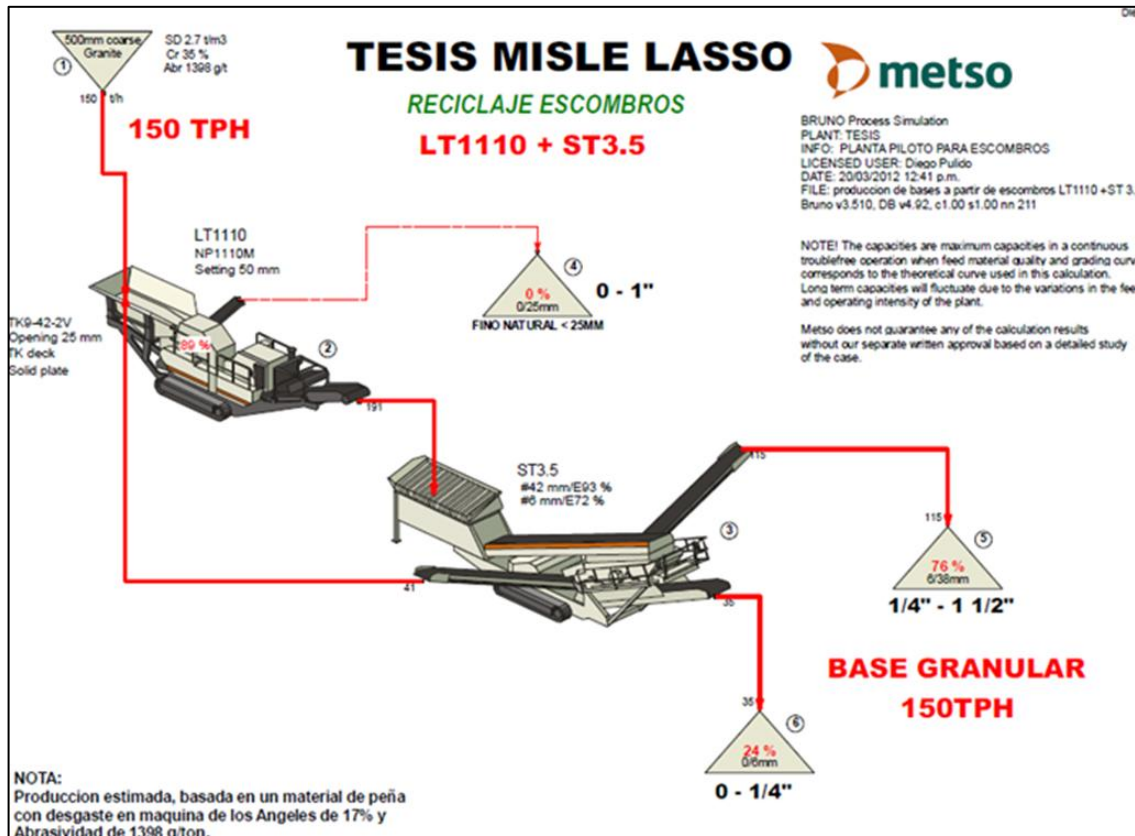


Figura 57. Planta de reciclaje piloto. Producción estimada 150 TNH

Con el objetivo de garantizar que el material procesado cumpla con los tamaños requeridos para el aprovechamiento como material granular, agregado grueso y fino. Es necesario que los materiales que una vez triturados aún tengan sobretamaños, deban retornar al inicio del sistema para un reproceso que permita la reducción del material rechazado, con base en ello se tendrá que optar por un circuito cerrado de producción el cual se muestra en la Figura 58 y el cual consta de la trituradora LT1110 y un sistema de cribado ST3.8.

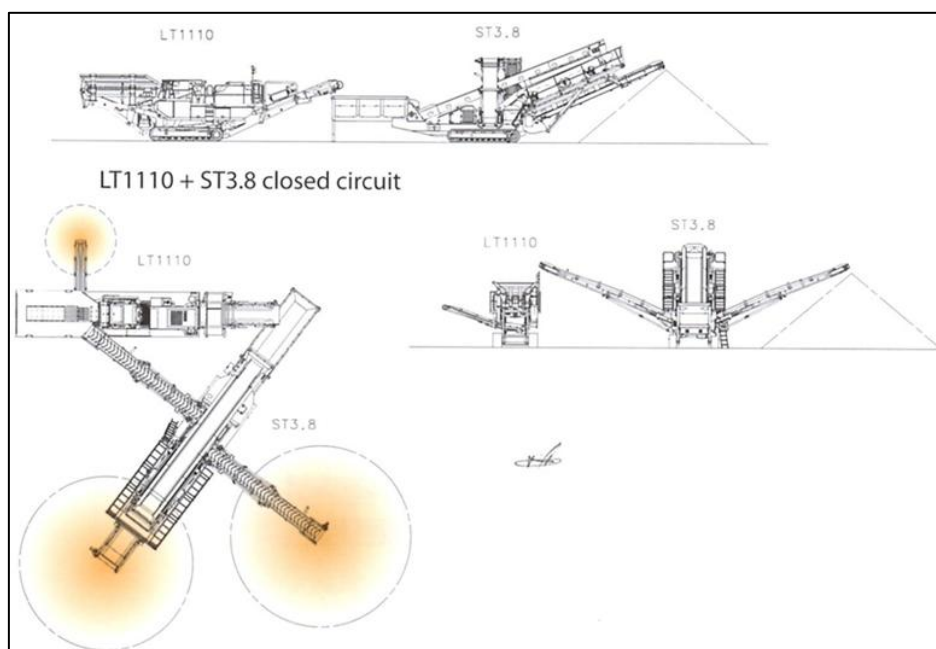


Figura 58. Plano de planta- Planta de reciclaje piloto. Producción estimada 150 TNH (metso 2011)

5.1 INVERSIÓN COSTO E INGRESOS DE CADA PROPUESTAS:

5.1.1 MODELO 1: “RECOLECCIÓN Y PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)”

Considera la gestión desde la búsqueda del material en diferentes obras generadoras de RCD mediante la instalación de contenedores identificados con colores para su separación de acuerdo al tipo de material en situ y camiones portacontenedores que realizarán la carga de los contenedores de forma rápida y segura (Ver Figura 59). Luego se trasladará el material a un centro de transferencia donde los materiales no pétreos (madera, vidrio, metal, plástico) son dispuesto para reciclaje. El material pétreo (concretos), es llevado para su tratamiento a una planta especializada de residuos de construcción y demolición, donde se procede a transformar el material para la venta de bases, subbases, material para concretos y la creación de losetas peatonales permeables (Ver Figura 60). Este modelo de negocio puede ser aplicado en empresa del estado (inversiones públicas), o empresas privadas que se constituyan mediante la ayuda de incentivos por parte del

gobierno nacional debido a los costos implicados en la clasificación y el transporte, los cuales son difíciles de rentabilizar en términos financieros.

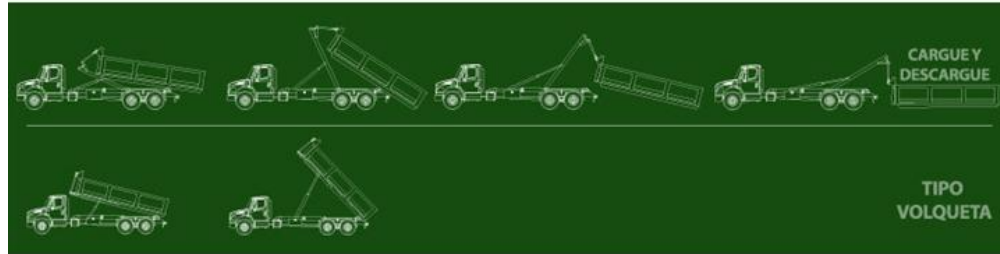


Figura 59. Esquema de carga y descarga de contenedores realizado por camiones portacontenedores.

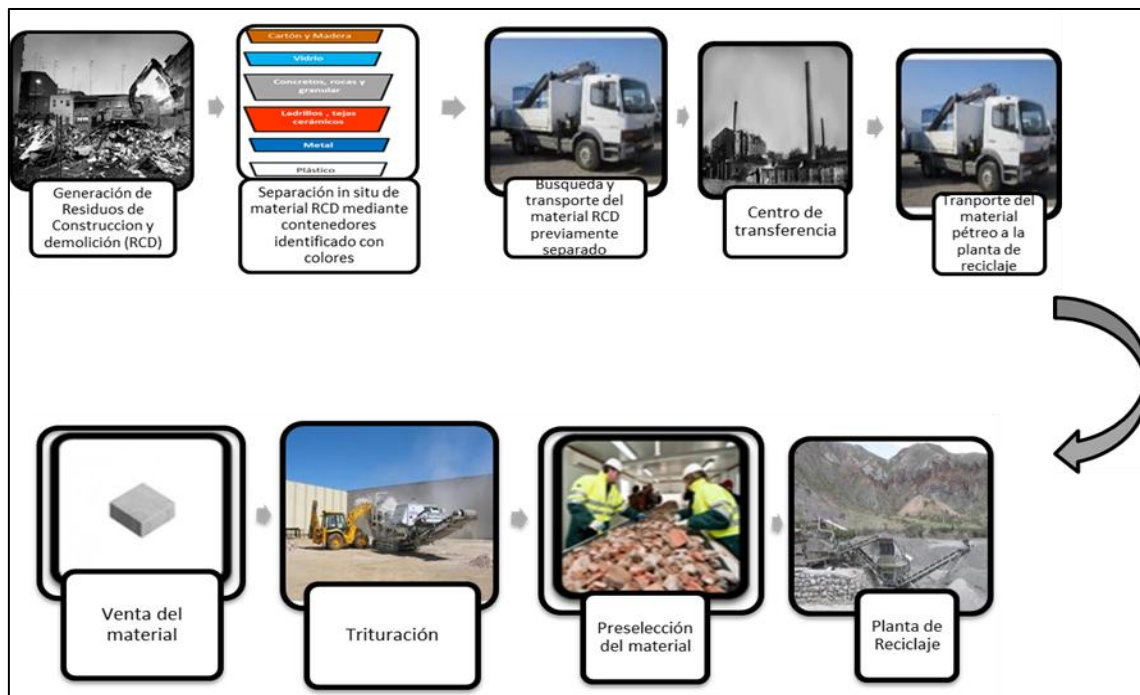
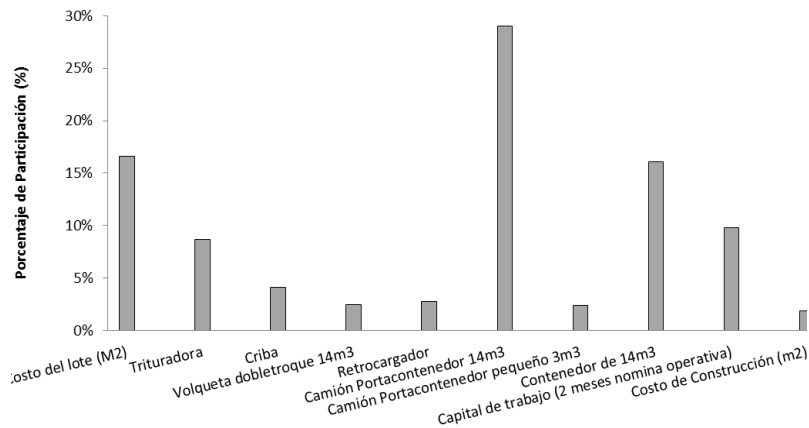


Figura 60. Proceso de Tratamiento de un modelo de empresa Recolección y planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD).

PRESUPUESTO DE INVERSIÓN

El presupuesto de inversión para éste modelo muestra como uno de los principales rubros de inversión al camión portacontenedor, los contenedores de 14 m³ y la adquisición del lote, ya que adicionalmente al proceso de clasificación, trituración y generación de nuevos materiales es necesario asumir la recolección del material producido en cada una de las empresas generadoras de RCD. Cabe destacar que

este es un modelo integral que admite todos y cada uno de los procesos que permiten una adecuada gestión de los RCD finalizando con la reutilización de los mismos, por lo cual los costos de inversión que se requieren son más elevados que los otros modelos de empresas expuestos, e incluso superan los 10 mil millones de pesos (ver Figura 61).



Presupuesto de inversión	Monto	Participación
Activos fijos	\$ 9.780.074.400	90,04%
Diferidos	\$ 20.000.000	0,18%
Capital de trabajo	\$ 1.061.748.230	9,78%
Total	\$ 10.861.822.630	100,00%

Figura 61 Presupuesto de inversión Modelo 1 "Recolección y planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD)

El presupuesto de inversión se detalla ver en el Anexo 2

INGRESOS POR VENTAS

Los ingresos por conceptos de ventas se deben a los resultados obtenidos de manera técnica en el laboratorio, donde se puede valorar su funcionabilidad para bases, sub-bases, material para concretos y losetas toperol (0.40mx0.40m x 0.06m), realizando una comparación técnica con las normativa I.N.V.E..

Mencionadas ventas estarán afectadas por la producción estimada para cada año así como también por el índice de costos de la construcción pesada (ICCP). El modelo uno (1), posee los siguientes ingresos por conceptos de ventas (Tabla 29) y se

puede visualizar en el tiempo del proyecto (10 años) en la Figura 62 que se muestra a continuación:

Tabla 29 Ingresos por Ventas. Modelo 1

INGRESOS	PRECIO UNITARIO	Producción (M3/Año) ICCP	
		Porcentaje de producción Total (%)	Producción
1. Material Reciclado para Subbases	\$ 50.635	45%	46.350 m3
2. Material Reciclado para Bases	\$ 55.575	21%	21.630 m3
3. Material Reciclado para Concretos	\$ 26.600	24%	24.720 m3
4. Loseta Toperol 0,4m*0,4m*0,06m	\$ 27.717	10%	171.392 m2

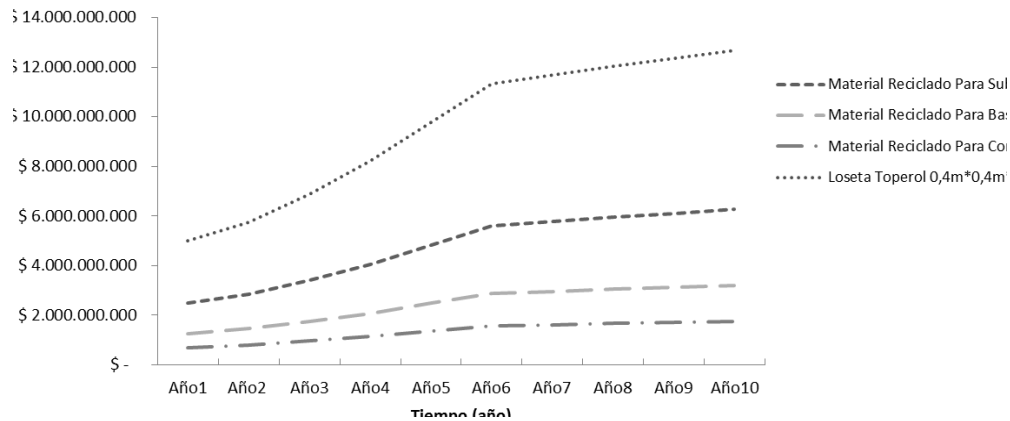


Figura 62. Ingreso por ventas (1-10) años. Modelo 1.

El mayor ingreso por ventas se encuentra referido a la producción de prefabricados a partir de los residuos de construcción y demolición (RCD), teniendo en cuenta que será el producto innovador que buscará mostrar las ventajas de la reutilización de material reciclado. El incremento en las ventas de cada uno de los materiales está relacionado profundamente con los indicadores macroeconómicos que rigen al sector de la construcción y las normatividades que regulen y obliguen su uso.

La tendencia ascendente de la curva comienza a consolidarse al octavo año de funcionamiento del modelo, teniendo en cuenta que los equipos utilizados llegan a su capacidad óptima de producción a partir de ese año.

COSTOS DIRECTOS

Se refiere a los costos unitarios ejecutados anualmente de cada modelo de empresa analizada, afectado por la inflación proyectada de los siguientes parámetros:

1. Mantenimiento de maquinaria.
2. Sueldo de mano de obra directa.
3. Materiales de fabricación de productos.
4. Gastos varios.

La Tabla 30, muestra los costos unitarios en el año cero (0), para los diversos conceptos de gastos directos de la empresa. Mencionados costos son luego afectados por la cantidad de equipos y personal requerido de acuerdo a la producción, la inflación y por el ingreso de equipos adicionales que se adquirirán en el tiempo mediante el flujo de caja positivo (ver Figura 63, Figura 64, Figura 65 y Figura 66).

Tabla 30 Costos directos. Modelo “recolección y planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) Modelo 1.

COSTOS	Inflación
	Inflación Acumulada
	COSTO UNITARIO
Maquinaria mantenimiento	
Trituradora	\$ 464.894.248
Criba	\$ 153.690.012
Volqueta dobletroque 14m3	\$ 119.983.200
Retrocargador	\$ 121.177.600
Camión Portacontenedor 14m3	\$ 122.883.200
Camión Portacontenedor pequeño 3m3	\$ 55.338.800
Contenedor de 14m3	\$ 1.100.000
Contenedor de 3m3	\$ 220.000
Mezcladora de concreto Autocargante 12m3	\$ 33.916.600
Mano de Obra directa	

Personal Técnico	
oficial	\$ 22.950.000
ayudante	\$ 14.450.850
Operarios de maquinaria	
Jefe de Planta (Ing. Civil)	\$ 66.560.000
Varios	
Herramientas menor (10% MO)	\$ 3.740.085
Dotación	\$ 7.500.000
Análisis de laboratorio	\$ 23.295.000
Materiales para fabricación	
Cemento	\$ 8.280
Color	\$ 5.760
Aditivos	\$ 1.683
Formaleta	\$ 1.600

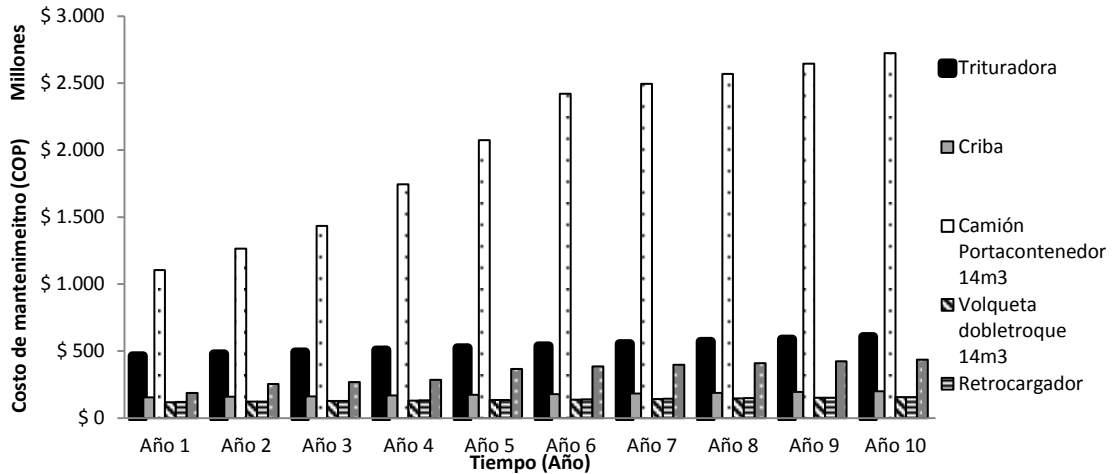


Figura 63. Costo de Mantenimiento- maquinaria (modelo 1).

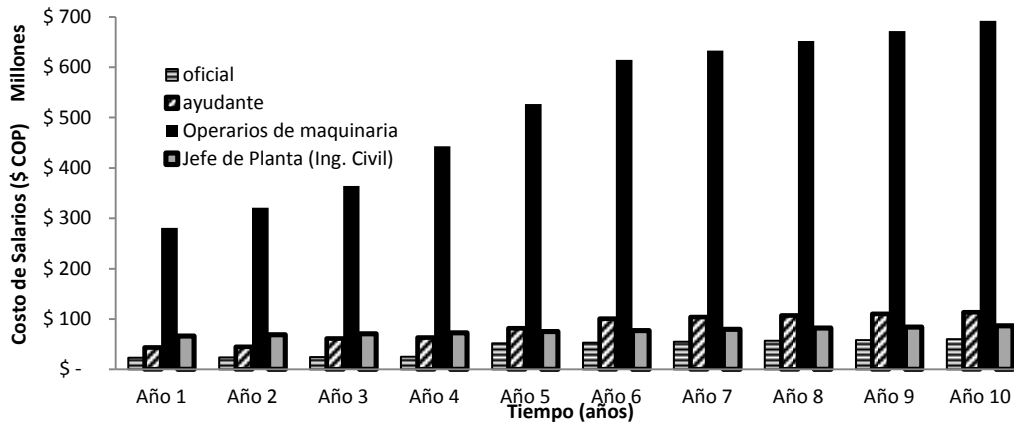


Figura 64. Costo- Salario personal técnico (modelo 1)

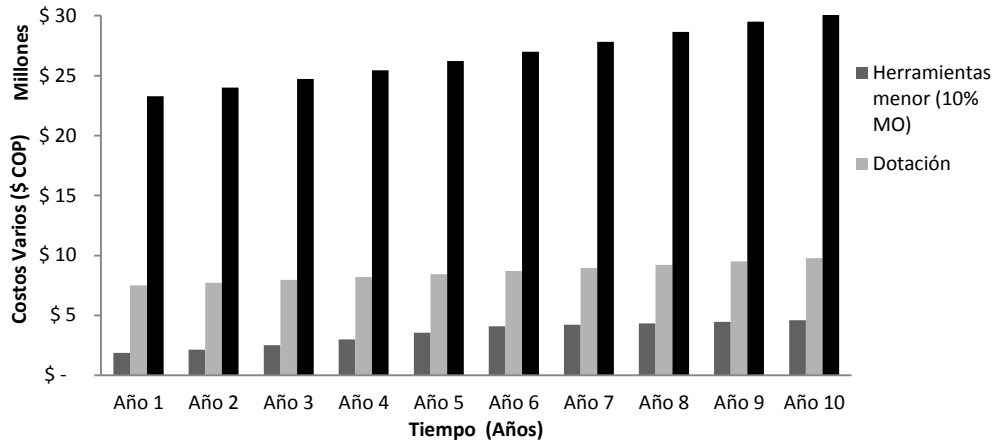


Figura 65. Costos – Varios (modelo 1).

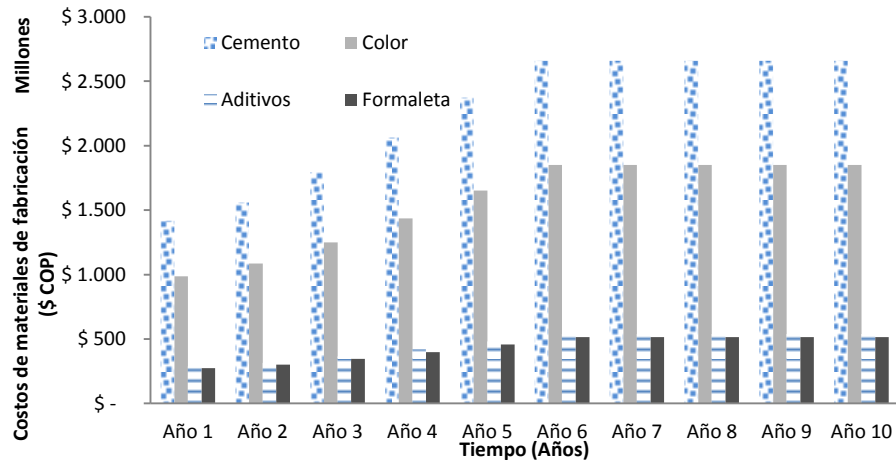


Figura 66. Costos de materiales de fabricación.

Este modelo ejecuta la gestión integral de los residuos de construcción y demolición, es por ello, que los costos de mantenimiento están afectados en gran medida por los procesos de recolección y transporte del material al sitio de tratamiento y que los consumibles que presentan los camiones portacontenedores son los más altos a considerar.

Los procesos de trituración y clasificación del material dentro de los costos de mantenimiento anuales no superan el 30% de los costos totales de operación, con lo cual, este modelo estará regido por los procesos de recolección y transporte. Otro costo importante es la compra de cemento para la fabricación de losetas permeables, así como también los análisis de laboratorios del material pétreo procesado.

COSTOS INDIRECTOS

Se refiere a los costos unitarios del mantenimiento de algunos equipos, servicios públicos, personal indirecto y las depreciaciones de los equipos ejecutados anualmente para cada modelo de empresa analizada, afectado por la inflación proyectada para los 10 años del proyecto.

Para el modelo de empresa se estimó los costos indirectos que se presenta continuación Tabla 31:

Tabla 31 Costos indirectos. Modelo “recolección y planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD).Modelo 1.

	Inflación
	Inflación Acumulada
COSTOS INDIRECTOS	COSTO UNITARIO
Equipos (Mantenimiento)	
Camioneta doblecabina 4x4	\$ 37.016.600
Planta eléctrica 20Kw	\$ 3.534.160
Servicios Públicos	
Agua	\$ 7.200.000
Electricidad	\$ 1.800.000
Teléfono	\$ 1.200.000
Internet	\$ 1.200.000
Celulares (4)	\$ 1.440.000
Radios (7)	\$ 700.000
Personal Indirecto	

Supervisor	\$ 36.000.000
Supervisor HSE y Calidad	\$ 60.000.000
Vigilancia	\$ 19.381.140
Depreciaciones	
Maquinaria	
Trituradora	\$ 94.290.592
Criba	\$ 44.716.848
Volqueta dobletroque 14m3	\$ 27.000.000
Retrocargador	\$ 30.000.000
Camión Portacontenedor 14m3	\$ 35.000.000
Camión Portacontenedor pequeño 3m3	\$ 13.000.000
Contenedor de 14m3	\$ 5.000.000
Contenedor de 3m3	\$ 1.000.000
Mezcladora de concreto Autocargante 12m3	\$ 10.000.000
Camioneta doblecabina 4x4	\$ 9.000.000
Planta eléctrica 20Kw	\$ 2.500.000
Depreciación de Edificación anual	\$ 200.000.000,00

La Tabla 31 muestra los costos indirectos unitarios en el año cero (0), que corresponden a los diversos conceptos. Referidos costos son luego afectados por el porcentaje de utilización de los mismos, la inflación estimada acumulada para cada año y por las adquisiciones de equipos adicionales mediante el flujo de caja positivo (ver Figura 67).

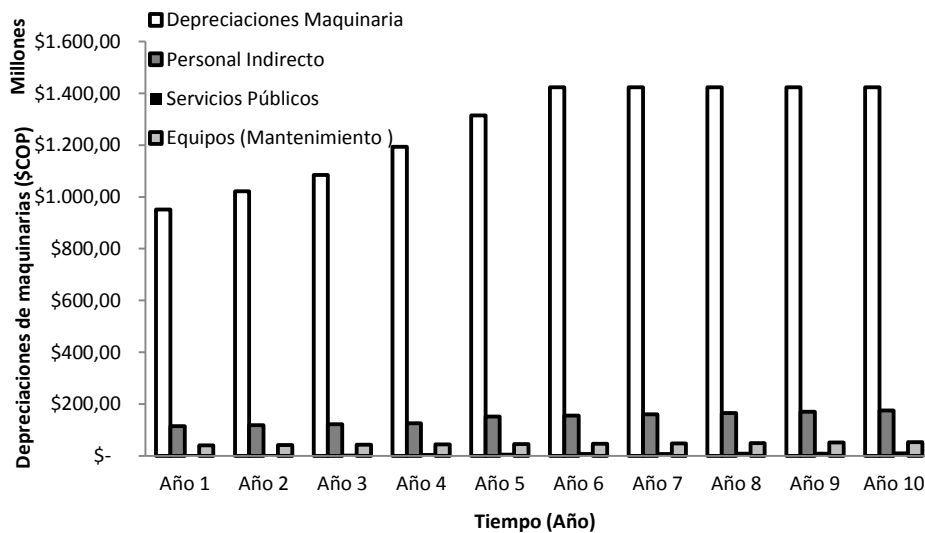


Figura 67. Costos indirectos (modelo 1)

En este modelo se evidencia que el proceso de recolección y transporte aporta el mayor porcentaje de costos indirectos mediante las depreciaciones (1.000 millones de pesos anuales aproximadamente), encontrándose entre ellos el camión portacontenedor, los contenedores y la edificación como los costos de depreciación más elevados.

GASTOS

Se refiere a los gastos ejecutados anualmente del modelo de empresa analizada, afectado por la inflación proyectada de los siguientes parámetros (Tabla 32 y Figura 68):

1. Mano de obra indirecta:
 - 1.1 Personal directivo
 - 1.2 Personal Administrativo
2. Oficina
3. Servicios públicos.
4. Costos de edificación.

Tabla 32 Costos unitarios de gastos. (Modelo 1)

	Inflación Inflación Acumulada
GASTOS ADMINISTRATIVOS	COSTO UNITARIO
Mano de obra indirecta	
Personal Directivo	
Gerente General	\$ 72.000.000
Personal Administrativo	
Abogado	\$ 21.600.000
Contador	\$ 5.760.000
Administrador	\$ 34.560.000
Secretaria	\$ 17.850.000
Aseadora	\$ 14.450.850
Oficina	
Equipos de computación	\$ 10.000.000
Muebles y enseres	\$ 10.000.000
Suministros, papelería, sellos, tinta y gastos	\$ 12.000.000

Servicios Públicos	
Agua	\$ 7.200.000,00
Electricidad	\$ 1.800.000,00
Teléfono	\$ 1.200.000,00
Internet	\$ 1.200.000,00
Celulares (4)	\$ 1.440.000,00
Radios (7)	\$ 700.000,00
Costos de edificación	
Impuestos prediales anual	\$ 30.000.000
ICA	\$ 91.078.403
Constitución de la empresa	\$ 10.000.000
Licencia Ambiental	\$ 10.000.000

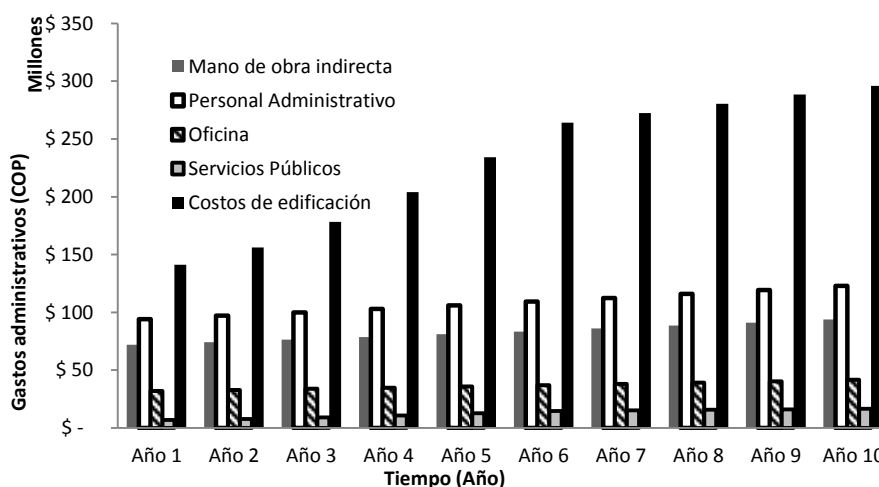


Figura 68. Distribución de gastos. (Modelo 1)

Se puede evidenciar los altos gastos correspondientes a los costos de edificación que corresponde principalmente al impuesto de industria y comercio (ICA), además de los salarios respectivos del personal administrativo. Cabe destacar además, el aumento en el gasto por concepto de gerencia general debido a que es necesario la contratación de un personal especializado en los procesos de tratamiento de los materiales reciclados así como también en el rubro de mercadeo y venta.

EVALUACIÓN FINANCIERA

▪ FLUJO DE CAJA LIBRE

El comportamiento del flujo de caja libre corresponde a todo el dinero entrante por conceptos de ventas menos los costos, gastos, impuestos, depreciaciones, inversiones, sin tomar en cuenta las deudas adquiridas por los acreedores financieros y accionistas (ver Figura 69):

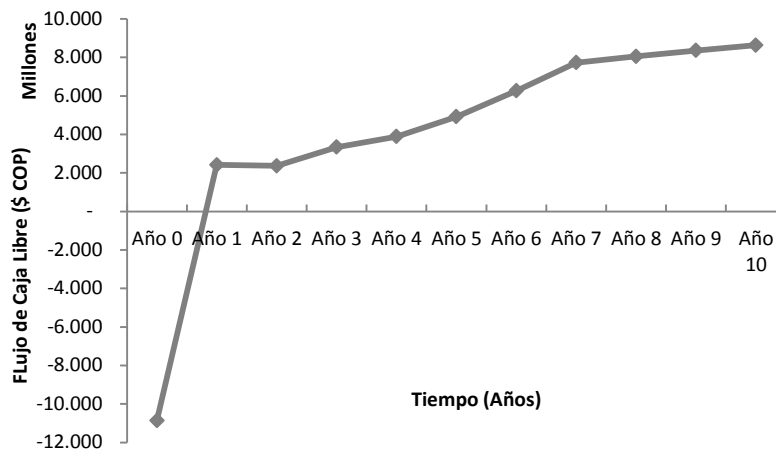


Figura 69. Comportamiento del flujo de caja libre (modelo 1)

Se puede observar que para el año cero (0), se presenta una deuda correspondiente a la primera inversión para el comienzo del proyecto, luego para los posteriores años se mantiene un crecimiento uniforme en el flujo de caja libre, teniendo en cuenta que para este primer parámetro de evaluación financiera, no se toma en cuenta las deudas adquiridas.

El flujo de caja se puede detallar en el anexo 2

▪ FLUJO DE CAJA DE ACCIONISTAS

Corresponde al flujo de caja descontando las deudas adquiridas por acreedores financieros y accionistas. Referidas deudas se realizan mediante dos alternativas: Bancos (42%) y accionistas o préstamos a terceros (58%) y corresponden a las

adquisidores de lote, maquinaria, equipo y construcción; pueden apreciarse en las siguiente tablas (Tabla 33 y Tabla 34) y Figura 70.

Tabla 33 Financiación Bancaria (modelo 1)

Créditos	Valor	Desembolso (%)	Desembolso	Tasa efectiva Anual(%)	Plazo (meses)	Cuota mensual	Cota Anual (Capital + intereses)
Lote	\$ 1.800.000.000	70%	\$ 1.260.000.000	18,00	60	\$ 31.088.486	\$ 373.061.832
Construcción	\$ 445.000.000	70%	\$ 311.500.000	18,00	60	\$ 7.685.765	\$ 92.229.175
Maquinaria y equipo	\$ 4.275.074.400	70%	\$ 2.992.552.080	18,00	60	\$ 73.836.439	\$ 886.037.270

Tabla 34 Financiación por accionista (modelo 1)

Créditos	Valor	Desembolso (%)	Desembolso	Tasa efectiva anual(%)	Plazo (meses)	Cuota mensual	Cota Anual (Capital +Intereses)
Lote, construcción y maquinaria (Restante)	\$6.297.770.550	100%	\$ 6.297.770.550	12%	84	109.117.420	\$ 1.309.409.040

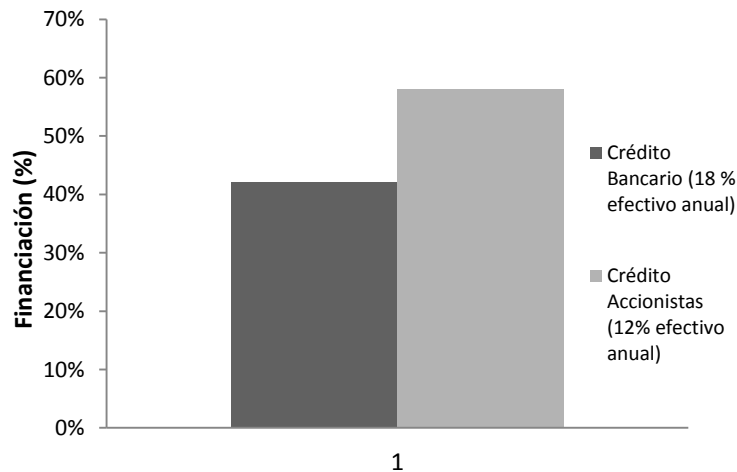


Figura 70. Distribución de la financiación (Modelo 1)

Para la financiación mediante el aporte de capital de accionista o terceros, se asumirá un promedio entre la tasa libre de riesgo para actividades de construcción en Colombia establecida por mercado accionario del 11,8%, y el 12% establecido por el departamento nacional de planeación (DNP), como la tasa social de descuento la cual es aplicada para evaluar proyectos de carácter social. Mencionada tasa, se debe a que el modelo uno (1) se recomienda su capital de inversión bajo una modalidad de empresa de capital público, asumido por el distrito para su funcionamiento. La tasa de financiación bancaria será del 18% efectivo anual establecido como la tasa de mercado a 2012.

La Figura 71 muestra la diferencia durante la vigencia del proyecto del flujo de caja sin contar préstamos y el flujo de caja de accionista donde se contemplan los préstamos adquiridos y es por ello que se observa una disparidad en el comportamiento de las tendencias. El descenso de la curva del flujo de caja de accionista en el año siete (7) se debe principalmente al pago total de la deuda de capital al prestamos de accionista o terceros por un monto de \$ 6.297.770.550, para luego equipararse en el año ocho (8) con el flujo de caja por no presentar ninguna deuda adicional adquirida.

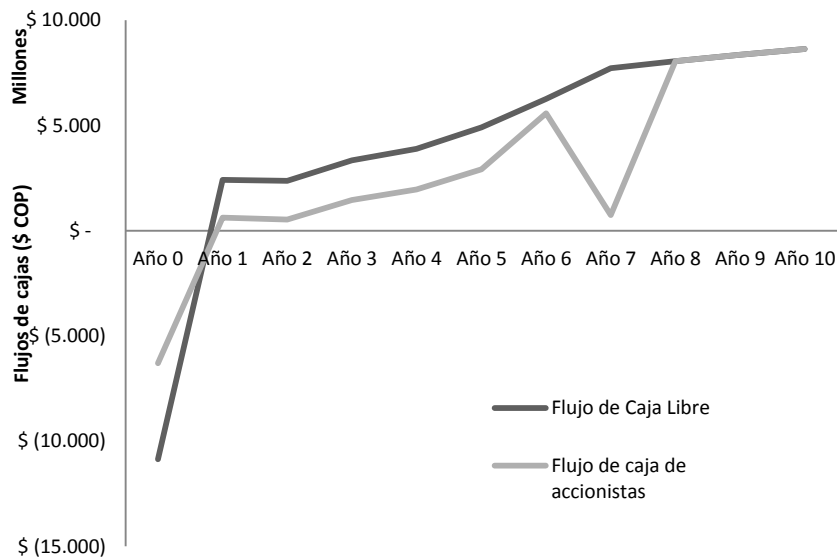


Figura 71. Flujo de caja libre Vs. Flujo de caja de accionista (modelo 1)

El flujo de caja de accionistas se puede detallar en el anexo 2

ESTADOS FINANCIEROS

El estado financiero con su respectiva comprobación se encuentra detallado en el **Anexo 2**

▪ **VALOR PRESENTE NETO (VPN) Y TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)**

Para la formulación de estos dos criterios se tomaron en cuenta un costo de oportunidad de mercado accionario de riesgo medio al (12 %), dando como resultados los siguientes parámetros:

VPN= \$ 10.996.311.933 > 0, quiere decir que el proyecto rinde a una tasa superior al costo del capital, por lo tanto agrega valor.

TIR= 31,03%. Representa una característica del proyecto y no del inversionista, ello se debe a que es la rentabilidad que ganan los fondos que permanecen invertidos en el proyecto.

▪ **COSTO DE CAPITAL (Weighted Average Cost of Capital (WACC))**

La tasa real a la cual se financia la inversión, sin discriminar préstamos bancarios y accionistas es de un promedio de 15,7%, y se puede observar mediante la Figura 72 la diversas tendencias que sufre durante la vida útil del proyecto.

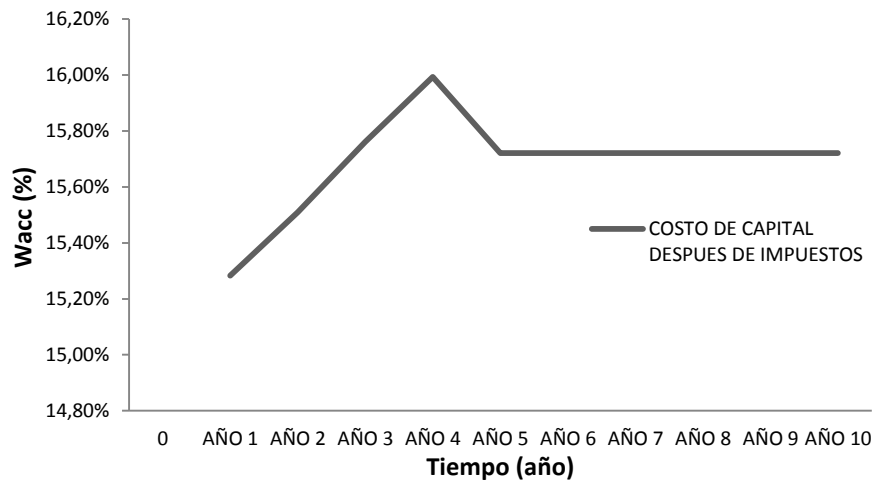


Figura 72. Costo de capital después de impuestos (WACC) (Modelo 1)

Los primero cuatro (4) años pagamos la cuota total bancaria (interés y capital), e interés sin abonar a capital de los accionistas. A partir del año cinco (5), la tendencia a la curva sufre un descenso y se mantiene a razón constante del 15,7%, causado por el pago del préstamo bancario. No se repartieron dividendos, quedando el patrimonio como utilidad retenida dentro del análisis contable, diferente al análisis del mercado en donde la participación del patrimonio obedece a su valor bursátil.

Con la tasa real a la cual se financia la inversión, se halló un valor presente neto (VPN) real ajustado a las condiciones financieras establecidas durante toda la vida útil del proyecto, el cual puede observarse en la Tabla 35:

Tabla 35. Valores presentes de los flujos futuros por año.

VALOR PRESENTE DE LOS FLUJOS FUTUROS		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Periodo	Año ==>	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Flujo de Caja Libre Operacional		1.127.269.663	1.680.381.846	2.623.961.086	3.637.180.918	4.794.006.003	5.992.408.005	6.334.345.868	6.666.742.987	6.962.038.462	7.236.992.970
Valor presente de los flujo en el año 0	Año 0		1.454.756.789	1.962.348.352	2.345.042.044	2.671.003.718	2.885.143.933	2.635.469.963	2.393.361.367	2.163.082.555	1.943.054.655
Valor presente de los flujo en el año 1	Año 1			2.266.698.167	2.708.745.620	3.085.262.219	3.332.614.445	3.044.217.367	2.764.559.013	2.498.565.179	2.244.412.119
Valor presente de los flujo en el año 2	Año 2				3.135.681.319	3.571.542.132	3.857.880.482	3.524.028.045	3.200.291.674	2.892.373.540	2.598.162.450
Valor presente de los flujo en el año 3	Año 3					4.142.750.352	4.474.883.716	4.087.637.184	3.712.124.615	3.354.960.143	3.013.694.927
Valor presente de los flujo en el año 4	Año 4						5.178.351.958	4.730.228.842	4.295.684.310	3.882.372.264	3.487.458.896
Valor presente de los flujo en el año 5	Año 5							5.473.838.280	4.970.981.744	4.492.695.519	4.035.700.311
Valor presente de los flujo en el año 6	Año 6								5.752.438.427	5.198.963.842	4.670.127.300
Valor presente de los flujo en el año 7	Año 7									6.016.260.153	5.404.288.555
Valor presente de los flujo en el año 8	Año 8										6.253.862.669
Valor presente de los flujo en el año 9	Año 9										
Valor presente de los flujo en el año 10	Año 10										

Con los valores de los flujos futuros afectado por la tasa real de financiación (WACC), se halló un valor presente neto (VPN), que refleja las condiciones reales del proyecto, dando como resultado un VPN ajustado de \$ 9.591.440.746 (COP 2012).

▪ **VALOR ECONÓMICO AGREGADO (EVA):**

Con este indicador que es afectado por la tasa real de financiación (WACC), se puede evidenciar que el proyecto genera valor durante su vida útil y puede apreciarse en la Figura 73

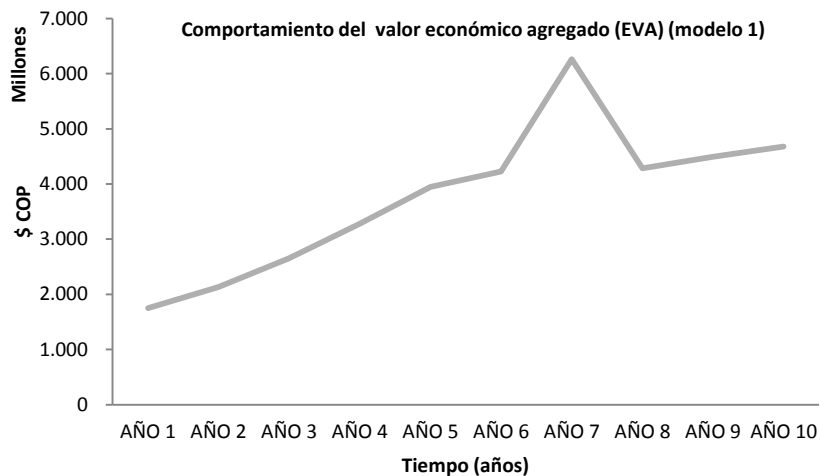


Figura 73. Comportamiento del valor económico agregado (EVA) (Modelo 1)

La variación del EVA, muestra un incremento en la generación de valor por parte del proyecto, y solo se ve afectado en el año 8 teniendo en cuenta el pago total en un solo año del capital invertido por el accionista \$ 6.297.770.550 (COP 2012) (Figura 74).

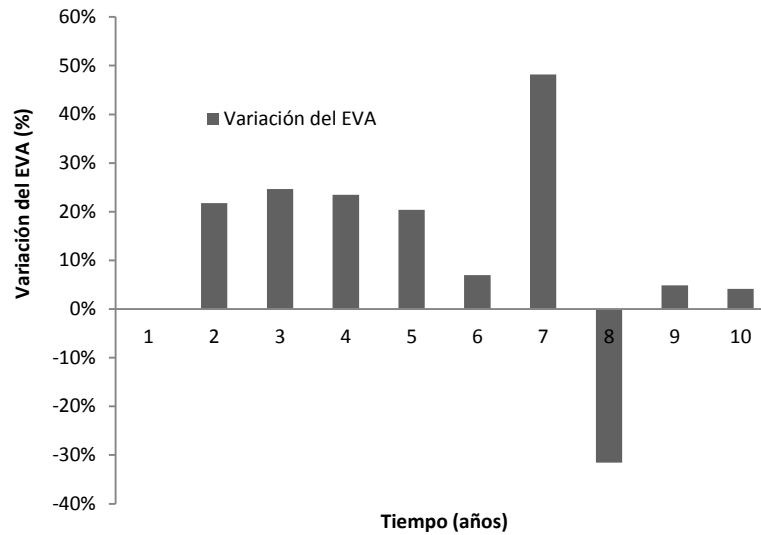


Figura 74. Variación del EVA (modelo 1)

▪ **RELACIÓN BENEFICIO / COSTO (B/C)**

Se calculó el costo de deuda establecido para el año cero (0) en \$10.861.822.630 y un beneficio a valor presente mediante la tasa real de financiación (WACC) de \$21.580.533.039, dando como resultado un B/C de 1,99, el cual se evidencia que el proyecto es viable económicamente (ver Figura 75)

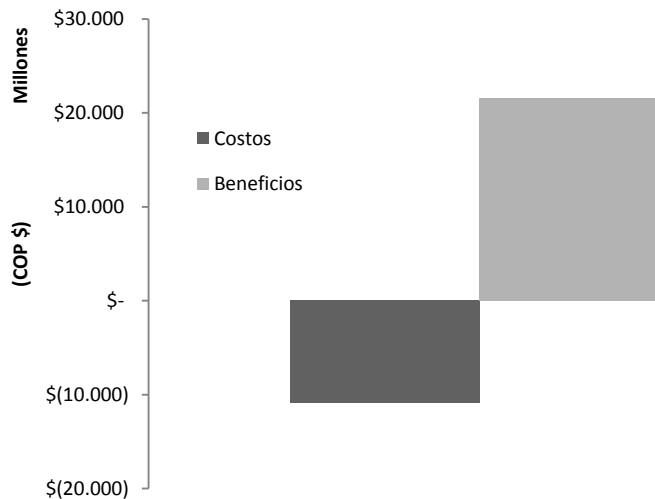


Figura 75. Costos y Beneficios a valor presente. (Modelo 1)

▪ **PAYBACK (PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN)**

El proyecto analizado muestra un periodo de recuperación de la inversión en cinco (5), años, lo cual corresponde a la mitad de la vida útil del proyecto (10 Años) garantizando utilidades a partir de este año (Ver Figura 76)

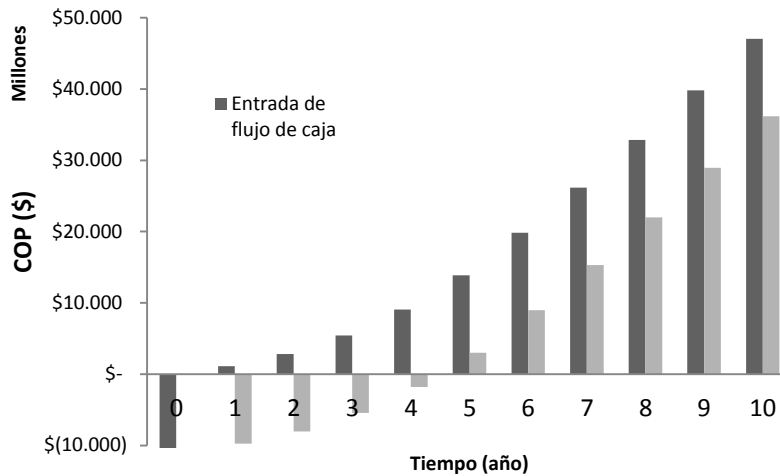


Figura 76 Payback (Periodo de recuperación de la inversión) (Modelo 1).

▪ **ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD**

Los análisis de sensibilidad serán tomados bajo dos (2) parámetros:

DESCUENTOS EN PRECIOS DE VENTA:

Hasta un cinco por ciento (5%) de descuentos sobre los productos de venta (ver Tabla 36)

Tabla 36. Valores de los descuentos límites que permite el proyecto

INGRESOS	Precio unitario	Descuento (%)	Total descuento	Total Costo unitario	% de producción Total	Producción
1.Material Reciclado para Subbases	\$ 53.300	5%	\$ 2.665	\$ 50.635	45%	46.350 m3

2. Material Reciclado para Bases	\$ 58.500	5%	\$ 2.925	\$ 55.575	21%	21.630 m3
3. Material Reciclado para Concretos	\$ 28.000	5%	\$ 1.400	\$ 26.600	24%	24.720 m3
4. Loseta Topero 0,4m*0,4m*0,06m	\$ 29.175	5%	\$ 1.459	\$ 27.717	10%	171.392 m2

Con este descuento otorgado, el proyecto genera un VPN de \$ 8.470.600.483 y una rentabilidad (TIR) de 24%; Su comportamiento financiero puede apreciarse mediante la siguiente Figura 77

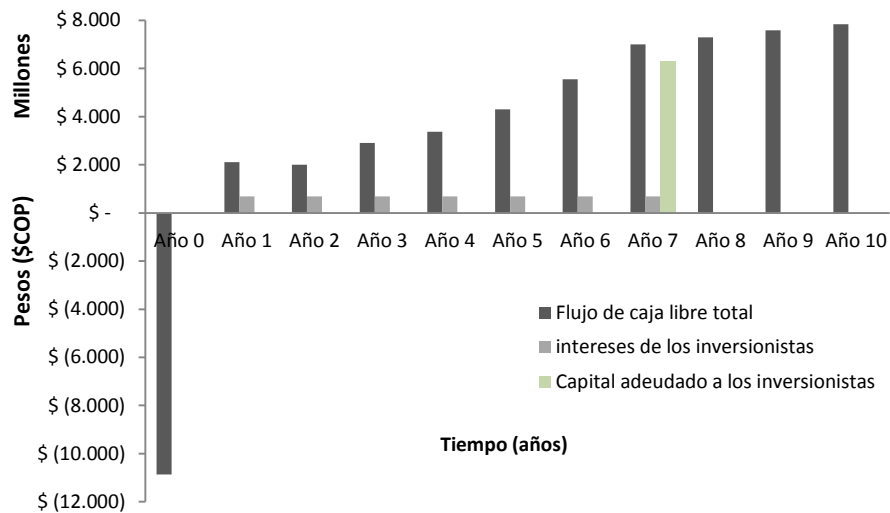


Figura 77. Deuda Accionista Vs. Flujo de caja libre (modelo 1)

TASA MÁXIMA DEBIDO A RIESGO

La tasa máxima debido a riesgo será del 15% para que el proyecto genere un VPN positivo de \$ 6.464.093.517 y una rentabilidad (TIR) de 23%.

5.1.2 **MODELO 2: “PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)”.**

Contempla la implementación de una planta de tratamientos de RCD, considerando la gestión a partir de la entrada del residuo en la planta, excluyendo todo lo que se refiere a la clasificación y transporte previo. Mencionadas plantas de tratamiento cuentan con un sistema de separación de material no pétreo (Madera, Vidrio, metal, Plástico) para luego tratar el material pétreo (concretos) para su puesta en venta como material para bases, subbases, material para concretos y la creación de losetas peatonales permeables (Ver Figura 78). Este modelo de negocio se adapta para la creación de una subsidiaria de una empresa ya establecida perteneciente al rubro de tratamiento de materiales pétreo (canteras), o aquellos sitios de disposición final de escombros (escombreras, lotes de adecuación). Mencionado modelo de empresa contempla incentivos monetarios (reducción del costo de disposición) a las empresas que generen RCD y sean llevados hasta el sitio de tratamiento, además si mencionadas empresas lo llevan separados el costo de disposición podría ser nulo.

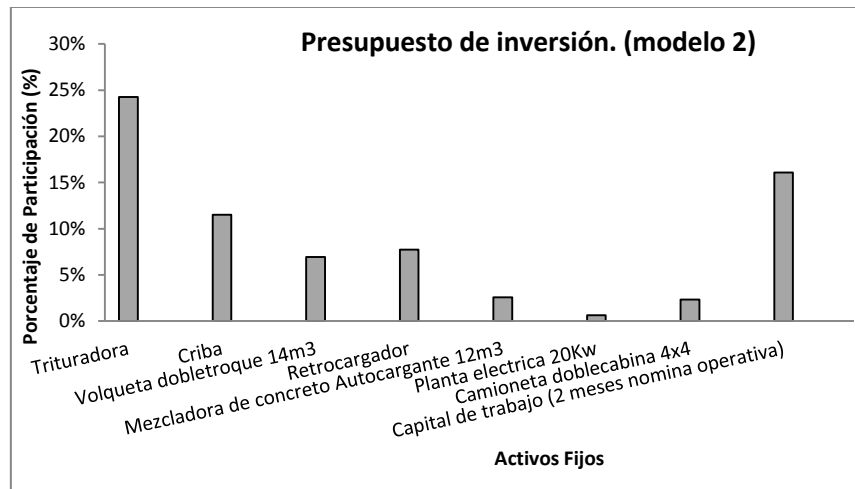


Figura 78 Proceso de Tratamiento de un modelo de Planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD)

▪ **PRESUPUESTO DE INVERSIÓN**

La principal inversión de este modelo está asociada al proceso específico del tratamiento de los RCD, por lo cual su objetivo parte desde la llegada del material a la planta prescindiendo todas las inversiones de transporte del material. La trituradora y la criba tendrán una notable incidencia en la inversión a realizar, así mismo es requerido establecer un capital de trabajo tal que permita asegurar que ante alguna eventualidad ó dificultad de entrada del material al mercado, se haya

contemplado el no cese de las actividades de tratamiento de los RCD hasta por dos (2) meses continuos. La inversión para este modelo llega a ser menos del 40% que la requerida en un modelo integral de gestión que incluye recoger y transportar el material hasta el sitio de tratamiento y/o disposición final; así mismo está reflejado para este específico modelo que las empresas posean un lote adecuado para llevar a cabo una parte importante del procesamiento de los RCD (ver Figura 79).



Presupuesto de inversión	Monto	Participación
Activos fijos	\$ 3.240.074.400	83,40%
Diferidos	\$ 20.000.000	0,51%
Capital de trabajo	\$ 624.948.230	16,09%
Total	\$ 3.885.022.630	100,00%

Figura 79 Presupuesto de inversión. Modelo "Planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) Modelo 2

El presupuesto de inversión se puede detallar en el Anexo 3

▪ **INGRESOS POR VENTAS**

Las ventas estarán afectadas por la producción estimada para cada año así como también por el índice de costos de la construcción pesada (ICCP). El modelo dos (2) tendrá similares ingresos por concepto de ventas al modelo uno (1), ya que poseen beneficios por conceptos de comercializaciones afines con la puesta de productos de

iguales características en el mercado comercial como se puede valorar en la Tabla 37 y visualizada en el tiempo en la Figura 80:

Tabla 37 Ingresos por Ventas. (Modelo 2).

INGRESOS	PRECIO UNITARIO	Producción (M3/Año)	
		Porcentaje de producción Total (%)	Producción ICCP
1. Material Reciclado para Subbases	\$ 50.635	45%	46.350 m3
2. Material Reciclado para Bases	\$ 55.575	21%	21.630 m3
3. Material Reciclado para Concretos	\$ 26.600	24%	24.720 m3
4. Loseta Toperol 0,4m*0,4m*0,06m	\$ 27.717	10%	171.392 m2

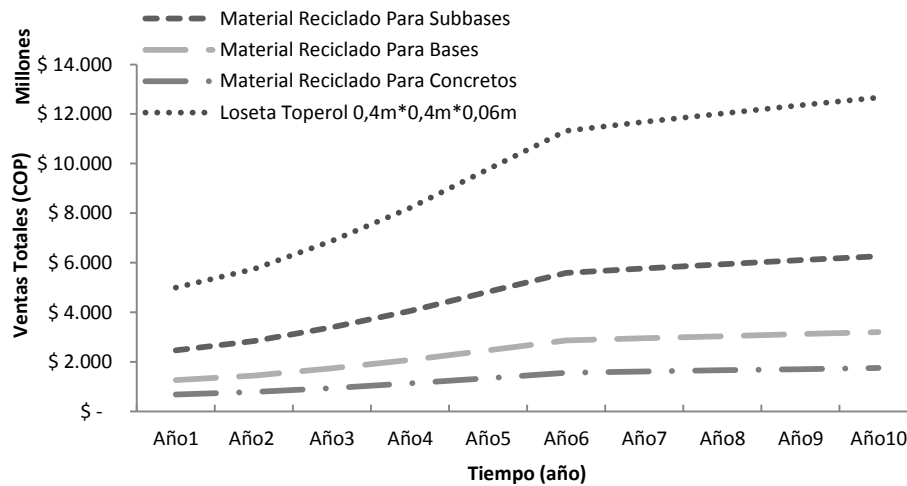


Figura 80. Ingreso por ventas (1-10) años. (Modelo 2)

Al igual que el modelo 1, el ingreso superior por conceptos de ventas se encuentra referido a la producción de prefabricados a partir de los residuos de construcción y demolición (RCD), teniendo en cuenta que será el producto innovador. El aumento en las ventas de cada uno de los materiales está relacionado con los indicadores macroeconómicos que rigen al sector de la construcción y las normatividades que regulen y obliguen su uso.

La notable tendencia ascendente de la curva se consolida al octavo año de funcionamiento del modelo, teniendo en cuenta que los equipos utilizados llegan a su capacidad óptima de producción a partir de ese año.

▪ COSTOS DIRECTOS

La Tabla 38, muestra los costos unitarios en el año cero (0), para los diversos conceptos de gastos directos de la empresa. Mencionados costos son luego afectados por la cantidad de equipos y personal requerido de acuerdo a la producción, la inflación y por el ingreso de equipos adicionales que se adquirirán en el tiempo mediante el flujo de caja positivo (ver Figura 81, Figura 82, Figura 83 y Figura 84).

Tabla 38. Costos directos. Modelo “Recolección y planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) Modelo 2.

COSTOS	Inflación
	Inflación Acumulada
	COSTO UNITARIO
Maquinaria mantenimiento	
Trituradora	\$ 464.894.248
Criba	\$ 153.690.012
Volqueta dobletroque 14m3	\$ 119.983.200
Retrocargador	\$ 121.177.600
Mezcladora de concreto Autocargante 12m3	\$ 33.916.600
Mano de Obra directa	
Personal Técnico	
oficial	\$ 22.950.000
ayudante	\$ 14.450.850
Operarios de maquinaria	\$ 31.200.000
Jefe de Planta (Ing. Civil)	\$ 66.560.000
Varios	
Herramientas menor (10% MO)	\$ 3.740.085
Dotación	\$ 7.500.000
Análisis de laboratorio	\$ 23.295.000
Materiales para fabricación	
Cemento	\$ 8.280
Color	\$ 5.760
Aditivos	\$ 1.683
Formaleta	\$ 1.600

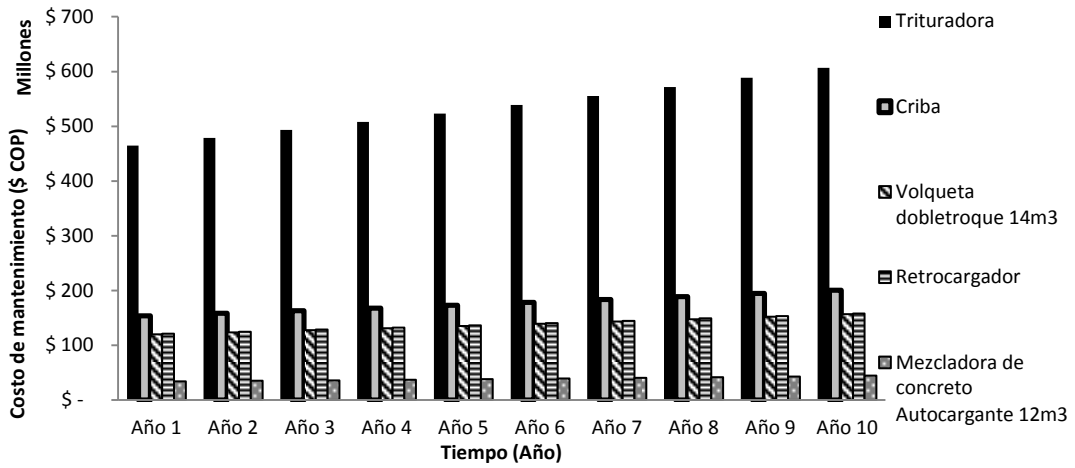


Figura 81. Costo de Mantenimiento- maquinaria (modelo 2).

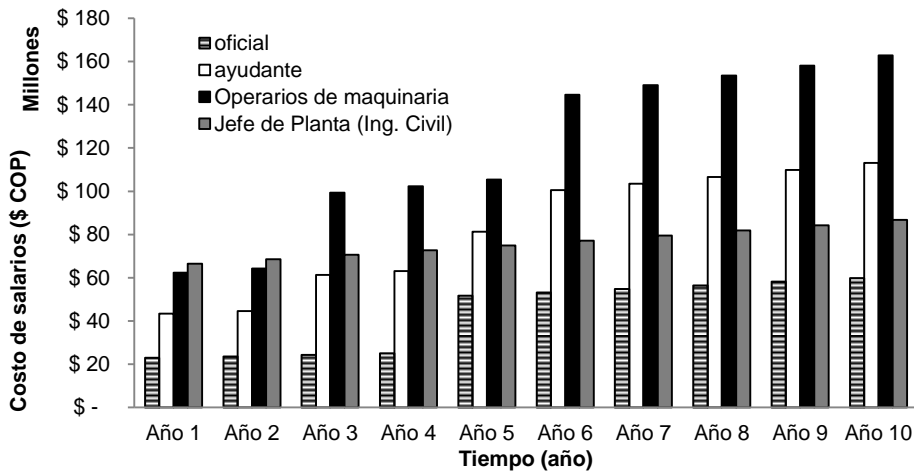


Figura 82. Costo- Salario personal técnico (modelo2)

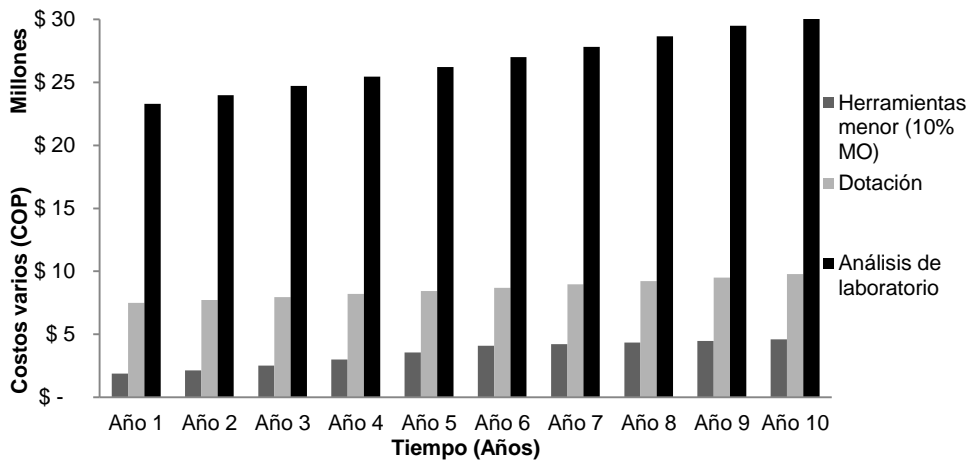


Figura 83. Costos – Varios (modelo 2)

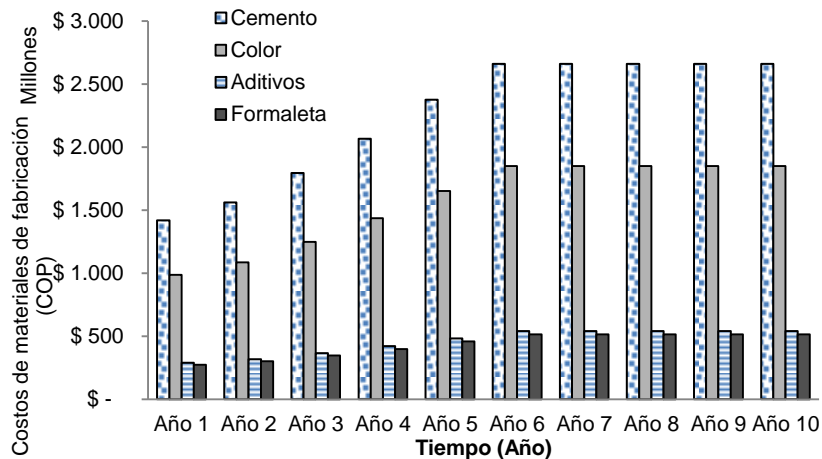


Figura 84. Costo de materiales de fabricación (modelo 2).

Por ser este el modelo adaptado a las empresas como canteras y escombreras y excluye la búsqueda del material desde su origen, su costo directo más elevado corresponde al mantenimiento de la trituradora y criba que son los equipos principales del procesamiento del material. Otro costo importante que podría disminuir respecto a los demás modelos es la adquisición del material RCD, ya que son empresas que poseen un vínculo con las compañías productoras de mencionado material para la disposición de los mismos ó la compra de material natural.

▪ COSTOS INDIRECTOS

La Tabla 39, muestra los costos indirectos unitarios en el año 0, que corresponden a los diversos conceptos. Referidos costos son luego afectados por la el porcentaje de utilización de los mismo, la inflación estimada acumulada para cada año y por la adquisiciones de equipos que mediante el flujo de caja se irán adquiriendo en el tiempo (ver Figura 85).

Tabla 39 Costos indirectos. Modelo "planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD)". Modelo 2

	Inflación
	Inflación Acumulada
COSTOS INDIRECTOS	COSTO UNITARIO
Maquinaria	
Camioneta doblecabina 4x4	\$ 37.016.600
Planta eléctrica 20Kw	\$ 3.534.160
Servicios Públicos	
Agua	\$ 7.200.000
Electricidad	\$ 1.800.000
Teléfono	\$ 1.200.000
Internet	\$ 1.200.000
Celulares (4)	\$ 1.440.000
Radios (3)	\$ 300.000
Personal Indirecto	
Supervisor	\$ 36.000.000
Supervisor HSE y Calidad	\$ 60.000.000
Vigilancia	\$ 19.381.140
Depreciaciones	
Maquinaria	
Trituradora	\$ 94.290.592
Criba	\$ 44.716.848
Volqueta dobletroque 14m3	\$ 27.000.000
Retrocargador	\$ 30.000.000
Mezcladora de concreto Autocargante 12m3	\$ 10.000.000
Camioneta doblecabina 4x4	\$ 9.000.000
Planta eléctrica 20Kw	\$ 2.500.000
Depreciación de Edificación anual	\$ 80.000.000

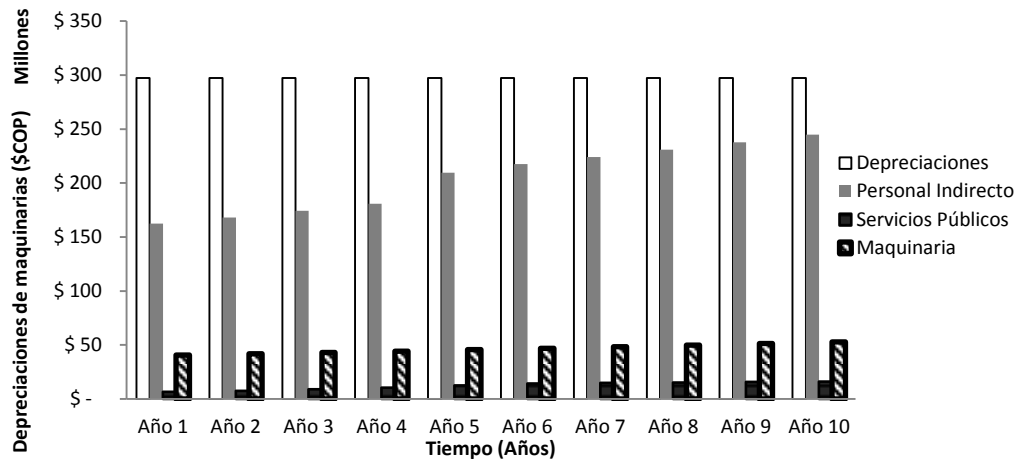


Figura 85. Costos indirectos (modelo 2)

En este modelo dedicado exclusivamente al procesamiento de material RCD, se denota una gran importancia en las depreciaciones de los equipos de trituración y criba (300 millones de pesos anuales) con costos por debajo de los planteados en el modelo 1 por tener menos equipos que depreciar.

▪ GASTOS

El modelo dos (2), conservan los mismo gastos que corresponde al modelo uno (1), los cuales proceden de los diversos conceptos (ver Tabla 40). Referidos gastos son luego afectados por la cantidad de equipos y personal requerido, la inflación acumulada para cada año y por la entrada de otros equipos que mediante el flujo de caja se irán adquiriendo en el tiempo (ver Figura 86).

Tabla 40 Costos unitarios de gastos (Modelo 2)

	Inflación
	Inflación Acumulada
GASTOS ADMINISTRATIVOS	COSTO UNITARIO
Mano de obra indirecta	
Personal Directivo	
Gerente General	\$ 72.000.000
Personal Administrativo	
Abogado	\$ 21.600.000
Contador	\$ 5.760.000

Administrador	\$ 34.560.000
Secretaria	\$ 17.850.000
Aseadora	\$ 14.450.850
Oficina	
Equipos de computación	\$ 10.000.000
Muebles y enseres	\$ 10.000.000
Suministros, papelería, sellos, tinta y gastos	\$ 12.000.000
Servicios Públicos	
Agua	\$ 7.200.000,00
Electricidad	\$ 1.800.000,00
Teléfono	\$ 1.200.000,00
Internet	\$ 1.200.000,00
Celulares (4)	\$ 1.440.000,00
Radios (3)	\$ 300.000,00
Costos de edificación	
Impuestos prediales anual	\$ 12.000.000
ICA	\$ 86.524.483
Constitución de la empresa	\$ 10.000.000
Licencia Ambiental	\$ 10.000.000

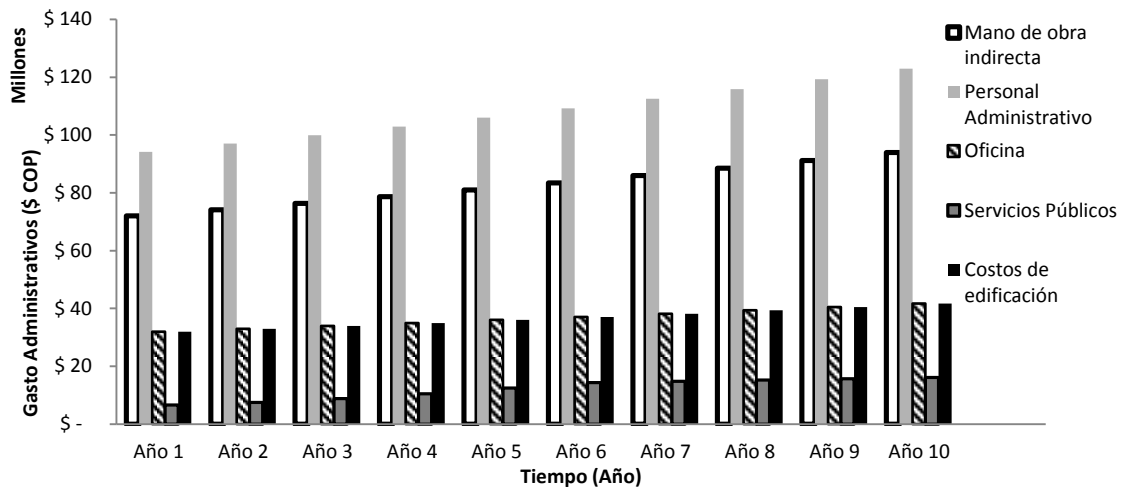


Figura 86. Distribución de gastos. (Modelo 2)

Se presentan altos gastos correspondientes a salarios para personal administrativo con en comparación con los demás gastos. Existe un aumento en el gasto por concepto de gerencia general por la contratación de un personal especializado en los procesos de tratamiento de los materiales reciclados así como también en mercadeo y venta.

EVALUACIÓN FINANCIERA

▪ FLUJO DE CAJA LIBRE

El comportamiento del flujo de caja libre corresponde a todo el dinero entrante por conceptos de ventas menos los costos, gastos, impuestos, depreciaciones, inversiones, sin tomar en cuenta las deudas adquiridas por los acreedores financieros y accionistas Ver Figura 87.

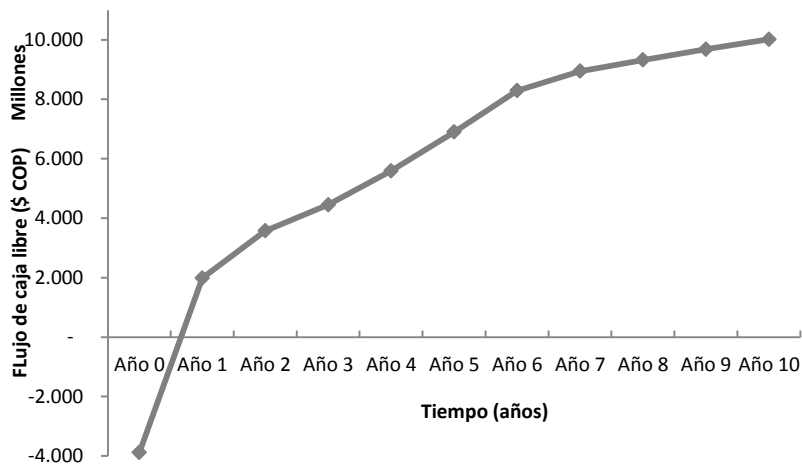


Figura 87. Comportamiento del flujo de caja libre (modelo 2)

Se puede observar que para el año cero (0), se presenta una deuda correspondiente a la primera inversión (\$ 3.885.022.630) para el comienzo del proyecto, luego para los posteriores años se mantiene un crecimiento uniforme en el flujo de caja libre, teniendo en cuenta que para este primer parámetro de evaluación financiera no se toma en cuenta las deudas adquiridas.

El flujo de caja se puede detallar en el anexo 3

▪ FLUJO DE CAJA DE ACCIONISTAS

Corresponde al flujo de caja descontando las deudas adquiridas por acreedores financieros y accionistas. Referidas deudas se realizan mediante dos alternativas:

Bancos (42%) y accionistas o préstamos a terceros (58%) y corresponden a las adquisidores de lote, maquinaria y equipo y construcción; pueden apreciarse en las siguiente tablas (Tabla 41 y Tabla 42) y Figura 88

Tabla 41 Financiación Bancaria (modelo 2).

Créditos	Valor	Desembolso (%)	Desembolso	Tasa efectiva anual (%)	Plazo (meses)	Cuota mensual	Cota Anual (Capital + intereses)
1.Lote	\$ 600.000.000	70%	420.000.000	18%	60	\$ 10.362.829	\$ 124.353.944
2.Construcción	\$ 445.000.000	70%	311.500.000	18%	60	\$ 7.685.765	\$ 92.229.175
3.Maquinaria y equipo	\$ 2.085.074.400	70%	1.459.552.080	18%	60	\$ 36.012.115	\$ 432.145.375

Tabla 42 Financiación por accionista (modelo 2).

Créditos	Valor	Desembolso (%)	Desembolso	Tasa efectiva anual (%)	Plazo (meses)	Cuota mensual	Cota Anual (Capital +Intereses)
Lote, construcción y maquinaria (Restante)	\$ 1.693.970.550	100 %	\$ 1.693.970.550	25%	120	\$35.619.161	\$ 427.429.927

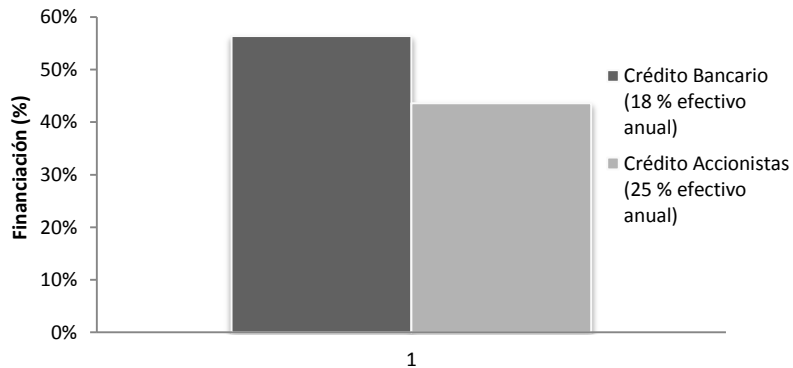


Figura 88. Distribución de financiación del modelo Planta de tratamiento de RCD (modelo 2)

Para la financiación mediante el aporte de capital de accionista o terceros, se asumirá una tasa efectiva de 25% por las tendencias del mercado y los factores de riesgo teniendo en cuenta que es un mercado desconocido. Mencionada tasa se debe a que el modelo dos (2) será una empresa de capital privado, asumido por

inversiones nacional o extranjeras para su funcionamiento. La tasa de financiación bancaria será del 18 % efectivo anual establecido como la tasa de mercado a 2012.

La Figura 89 Muestra la diferencia durante la vigencia del proyecto del flujo de caja sin contar préstamos y el flujo de caja de accionista donde se contemplan los préstamos adquiridos y es por ello que se observa una pequeña disparidad en el comportamiento de las tendencias. El descenso de la curva del flujo de caja de accionista en el año nueve (9) se debe principalmente al pago total de la deuda de capital al prestamos de accionista o terceros (\$ 1.693.970.550).

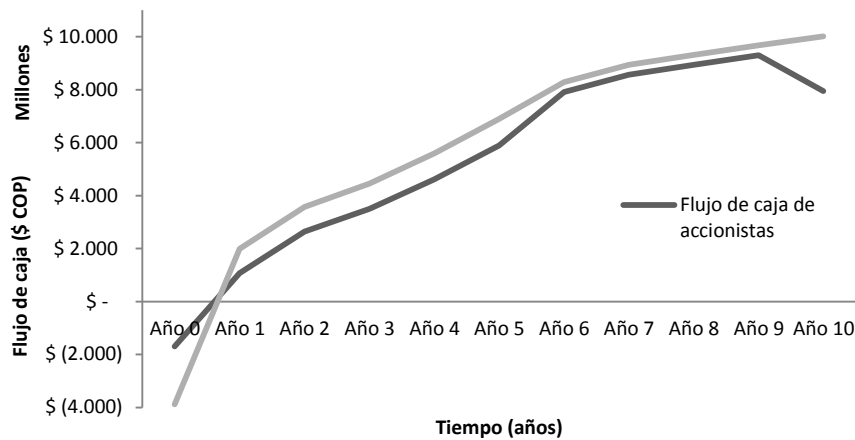


Figura 89. Flujo de caja libre Vs. Flujo de caja de accionistas (Modelo 2)

El flujo de caja de accionistas se puede observar en el anexo 3

▪ ESTADOS FINANCIEROS

El estado financiero con su respectiva comprobación se encuentra detallado en el **Anexo 3**

▪ VALOR PRESENTE NETO (VPN) Y TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Para la formulación de estos dos criterios se tomaron en cuenta un costo de oportunidad de mercado accionario de riesgo medio al 25 %, dando como resultados los siguientes parámetros:

VPN= \$ 11.836.691.446 > 0, quiere decir que el proyecto rinde a una tasa superior al costo del capital, por lo tanto agrega valor.

TIR= 35,2%. Representa una característica del proyecto y no del inversionista, ello se debe a que es la rentabilidad que ganan los fondos que permanecen invertidos en el proyecto.

▪ COSTO DE CAPITAL (Weighted Average Cost of Capital (WACC))

La tasa real a la cual se financia la inversión, sin discriminar préstamos bancarios y accionistas es de un promedio de 24,2%, y se puede observar las diversas tendencias que sufre durante la vida útil del proyecto mediante la Figura 90

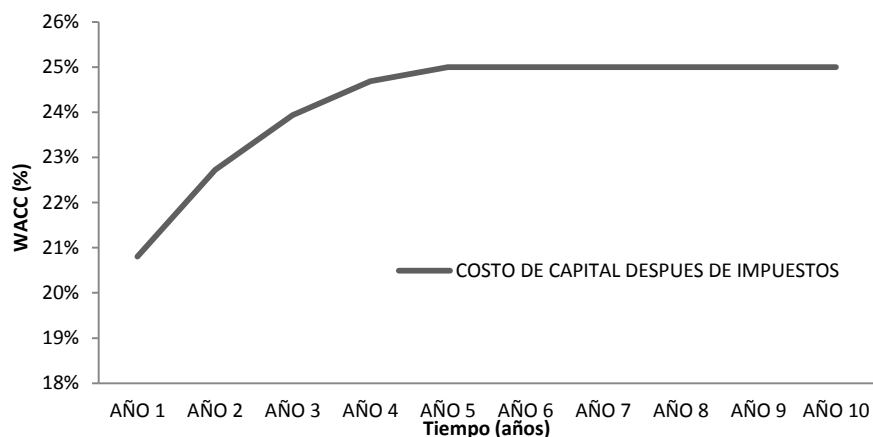


Figura 90. Costo de capital después de impuestos (WACC). Modelo 2

Los primero 4 años pagamos la cuota total bancaria (interés y capital, e interés sin abonar a capital de los accionistas. A partir del año 5, la tendencia a la curva se regulariza y se mantiene a razón constante del 25%, causado por el pago del

préstamo bancario. No se repartieron dividendos, quedando el patrimonio como utilidad retenida dentro del análisis contable, diferente al análisis del mercado en donde la participación del patrimonio obedece a su valor bursátil.

Con la tasa real a la cual se financia la inversión, se halló un valor presente neto (VPN) real ajustado a las condiciones financieras establecidas durante toda la vida útil del proyecto, el cual puede observarse en la Figura 91:

VALOR PRESENTE DE LOS FLUJOS FUTUROS		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Periodo	Año ==>	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5	ANO 6	ANO 7	ANO 8	ANO 9	ANO 10
Flujo de Caja Libre Operacional		2.561.373.779	3.261.394.849	4.269.474.245	5.503.446.710	6.923.896.164	8.355.255.809	8.744.561.285	9.116.960.857	9.474.849.440	9.805.583.815
Valor presente de los flujo en el año 0	Año 0		2.657.429.652	2.807.001.744	2.901.849.933	2.920.658.079	2.819.550.704	2.360.740.065	1.969.020.429	1.637.051.855	1.355.356.560
Valor presente de los flujo en el año 1	Año 1			3.444.960.819	3.561.365.553	3.584.448.305	3.460.361.833	2.897.275.373	2.416.527.971	2.009.111.505	1.663.394.137
Valor presente de los flujo en el año 2	Año 2				4.413.739.171	4.442.346.525	4.288.561.322	3.590.706.321	2.994.897.323	2.489.970.214	2.061.509.202
Valor presente de los flujo en el año 3	Año 3					5.539.116.931	5.347.363.718	4.477.215.378	3.734.307.167	3.104.718.664	2.570.474.964
Valor presente de los flujo en el año 4	Año 4						6.684.204.647	5.596.519.222	4.667.883.959	3.880.898.331	3.213.093.705
Valor presente de los flujo en el año 5	Año 5							6.995.649.028	5.834.854.949	4.851.122.913	4.016.367.131
Valor presente de los flujo en el año 6	Año 6								7.293.568.686	6.063.903.641	5.020.458.913
Valor presente de los flujo en el año 7	Año 7									7.579.879.552	6.275.573.642
Valor presente de los flujo en el año 8	Año 8										7.844.467.052
Valor presente de los flujo en el año 9	Año 9										
Valor presente de los flujo en el año 10	Año 10										

Figura 91. Valor presente de los flujos futuros.

Con los valores de los flujos futuros afectado por la tasa real de financiación (WACC), se halló un valor presente neto (VPN), que refleja las condiciones reales del proyecto, dando como resultado un VPN ajustado de \$ 17.543.636.390

▪ **VALOR ECONÓMICO AGREGADO (EVA):**

Con este indicador que es afectado por la tasa real de financiación (WACC), se puede evidenciar que el proyecto genera valor durante su vida útil y puede apreciarse en la Figura 92.

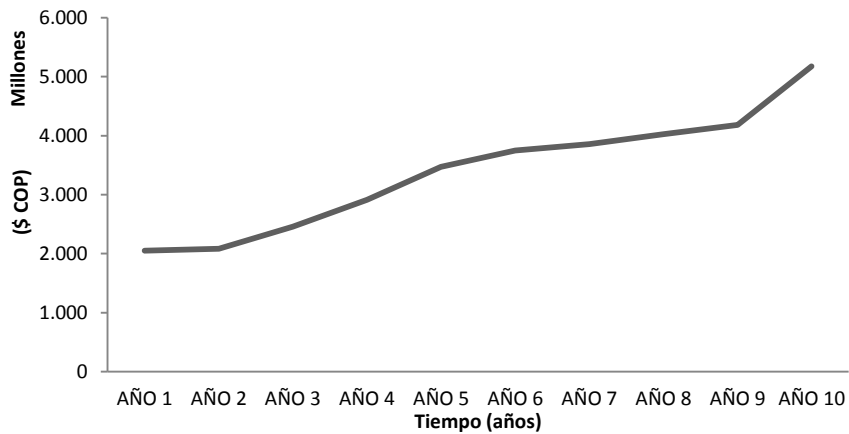


Figura 92. Comportamiento del valor económico agregado (EVA). Modelo 2

La variación del EVA muestra un incremento en la generación de valor por parte del proyecto; se observa un crecimiento sostenido en los primeros cuatros (4) años ya que se está amortizando todos los créditos bancarios adquiridos. Luego la variación del EVA se mantiene con un crecimiento promedio del 7% hasta llegar al año nueve (9) donde se realiza la cancelación del capital invertido por los accionistas ver Figura 93).

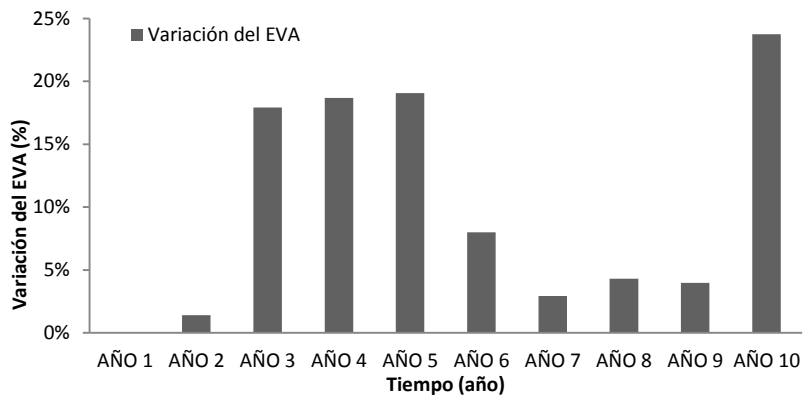


Figura 93. Variación del EVA. Modelo 2

▪ **RELACIÓN BENEFICIO / COSTO (B/C)**

Se calculó el costo de deuda establecido para el año cero (0) en \$3.885.022.630 y un beneficio a valor presente mediante la tasa real de financiación (WACC) de \$23.990.032.799, dando como resultado un B/C de 6,18; el cual se evidencia que el proyecto es viable económicamente (ver Figura 94)

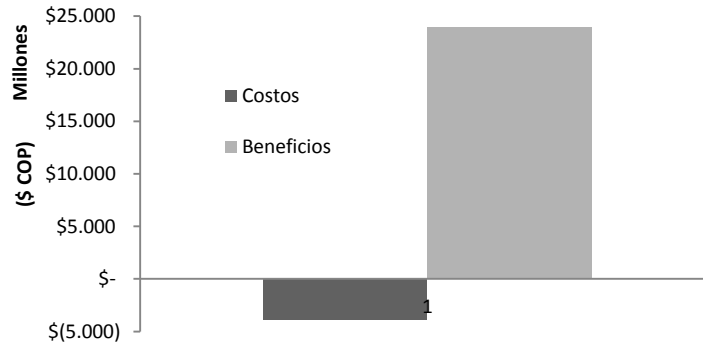


Figura 94. Costos y beneficios a valor presente. Modelo 2

▪ **PAYBACK (PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN)**

El proyecto analizado muestra un periodo de recuperación de la inversión en tres (3), años, lo cual corresponde a los inicios del proyecto, garantizando utilidades a partir de este año (Figura 95)

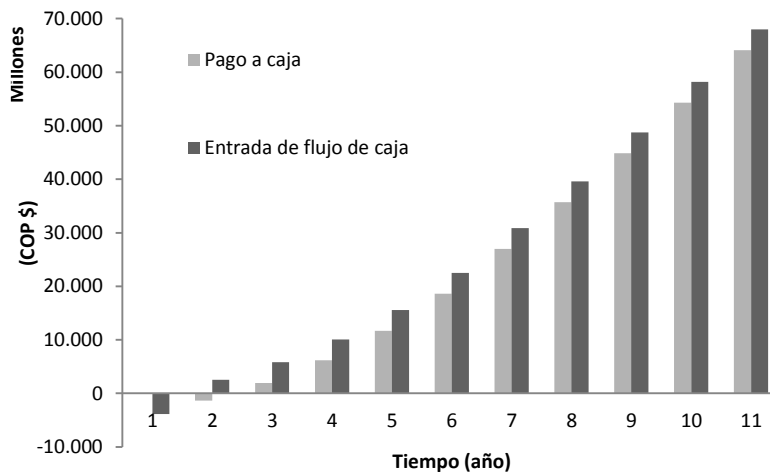


Figura 95. Payback (Periodo de recuperación de la inversión. Modelo 2)

▪ ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Los análisis de sensibilidad serán tomados bajo dos (2) parámetros:

DESCUENTOS EN PRECIOS DE VENTA

Hasta un veinte por ciento (20%) de descuentos sobre los productos de venta (ver Tabla 43).

Tabla 43. Valores de los descuentos límites que permite el proyecto

INGRESOS	Precio unitario	Descuento (%)	Total descuento	Total Costo unitario	% de producción Total	Producción
1.Material Reciclado para Subbases	\$ 50.635	20%	\$ 10.127	\$ 40.508	45%	46.350 m3
2.Material Reciclado para Bases	\$ 55.575	20%	\$ 11.115	\$ 44.460	21%	21.630 m3
3.Material Reciclado para Concretos	\$ 26.600	20%	\$ 5.320	\$ 21.280	24%	24.720 m3
4.Loseta Toperol 0,4m*0,4m*0,06m	\$ 27.717	20%	\$ 5.543	\$ 22.173	10%	171.392 m2

Con este descuento otorgado, el proyecto genera un VPN de \$ 6.083.301.883 y una rentabilidad (TIR) de 27 %; Su comportamiento financiero puede apreciarse mediante la siguiente Figura 96

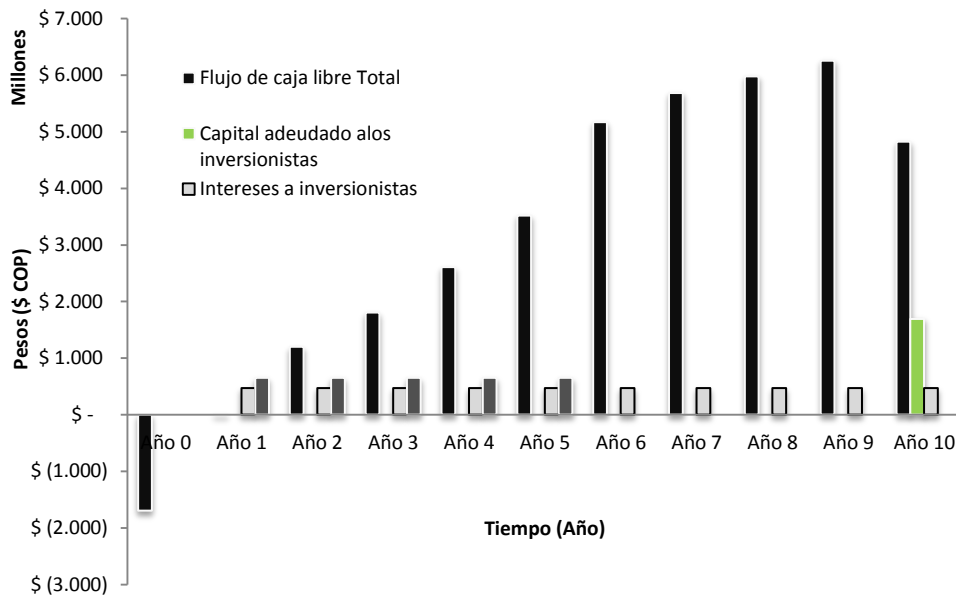


Figura 96. Interés (bancos + accionista) Vs Flujo de caja libre (Modelo 2).

TASA MÁXIMA DEBIDO A RIESGO

La tasa máxima debido a riesgo será del 32% para que el proyecto genere un VPN positivo de \$ 3.954.784.615 y una rentabilidad (TIR) de 28 %.

5.1.3 **MODELO 3: “PLANTA DE TRATAMIENTO Y FABRICACIÓN DE CONCRETO Y PRE-FABRICADOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)”**

Al igual que el modelo anterior (modelo 2), considera la implementación de una planta de tratamientos de RCD, contemplando la gestión a partir de la entrada del residuo en la planta, excluyendo todo lo que se refiere a la clasificación y transporte previo. Mencionadas plantas también cuentan con un tratamiento previo para separar el material no pétreo (Madera, Vidrio, metal, Plástico) para luego tratar el material pétreo (concretos) para su puesta en venta como material para bases, subbases, material para concretos y la creación de losetas peatonales permeables (Ver Figura 97). Este modelo de negocio se adapta para la creación de una subsidiaria de una empresas ya establecida perteneciente al rubro de fabricación de cemento y prefabricados. Mencionado modelo contempla además incentivos monetarios (reducción del costo de disposición) a las empresas que generen RCD y sean llevados hasta el sitio de tratamiento, además si mencionadas empresas lo transportan previamente separados el costo de disposición podría ser nulo.

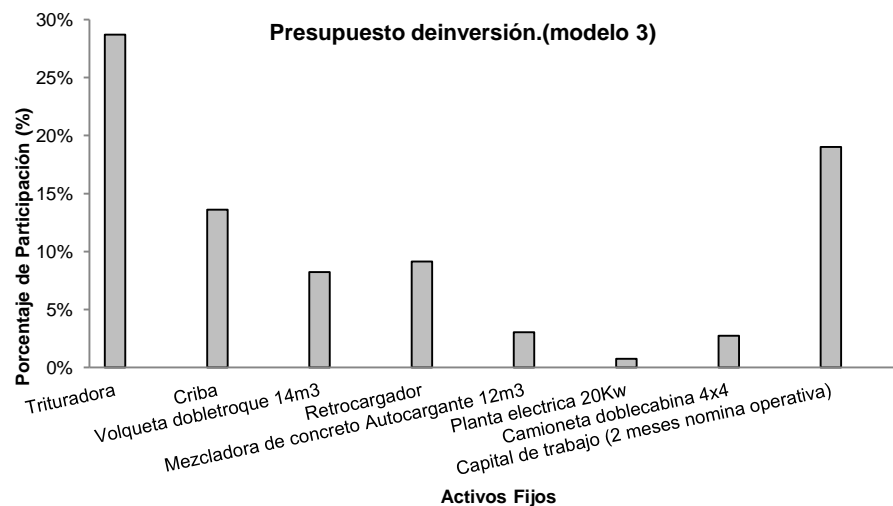


Figura 97. Proceso de Tratamiento de un modelo de planta de tratamiento y fabricación de concreto y pre-fabricados de residuos de construcción y demolición (RCD)

▪ **PRESUPUESTO DE INVERSIÓN**

La inversión principal para este modelo corresponde a toda la maquinaria necesaria para la transformación de material RCD. Siendo este un modelo ajustado a empresas ya establecidas en el rubro de concretos y prefabricados, se necesitará de la compra de un lote para llevar a cabo el tratamiento del material que permitan un adecuado

funcionamiento de la planta sin interferir la producción existente, por lo cual la inversión en este tipo de adecuaciones será muy representativa. Así mismo, una vez adecuada la zona de trabajos se contempla un capital de trabajo (2 meses) para asegurar que ante alguna eventualidad ó dificultad de entrada del material al mercado, se haya contemplado el no cese de las actividades. Con este modelo se puede llegar a disminuir la inversión hasta en un 30%, con lo cual se aumenta la posibilidad de obtener inversionistas (ver Figura 98):



Presupuesto de inversión	Monto	Participación
Activos fijos	\$ 3.027.574.400	82,44%
Diferidos	\$ 20.000.000	0,54%
Capital de trabajo	\$ 624.948.230	17,02%
Total	\$ 3.672.522.630	100,00%

Figura 98. Presupuesto de inversión. Modelo "planta de tratamiento y fabricación de concreto y pre-fabricados de residuos de construcción y demolición (RCD). Modelo 3"

El presupuesto de inversión se puede detallar en el Anexo 3

▪ **INGRESOS POR VENTAS**

Los ingresos corresponden sólo a las ventas de losetas y materiales para concretos, por ser este un modelo adaptado para las empresas de prefabricados y concretos. Se venderán cerca de 1 millón de losetas anuales, que corresponde al 10% del mercado local de la ciudad Bogotá (ver Tabla 44 y Figura 99).

Tabla 44. Producción de material para ventas al público.

INGRESOS	PRECIO UNITARIO	% DE PRODUCCIÓN TOTAL	Producción (M3/Año)
			ICCP
			ICCP ACUMULADO
Material Reciclado Para Concretos	\$ 26.600	90%	92.700 m3
Loseta Toperol 0,4m*0,4m*0,06m	\$ 27.717	10%	171.392 m2

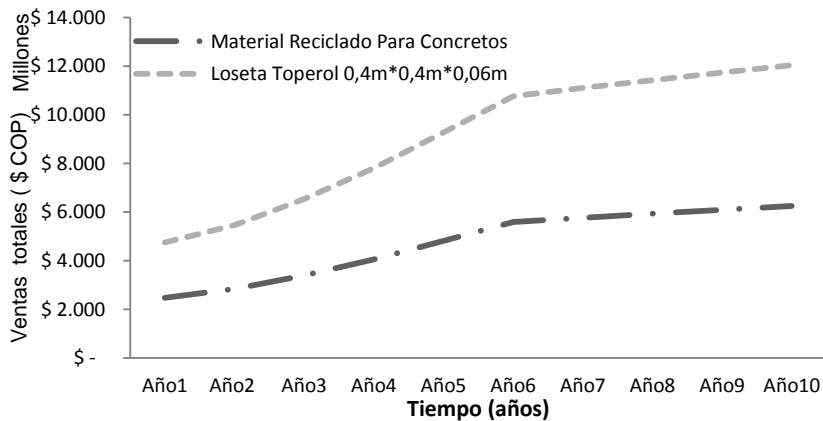


Figura 99. Ingresos por ventas. Modelo 3

▪ COSTOS DIRECTOS

La Tabla 45, muestra los costos unitarios en el año cero (0), para los diversos conceptos de gastos directos de la empresa. Mencionados costos son luego afectados por la cantidad de equipos y personal requerido de acuerdo a la producción, la inflación y por el ingreso de equipos adicionales que se adquirirán en el tiempo mediante el flujo de caja positivo (ver Figura 100, Figura 101, Figura 102 y Figura 103).

Tabla 45 Costos directos. Modelo “Planta de tratamiento y fabricación de concreto y pre-fabricados de residuos de construcción y demolición (RCD)”

COSTOS	Inflación
	Inflación Acumulada
	COSTO UNITARIO
Maquinaria mantenimiento	
Trituradora	\$ 464.894.248
Criba	\$ 153.690.012
Volqueta dobletroque 14m3	\$ 119.983.200
Retrocargador	\$ 121.177.600
Mezcladora de concreto Autocargante 12m3	\$ 33.916.600
Mano de Obra directa	
Personal Técnico	
oficial	\$ 22.950.000
ayudante	\$ 14.450.850
Operarios de maquinaria	\$ 31.200.000
Jefe de Planta (Ing. Civil)	\$ 66.560.000
Varios	
Herramientas menor (10% MO)	\$ 3.740.085
Dotación	\$ 7.500.000
Análisis de laboratorio	\$ 23.295.000
Materiales para fabricación	
Cemento	\$ 8.280
Color	\$ 5.760
Aditivos	\$ 1.683
Formaleta	\$ 1.600

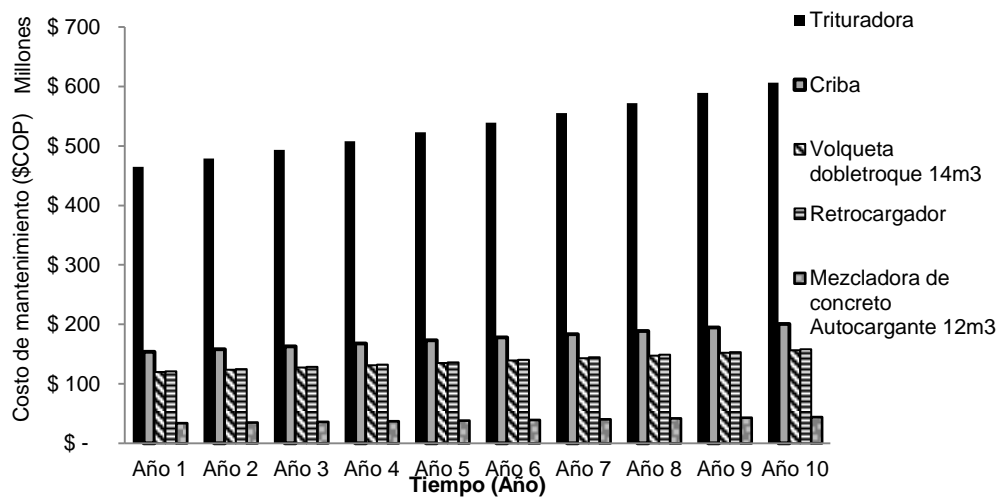


Figura 100. Costo de Mantenimiento- maquinaria (modelo 3).

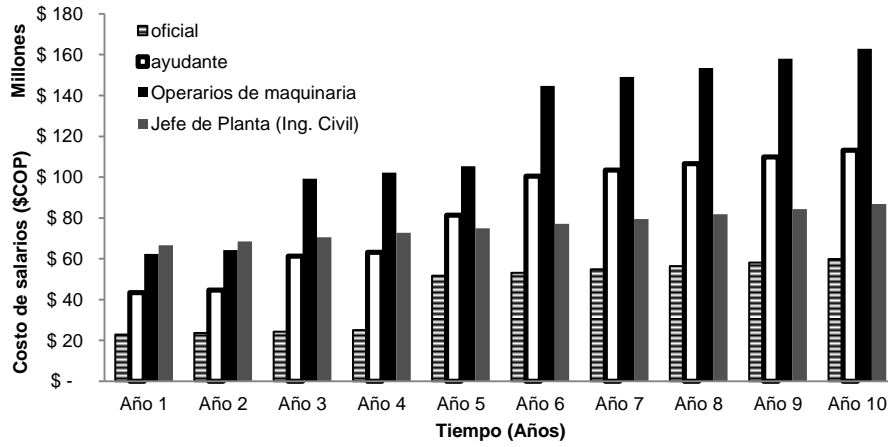


Figura 101. Costo- Salario personal técnico (modelo3)

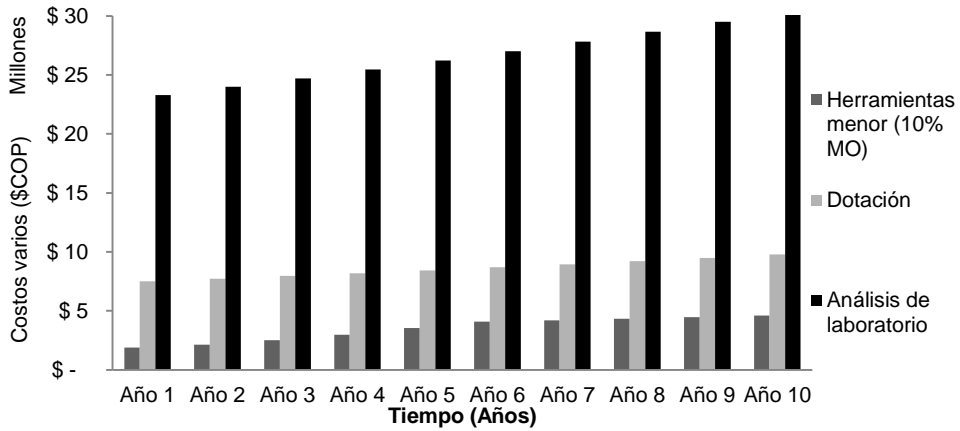


Figura 102. Costos – Varios (modelo 3)

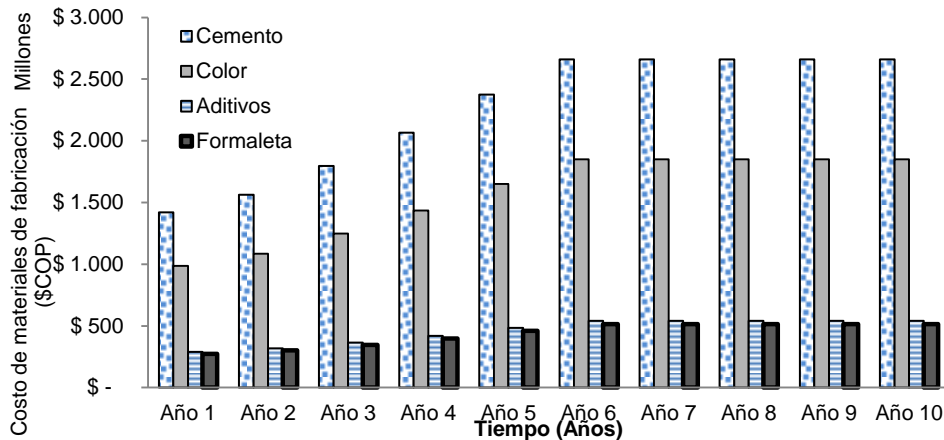


Figura 103. Costo de materiales de fabricación (modelo 3).

Por ser este el modelo adaptado a las empresas productoras de cemento y prefabricado y adicionalmente prescinde de la búsqueda del material desde su origen, su costo directo más elevado corresponde al mantenimiento de la trituradora y criba que son los equipos principales del procesamiento del material. Otro costo importante y que podría disminuir respecto a los demás modelos es la compra de cemento, ya que este modelo contempla una subsidiaria de empresas que generan o adquiere al mayor material cementante.

▪ COSTOS INDIRECTOS

La Tabla 46, muestra los costos indirectos unitarios en el año 0, que corresponden a los diversos conceptos de gastos de depreciaciones de equipos. Referidos costos son luego afectados por la el porcentaje de utilización de los mismo, la inflación estimada acumulada para cada año y por la adquisiciones de equipos que mediante el flujo de caja se irán adquiriendo en el tiempo (ver Figura 104).

Tabla 46 Costos indirectos. Modelo “planta de tratamiento y fabricación de concreto y pre-fabricados de residuos de construcción y demolición (RCD)” Modelo 3

	Inflación
	Inflación Acumulada
COSTOS INDIRECTOS	COSTO UNITARIO
Maquinaria	
Camioneta doblecabina 4x4	\$ 37.016.600
Planta eléctrica 20Kw	\$ 3.534.160
Servicios Públicos	
Agua	\$ 7.200.000
Electricidad	\$ 1.800.000
Teléfono	\$ 1.200.000
Internet	\$ 1.200.000
Celulares (4)	\$ 1.440.000
Radios (7)	\$ 700.000
Personal Indirecto	
Supervisor	\$ 36.000.000
Supervisor HSE y Calidad	\$ 60.000.000
Vigilancia	\$ 19.381.140
Depreciaciones	
Maquinaria	
Trituradora	\$ 122.577.770
Criba	\$ 58.131.902
Volqueta dobletroque 14m3	\$ 35.100.000
Retrocargador	\$ 39.000.000
Mezcladora de concreto Autocargante 12m3	\$ 13.000.000
Camioneta doblecabina 4x4	\$ 11.700.000
Planta eléctrica 20Kw	\$ 3.250.000
Depreciación de Edificación anual	\$ 70.000.000,00

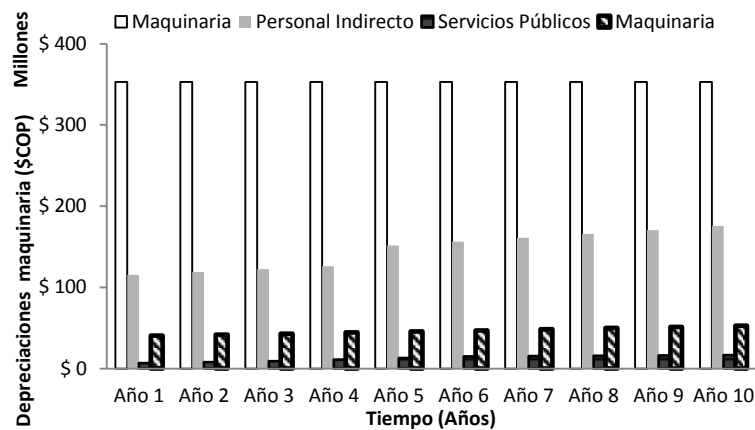


Figura 104. Costos indirectos (modelo 3)

Los costos de este modelo son similares a modelo 2 (planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD)), solo que se tiene en cuenta en menor medida los costos asociados por una menor inversión en las edificaciones requeridas para el procesamiento de RCD.

▪ GASTOS

El modelo tres (3), presenta una inversión por concepto de edificación menor, esto debido a que genera un gasto por concepto de impuesto prediales inferior a los anteriores modelos. Respecto a los otros gastos (personal, oficina y servicios públicos) se mantienen iguales a los demás modelos. (Ver Tabla 47 y Figura 105) a continuación:

Tabla 47. Costo unitario de gastos (modelo 3)

	Inflación Inflación Acumulada
GASTOS ADMINISTRATIVOS	COSTO UNITARIO
Mano de obra indirecta	
Personal Directivo	
Gerente General	\$ 72.000.000
Personal Administrativo	
Abogado	\$ 21.600.000
Contador	\$ 5.760.000
Administrador	\$ 34.560.000
Secretaria	\$ 17.850.000
Aseadora	\$ 14.450.850
Oficina	
Equipos de computación	\$ 10.000.000
Muebles y enseres	\$ 10.000.000
Suministros, papelería, sellos, tinta y gastos	\$ 12.000.000
Servicios Públicos	
Agua	\$ 7.200.000
Electricidad	\$ 1.800.000
Teléfono	\$ 1.200.000
Internet	\$ 1.200.000
Celulares (4)	\$ 1.440.000
Radios (7)	\$ 700.000
Costos de edificación	
Impuestos prediales anual	\$ 10.500.000
ICA	\$ 69.708.823
Constitución de la empresa	\$ 10.000.000
Licencia Ambiental	\$ 10.000.000

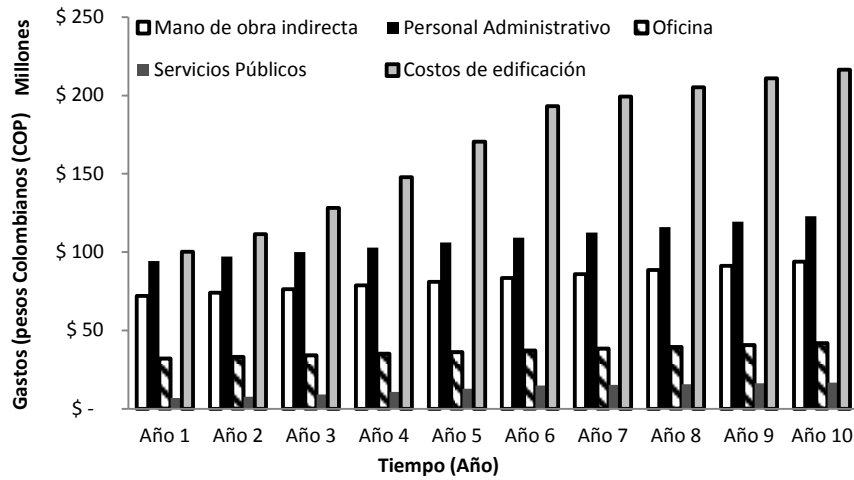


Figura 105. Distribución de gasto (modelo 3)

EVALUACIÓN FINANCIERA

FLUJO DE CAJA LIBRE

El comportamiento del flujo de caja libre corresponde a todo el dinero entrante por conceptos de ventas menos los costos, gastos, impuestos, depreciaciones, inversiones, sin tomar en cuenta las deudas adquiridas por los acreedores financieros y accionistas Ver Figura 106.

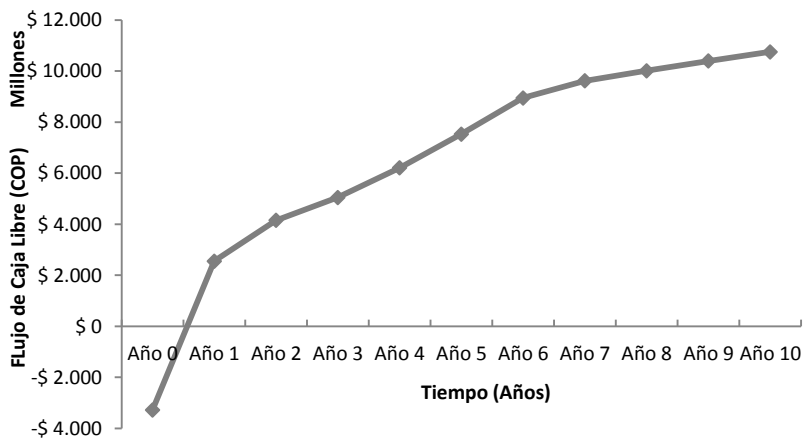


Figura 106. Comportamiento del flujo de caja libre. Modelo 3

Se puede observar que para el año cero (0), se presenta una deuda correspondiente a la primera inversión \$ 3.672.522.630 para el comienzo del proyecto, luego para los posteriores años se mantiene un crecimiento uniforme en el flujo de caja libre, teniendo en cuenta que para este primer parámetro de evaluación financiera no se toma en cuenta las deudas adquiridas.

El flujo de caja se puede detallar en el anexo 4

▪ **FLUJO DE CAJA DE ACCIONISTAS**

Corresponde al flujo de caja descontando las deudas adquiridas por acreedores financieros y accionistas. Referidas deudas se realizan mediante dos alternativas: Bancos (56%) y accionistas o préstamos a terceros (44%) y corresponden a los adquirentes de lote, maquinaria y equipo y construcción; pueden apreciarse en las siguientes tablas (Tabla 48 y Tabla 49) y Figura 107

Tabla 48 Financiación Bancaria (modelo 3).

Créditos	Valor	Desembolso (%)	Desembolso	Tasa (%)	Plazo (meses)	Cuota mensual	Cota Anual (Capital +Intereses)
1.Lote	\$ 600.000.000	70%	\$ 420.000.000	18%	60	\$ 10.362.829	\$ 124.353.944
2.Construcción	\$ 232.500.000	70%	\$ 162.750.000	18%	60	\$ 4.015.596	\$ 48.187.153
3. Maquinaria y equipo	\$ 2.085.074.400	70%	\$ 1.459.552.080	18%	60	\$ 36.012.115	\$ 432.145.375

Tabla 49 Financiación por accionista (modelo 3).

Créditos	Valor	Desembolso (%)	Desembolso	Tasa efectiva anual (%)	Plazo (meses)	Cuota mensual	Cota Anual (Capital +Intereses)
Lote, construcción y maquinaria (Restante)	\$ 1.630.220.550	100	\$ 1.630.220.550	25%	60	45.511.128	546.133.538

Para la financiación mediante el aporte de capital de accionista o terceros, se asumirá una tasa efectiva de 25% por las tendencias del mercado y los factores de riesgo teniendo en cuenta que es un mercado desconocido y un plazo de pago de sesenta (60) días. Mencionada tasa se debe a que el modelo tres (3) será una empresa de capital privado, asumido por inversiones nacional o extranjeras para su funcionamiento. La tasa de financiación bancaria será del 18 % efectivo anual establecido como la tasa de mercado a 2012.

La Figura 107 muestra la diferencia durante la vigencia del proyecto del flujo de caja sin contar préstamos y el flujo de caja de accionista donde se contemplan los préstamos adquiridos y es por ello que se observa una pequeña disparidad en el comportamiento de las tendencias. El descenso de la curva del flujo de caja de accionista en el año nueve (9) se debe principalmente al pago total de la deuda de capital al prestamos de accionista o terceros (\$1.630.220.550).

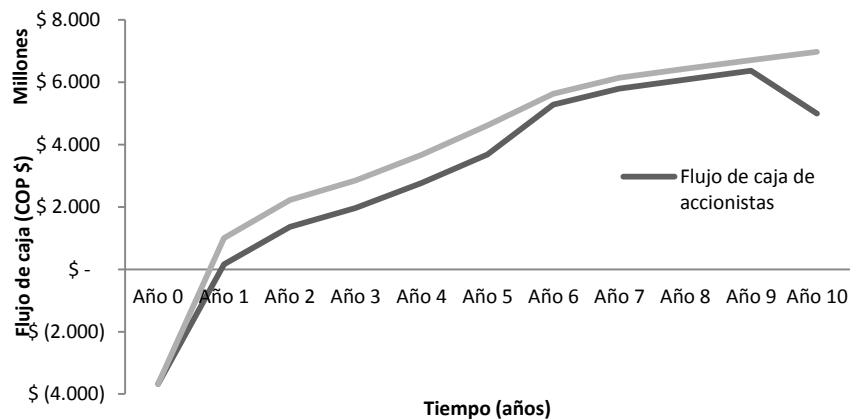


Figura 107. Flujo de caja libre Vs. Flujo de caja de accionistas. Modelo 3

El flujo de caja de accionistas se puede detallar en el anexo 4

▪ ESTADOS FINANCIEROS

El estado financiero con su respectiva comprobación se encuentra detallado en el **Anexo 4**

▪ VALOR PRESENTE NETO (VPN) Y TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Para la formulación de estos dos criterios se tomaron en cuenta un costo de oportunidad de mercado accionario de riesgo medio al 25 %, dando como resultados los siguientes parámetros:

VPN= \$ 6.337.759.344 > 0, quiere decir que el proyecto rinde a una tasa superior al costo del capital, por lo tanto agrega valor.

TIR= 27,9%. Representa una característica del proyecto y no del inversionista, ello se debe a que es la rentabilidad que ganan los fondos que permanecen invertidos en el proyecto.

▪ COSTO DE CAPITAL (Weighted Average Cost of Capital (WACC))

La tasa real a la cual se financia la inversión, sin discriminar préstamos bancarios y accionistas es de un promedio de 15,7%, y se puede observar las diversas tendencias que sufre durante la vida útil del proyecto mediante la Figura 108.

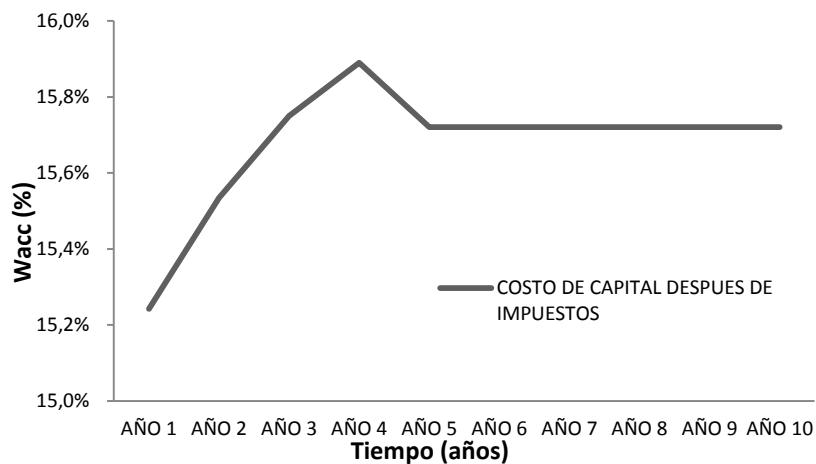


Figura 108. Costo de capital después de impuestos (WACC). Modelo 3

Los primero 4 años pagamos la cuota total bancaria (interés y capital, e interés sin abonar a capital de los accionistas. A partir del año 5, la tendencia a la curva se regulariza y se mantiene a razón constante del 15,8 %, causado por el pago del préstamo bancario. No se repartieron dividendos, quedando el patrimonio como utilidad retenida dentro del análisis contable, diferente al análisis del mercado en donde la participación del patrimonio obedece a su valor bursátil.

Con la tasa real a la cual se financia la inversión, se halló un valor presente neto (VPN) real ajustado a las condiciones financieras establecidas durante toda la vida útil del proyecto, el cual puede observarse en la Figura 109:

VALOR PRESENTE DE LOS FLUJOS FUTUROS		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Periodo	Año ==>	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5	ANO 6	ANO 7	ANO 8	ANO 9	ANO 10
Flujo de Caja Libre Operacional		1.327.659.277	1.844.539.440	2.575.049.639	3.482.979.508	4.520.531.907	5.572.178.819	5.874.888.826	6.163.872.918	6.441.034.811	6.696.279.513
Valor presente de los flujo en el año 0	Año 0		1.596.532.147	1.925.544.616	2.247.375.405	2.520.602.907	2.684.912.447	2.446.216.692	2.217.885.584	2.002.771.016	1.799.282.741
Valor presente de los flujo en el año 1	Año 1			2.224.661.115	2.596.485.500	2.912.156.502	3.101.990.091	2.826.215.039	2.562.414.694	2.313.883.960	2.078.785.563
Valor presente de los flujo en el año 2	Año 2				3.005.437.100	3.370.826.909	3.590.559.664	3.271.349.496	2.966.000.074	2.678.325.259	2.406.198.400
Valor presente de los flujo en el año 3	Año 3					3.906.427.138	4.161.073.852	3.791.143.477	3.437.276.222	3.103.891.941	2.788.526.074
Valor presente de los flujo en el año 4	Año 4						4.815.210.024	4.387.125.229	3.977.628.734	3.591.835.214	3.226.892.669
Valor presente de los flujo en el año 5	Año 5							5.076.797.513	4.602.926.657	4.156.484.971	3.734.172.111
Valor presente de los flujo en el año 6	Año 6								5.326.523.722	4.809.899.754	4.321.197.753
Valor presente de los flujo en el año 7	Año 7									5.566.033.755	5.000.505.995
Valor presente de los flujo en el año 8	Año 8										5.786.604.000
Valor presente de los flujo en el año 9	Año 9										
Valor presente de los flujo en el año 10	Año 10										

Figura 109. Valor presente de los flujos futuros

Con los valores de los flujos futuros afectado por la tasa real de financiación (WACC), se halló un valor presente neto (VPN), que refleja las condiciones reales del proyecto, dando como resultado un VPN ajustado de \$ 15.768.600.926

▪ VALOR ECONÓMICO AGREGADO (EVA)

Con este indicador que es afectado por la tasa real de financiación (WACC), se puede evidenciar que el proyecto genera valor durante su vida útil y puede apreciarse en la Figura 110

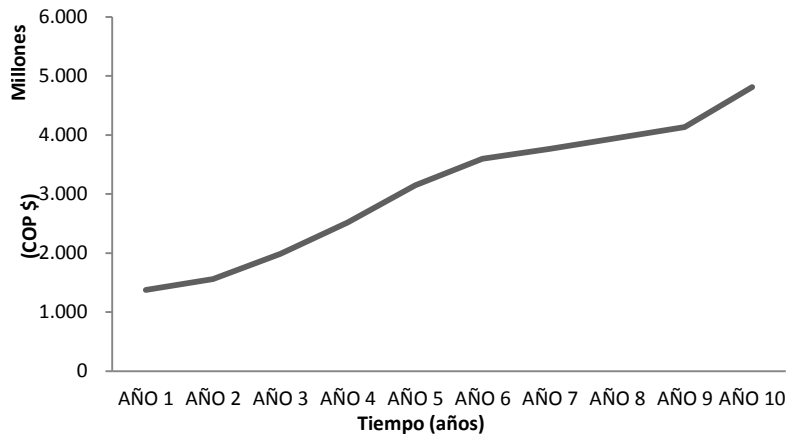


Figura 110. Comportamiento del valor económico agregado (EVA). Modelo 3

La variación del EVA muestra un incremento en la generación de valor por parte del proyecto; se observa un crecimiento sostenido en los primeros cuatros (4) años ya que se está amortizando todos los créditos bancarios adquiridos. Luego la variación del EVA se mantiene con un crecimiento promedio del 5 % hasta llegar al año nueve (9) donde se realiza la cancelación del capital invertido por los accionistas (Figura 111).

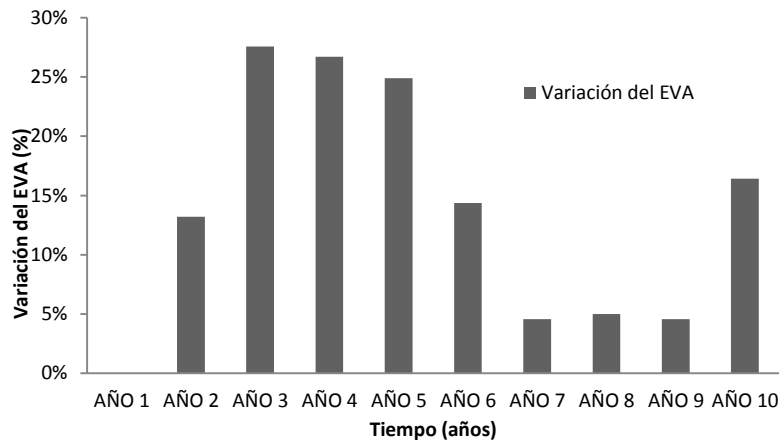


Figura 111. Variación del EVA. Modelo 3

▪ **RELACIÓN BENEFICIO / COSTO (B/C)**

Se calculó el costo de deuda establecido para el año cero (0) en \$ 3.672.522.630 y un beneficio a valor presente mediante la tasa real de financiación (WACC) de \$20.768.782.833 , dando como resultado un B/C de 5,66; el cual se evidencia que el proyecto es viable económicamente (ver Figura 112).

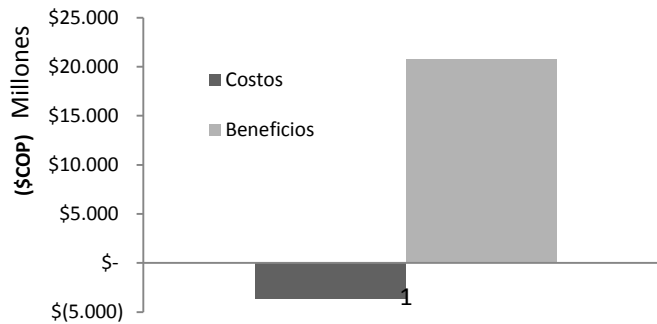


Figura 112. Costos y beneficios a valor presente. Modelo 3.

▪ **PAYBACK (PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN)**

El proyecto analizado muestra un periodo de recuperación de la inversión en tres (3), años, lo cual corresponde a los inicios del proyecto, garantizando utilidades a partir de este año (Ver Figura 113)

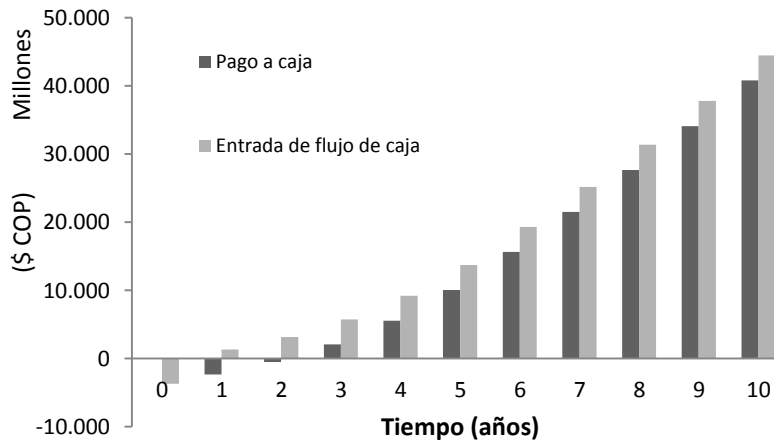


Figura 113. Payback (Periodo de recuperación de la inversión). Modelo 3

▪ ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Los análisis de sensibilidad serán tomados bajo dos (2) parámetros:

DESCUENTOS EN PRECIOS DE VENTA

Hasta un cinco por ciento (4%) de descuentos sobre los productos de venta (ver Tabla 50)

Tabla 50. Valores de los descuentos límites que permite el proyecto

INGRESOS	Precio unitario	Descuento (%)	Total descuento	Total Costo unitario	% de producción Total	Producción
1.Material Reciclado Para Concretos	\$ 26.600	4%	\$ 1.064	\$ 25.536	90%	92.700 m3
2.Loseta Toperol 0,4m*0,4m*0,06m	\$ 27.717	4%	\$ 1.109	\$ 26.608	10%	171.392 m2

Con este descuento otorgado, el proyecto genera un VPN de \$ 5.420.123.748 y una rentabilidad (TIR) de 26 %; Su comportamiento financiero puede apreciarse mediante la siguiente Figura 114

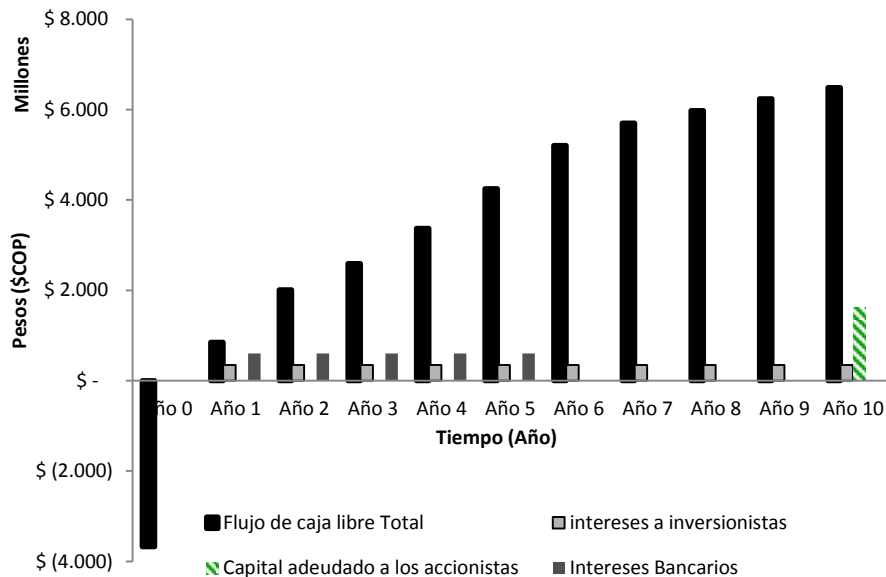


Figura 114. Interés (Bancos + accionistas) Vs flujo de caja libre. Modelo 3

TASA MÁXIMA DEBIDO A RIESGO

La tasa máxima debido a riesgo será del 32 % para que el proyecto genere un VPN positivo de \$ 3.954.784.615 y una rentabilidad (TIR) de 23 %.

5.2 COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA TOMA DE DECISIÓN:

El flujo de caja libre total de los tres modelos propuestos, luego de cancelar impuestos y deudas (banco y accionistas), se puede contemplar en la Figura 115; Se puede observar que el modelo dos (2) posee para el año (0), una inversión menos cuantiosa que los demás modelos, conjuntamente su proyección financiera en el tiempo permanece por encima de los otros modelos, generando un óptimo flujo de caja libre total durante la vida útil del proyecto. Cabe destacar que los tres modelos sólo presenta un déficit en el flujo de caja libre total en el año cero (0), esto debido a las inversiones necesarias para comenzar a funcionar cada modelo de empresa. Adicionalmente, los tres modelos presenta un buen comportamiento financiero durante todo el trayecto evaluado (10 años), presentado quizás para el modelo uno (1), comportamientos poco estables durante su estudio, esto debido a que en el año siete (7) se cancela el pago total de la deuda, pero se considera que nunca su flujo de caja libre total pasa a tener flujos negativo.

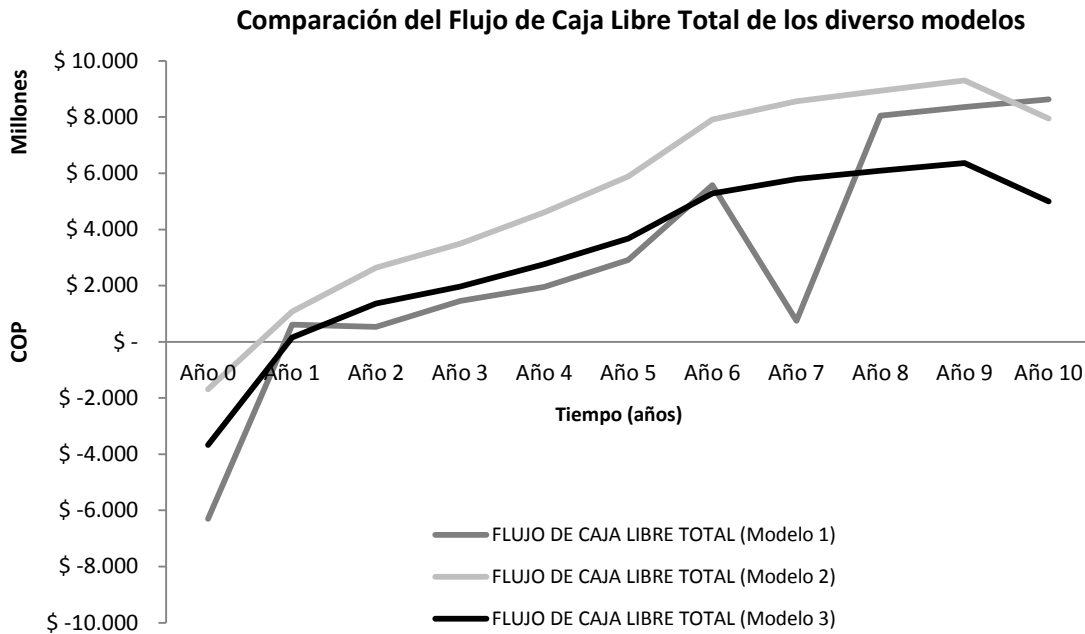


Figura 115. Comparación del flujo de caja libre total de los diversos modelos

Los parámetros económicos y financieros de las diversas alternativas confluyen en la Tabla 51, donde se observa que todas las alternativas son viables económicamente, sólo que el modelo dos (2) y tres (3) presenta mejores características en cuanto a un bajo presupuesto de inversión y un costo de oportunidad alto, lo cual genera una rentabilidad alta y un retorno de capital no mayor a tres años. Cabe destacar que el modelo uno (1) presenta una inversión cuantiosa en comparación con los otros modelos debido a su esquema de acción (busca el material desde la fuente), es por ello que mencionado modelo es recomendado a inversiones públicas o del estado por su baja tasa de oportunidad, y su elevado periodo de retorno de inversión.

Tabla 51. Parámetros económicos y financieros de las diversas alternativas.

Parámetros a Evaluar	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
	“Recolección y planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD)”	“Planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD)”	“Planta de tratamiento y fabricación de concreto y pre-fabricados de residuos de construcción y demolición (RCD)”
Presupuesto de inversión	\$ 10.861.822.630	\$ 3.885.022.630	\$ 3.672.522.630
Costo de oportunidad mercado accionario riesgo medio	12%	25%	25%
Valor Presente Neto (VPN)	\$ 10.996.311.933	\$ 11.836.691.446	\$ 6.337.759.344
Tasa Interna de retorno (TIR)	31,03%	35,20%	27,90%
Costo de Capital (WACC)	15,70%	24,20%	15,80%
Valor presente neto ajusta a costos de Capital	\$ 9.591.440.746.	\$ 17.543.636.390	\$ 15.768.600.926
Valor Económico agregado (EVA)	\$ 3.771.310.564	\$ 3.396.228.429,00	3.084.668.924
Relación Beneficio/Costo (B/C)	1,99	6,18	5,66
Payback (periodo de recuperación de la inversión)	5 Años	3 Años	3 Años

Cabe destacar que para el análisis de alternativas mutuamente excluyente, con diferentes montos de inversión, como es el caso presentado, la TIR, no puede usarse como criterio de evaluación porque los montos de inversión son diferentes, y es un análisis puramente de relación entre numerador y denominador

5.3 VALORACIÓN SOCIAL

Además las bondades financieras de los tres modelos, incluyendo los mayores riesgos del modelo uno (1) “gestión integral”, habría que considerar sus beneficios sociales que aunque no entren monetariamente dentro del flujo de caja, pueden ser mucho mayores y en muchísimos casos justifican este tipo de inversiones. En la Tabla 52 extraída de un somero estudio de impacto ambiental hecho por la Secretaria Ambiental de la alcaldía de Bogotá (2011) se puede observar los aspectos ambientales que las actividades de gestión de RCD generan; más cuando estas se realizan de manera inadecuada. Además, estos aspectos se encadenan con otros generando costos sociales muy altos (enfermedades respiratorias como consecuencia de la contaminación del aire por mencionar solo alguno) Hoy en día existen diversas metodologías para estimar un valor económico de estos costos: **costos de las medidas de reposición, precios hedónicos, valoración contingente, entre otros muchos**) La incorporación de estos costos al flujo de caja de los modelos de empresas entrarían como beneficios ya que serían costos evitados, permitiendo considerar los mismos a los promotores y decisores.

Hoy en día las autoridades ambientales reconocen que subsidios en préstamos o exoneraciones en impuestos o cualquier otro tipo de incentivo para promover empresas ambientalmente saludables generan retornos muy grandes en beneficios sociales y son mucho más efectivas que las sanciones o las prohibiciones.

Para la alcaldía de Bogotá o cualquier otra alcaldía colombiana sería un muy buen ejercicio promover directamente o a través de terceros este tipo de empresas ya que no solo pueden, como lo demostramos, ser financieramente rentables, sino socialmente útiles e indispensables.

Tabla 52. Valoración social.

Aspectos Ambientales	Pérdida de capa orgánica	Remoción de cobertura vegetal	Alteración de las propiedades físico-	Deterioro de la calidad del agua subterránea	Cambio en las propiedades físico-	Activación procesos erosivos	Contaminación del recurso aire	Generación de ruido	Alteración en el uso del suelo	Modificación del paisaje.
Actividades										
Transporte de los escombros							X	X		
Disposición Transitoria de los escombros	X	X				X	X	X	X	X
Disposición final de los escombros	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Reconfirmación y Revegetalización.							X			X

5.4 EVALUACIÓN INSTITUCIONAL

Con el estudio realizado se pudo evidenciar que las políticas adoptadas en la mayoría de países son por lo general, políticas restrictivas y/o sancionatorias. Es por ello que siempre la industria de la construcción o algunos de sus exponentes han encontrado algunos métodos para evadir las reglamentaciones o disposiciones de los gobiernos nacionales y regionales.

A su vez, algunos autores como Poon (2.001) han sugerido que adicional a las políticas restrictivas, deben generarse políticas de incentivos, que genere en la industria de la construcción que evalúe dichos incentivos y puedan tomar provecho de los mismos en una relación de ganancia tanto para el entorno como para la empresa.

ENTRE LOS INCENTIVOS A PROPONER SE DESTACAN:

1. Reducción de impuestos a todas las empresas que cumplan con normativas de reutilización de RCD propuesta por el distrito. Mencionadas normativas serán:
 - Capacitación al personal en obra sobre la gestión de RCD
 - Demolición planificada.
 - Lista de materiales que sean aceptados o no para reciclar
 - Acopio de material RCD en contenedores identificados por colores en sitio de obra.
 - Transporte del material RCD separado e identificado a sitios de disposición final autorizados.
 - Reutilización de material pétreo reciclado avalado por una institución mediante ensayos mecánicos, físico y químicos.
 - Llenado y entrega de planilla a funcionario del distrito para su verificación. Esta planilla corresponde a Tabla 53:

Tabla 53. Planilla de verificación y clasificación de RCD.

	Material	Cantidad (contenedores)	Método de disposición	Procedimiento de manejo
Residuos potencialmente reciclados	Prefabricados de mortero o concreto			
	Concreto simple			
	Concreto armado			
	Cerámicos			
	Concretos asfálticos			
	Concreto asfáltico producto de fresado			
	Producto de mamposterías			
	Prefabricados de arcillas recocida			
Residuos de excavación	Material	Cantidad (contenedores)	Método de disposición	Procedimiento de manejo
	Suelo orgánico			
	Suelo no contaminado y materiales arcilloso, granulares y pétreos naturales			
Residuos Sólidos	Material	Cantidad (contenedores)	Método de disposición	Procedimiento de manejo
	Cartón			
	Madera			
	Metales			
	Papel			
	Plástico			
	Vidrio			
Yeso				

2. Subsidios monetarios para las empresas que se comprometan y presenten informes periódicos, de la generación de RCD en obra y de un plan para aumentar el porcentaje de reutilización de RCD.

3. Normatividad que permita alternativas de reutilización y especificaciones técnicas detalladas para elementos producidos a partir de RCD.
4. Campañas institucionales que generen compromiso del parte del sector de la construcción. Entrega de certificaciones por parte del distrito a empresas que posean oficinas de manejo y reutilización de RCD en la ciudad.
5. Ventajas o prioridad en la contratación de las empresas que lleven una estructura dedicada a la reutilización de RCD.
6. Reconocimiento público.

Teniendo en cuenta las políticas restrictivas existentes entre ellas la Resolución 2397 de 2.011 la cual permitió encaminar a la industria de la construcción en un proceso de reutilización de RCD masivo, se deben establecer algunos incentivos como los mencionados, con lo cual se considera que más que un castigo al sector será un posible nuevo mercado generado para el sector de la construcción y el cual generará resultados favorables para las empresas que tengan una posición amigable con el medio ambiente.

Según un estudio realizado por la secretaria distrital de planeación de Bogotá, para el 2025, el diseño, construcción, uso, demolición y disposición final de las edificaciones en el D.C. Se realizará bajo el concepto de la sostenibilidad ambiental, económica y social, y articulada a la planificación urbana. De manera que permita un aumento de la calidad de vida de la población y un desarrollo sostenible de la ciudad y la región.

6 CONCLUSIONES

El principal propósito de este estudio fue el proponer y motivar a actores organizacionales para que incursionasen en la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en la ciudad de Bogotá D.C., demostrando sus posibilidades y factibilidades. Mediante un conjunto de ensayos de laboratorio se logró demostrar las viabilidades de aplicación de algunos de estos materiales y realizamos un muy detallado análisis financiero de diversos modelos de organizaciones que bien podrían ser públicas y/o privadas, que permitieron mostrar la factibilidad económica de la gestión de RCD. Todo ello pretende generar la suficiente información que logre captar la atención de posibles inversionistas, en particular los que están en el ramo, para mediante los beneficios ambientales, sociales, económicos e institucionales que puedan obtenerse, mejorar la calidad de vida de los habitantes de la ciudad de Bogotá D.C.

Si se logra mejorar la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD), se disminuye la afectación ambiental generada por los diversos procesos de explotación de materiales pétreos en ríos y canteras ubicadas en las periferias de la ciudad. Se podrá reutilizar en sitio, recursos cuya obtención se vuelve cada vez más lejana y costosa y se disminuirá la disposición final en sitios que pueden ser mejor aprovechados y que afectan el paisaje ciudadano.

Las posibilidades y sus consecuencias son tan notorias que cada vez más proliferan planteamientos y experiencias internacionales para recuperar, reutilizar y reciclar los RCD. La deconstrucción resulta un útil y novedoso procedimiento a la hora de aprovechar al máximo mencionados residuos; mediante este método se pretende hacer una “demolición selectiva” teniendo en cuenta el tiempo de servicio de la estructura, así como los posibles usos que tendrán los elementos fabricados para que una vez sean demolidos, puedan ser nuevamente empleados en diversos proyectos.

Con base en el estudio de campo realizado se pudo demostrar que alrededor de una cuarta parte de todos los materiales generados como residuos de construcción y demolición (RCD) en la ciudad de Bogotá D.C, provienen de residuos de concretos. Mencionados materiales presentan excelente propiedades que les permiten cumplir con las especificaciones técnicas I.N.V.E. para su posible utilización como material pétreo en aplicaciones tales como subbases granulares, bases granulares, mezclas asfálticas, y agregados para concreto, entre otras aplicaciones.

Mediante los ensayos de laboratorio del material pétreo de residuos de concretos se observaron los siguientes resultados:

- La cuantificación del material proveniente de concretos es significativa y puede estar entre un 15% a un 35% dependiendo fundamentalmente del tipo de obras que se encuentren en ejecución.
- La granulometría dependerá del sistema de trituración que se utilice, y corresponde a sobretamaños y finos, con lo cual se hayan ausencia de tamaños medios, esto indica que para un óptimo funcionamiento, deben ser suplidos por material de cantera.
- En la investigación realizada se pudo establecer un remplazo entre el 30% y el 40%, para la conformación de diferentes materiales requeridos en la construcción; lo que avala diferentes artículos científicos que recomiendan que una adecuada combinación estaría dada por un remplazo entre el 25% y el 50% del material reciclado. El desgaste del material reciclado fue menor en comparación con el material de cantera.
- La solidez a sulfatos estuvo en el límite de lo permitido por las especificaciones I.N.V.E..
- El mortero adherido encontrado en este tipo de materiales (RCD), genera una mayor absorción cercana a un 5% adicional el cual deberá ser compensado por una inclusión similar al contenido de cemento de la mezcla.

Teniendo en cuenta las excelentes propiedades físicas y mecánicas de los residuos de construcción y demolición (RCD) provenientes del concreto, se hace posible la implementación de líneas de producción que permitan la inclusión de estos residuos dentro de su cadena de procesos para la fabricación final de prefabricados tales como losetas permeables. Lo anterior con el fin de industrializar estos materiales y aplicarlos en distintas obras disminuyendo sus costos

Se cuantificaron los costos de producción y se formuló un esquema técnico-financiero para lograr producir nuevos materiales a partir de residuos de construcción y demolición (RCD) proveniente única y exclusivamente de residuos de concreto. Para ello se plantearon tres (3) modelos de inversión entre las que se desarrollaron:

- El modelo uno (1), “Recolección y planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD)”, representa una alternativa integral de la gestión, y permite realizar todas las actividades asociadas a la clasificación en sitio del material, el transporte que ello requiere, el tratamiento del material reciclado y nuevamente una separación para la entrega de los nuevos productos solicitados. Este modelo al contener una mayor cantidad de actividades asociadas, requiere de mayores inversiones, y aunque su rentabilidad (TIR=25 %) demuestra que es un proyecto económicamente viable, los altos costos de inversión generan un mayor riesgo al inversionista; no obstante es el modelo de mayor valor social - ambiental.

Referida alternativa se propuso con el concepto que el promotor sea el “distrito” o el “gobierno nacional” y asuma directamente los riesgos o los comparta con inversionistas privados. Es por ello que para su evaluación económica se tuvo en cuenta la tasa social de descuento planteada por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) del 12 %. El Distrito de esta manera tendrá no solo créditos socio-ambientales muy altos, sino que contribuirá a generar nuevos puestos de trabajo, demostrando las bondades de este tipo de negocios y promoviendo la promulgación de distintas legislaciones que ayuden a la reutilización de residuos de construcción y demolición (RCD) en la ciudad de Bogotá D.C.

- El modelo dos (2), “Planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD)”, es un prototipo simplificado, el cual eliminó aquellos procesos asociados a la recolección de los residuos generados en obra (clasificación y transporte). Este modelo está enfocado en la recepción de material clasificado por terceros y dispuesto en el sitio que hayan sido designado por el modelo para su tratamiento y separación de los materiales teniendo en cuenta la demanda de productos, con lo cual se permite disminuir algunas actividades y las respectivas inversiones que representan (cerca de un 70% con respecto al modelo anterior). Por ello el análisis económico muestra una rentabilidad mayor (TIR= 32%) y un riesgo asociado mucho menor, que permitirá con mayor facilidad la atención de inversionistas en el proyecto.
- El modelo tres (3), “Planta de tratamiento y fabricación de concreto y prefabricados de residuos de construcción y demolición (RCD)”, se enfoca sólo en el tratamiento y fabricación de nuevos materiales generados a partir de los residuos de construcción y demolición (RCD), aumentando de esta manera una diversificación del mercado para los productos en ventas. Aunque este modelo incluye específicamente la fabricación de elementos prefabricados y material granular para la creación de concretos reciclado (concreto verdes), los valores de inversión son muy similares a los mostrados en el modelo dos (2) “planta de tratamiento”, aunque la rentabilidad disminuye ligeramente (TIR=28%), la probabilidad de conseguir inversionistas para este proyecto es bastante elevada por su bajo riesgo.

Mediante la evaluación de los diversos modelos, se puede establecer que para que un modelo de empresa genere una mayor rentabilidad y un menor riesgo, se enfoque únicamente al tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) y delegue a terceros las demás actividades relacionadas con la gestión de los residuos; por otro lado si lo que se quiere es contar con un proyecto distrital y/o nacional que permita la gestión integral de los residuos de construcción y demolición se deberá implementar el modelo uno (1), el cual se encarga de la recolección, transporte y

tratamiento de los residuos, aumentando de esta manera los índices de reutilización de los residuos.

En cuanto a los parámetros legales e institucionales sobre la gestión de RCD en la ciudad de Bogotá D.C., las instituciones deberán adquirir compromisos para impulsar este tipo de proyectos económicamente viables, pero a su vez social y ambientalmente positivos, es por ello que se debe alcanzar una nueva estructura de incentivos económicos, tales como: prestamos con bajas tasas de interés, exoneración de impuestos fiscales y tributarios que permitan optar por elegir productos generados a partir de residuos de construcción y demolición. Igualmente, las instituciones gubernamentales deberán promover modelos de certificación que permitan constatar que las empresas están gestionando sus residuos de construcción de manera adecuada, implementar un sistema de control de calidad tanto en la recepción del material reciclado como en el control de las características y propiedades de los productos prefabricados. Deberán establecer algún mecanismo de controlaría ambiental para constatar que realmente las empresas están tratando y reutilizando material reciclado provenientes de los residuos de construcción y demolición.

7 RECOMENDACIONES:

- Aunque la caracterización física y mecánica del material tipo C (prefabricados, concretos de demoliciones y morteros), arrojó resultados satisfactorios, deberán seguirse algunas recomendaciones enfocadas a la durabilidad del concreto reciclado y control de calidad de los residuos generados.
- Se deberá realizar un análisis en profundidad de la influencia de contaminantes (cerámicos, plásticos, asfaltos, etc.) en el agregado reciclado específicamente en las propiedades (física y mecánicas) del concreto reciclado. Cualquier avance en este sentido permitirá la inclusión de más tipos de agregados reciclados y por tanto un mayor nivel de reutilización de residuos de construcción y demolición (RCD).
- Se convendrá realizar estudios sobre aplicaciones estructurales con concretos reciclado y la influencia de mencionados residuos en los aceros de refuerzos de las estructuras.
- Entregar este trabajo a las Autoridades Ambientales Distritales como una contribución de la Universidad y discutir con ellas las posibilidades de realizar un Foro donde el mismo se presente a los actores interesado e involucrados.

8 REFERENCIAS

ACI (American Concrete Institute) 2001. "Removal and Reuse of Hardened Concrete
Tony C. Liu, member and chairman of ACI Committee 555 as of March 30, 2001

Alvarez, A. (2010). Análisis medio ambiental de la gestión de los residuos de la construcción y demolición (rcd's). Universitat politècnica de Catalunya. Barcelona.

Cárcamo, G. (2008). "Gestión interna de los residuos sólidos producidos en las obras de construcción de tipo urbanístico utilizado como herramienta tecnológica de ayuda a los sistemas de información geográfica". Proyecto de investigación para optar al título de magister en ingeniería Civil. Universidad del Norte. Barranquilla.

Coambiente, (2009). "Anteproyecto para la gestión integral de los RCD en el Distrito Capital. Informe oficial

Corporación autónoma regional del centro de Antioquia, Corantioquia (2006), Cartilla Para El Manejo Ambiental De Proyectos De Escombreras.

Copete, J. (2003). "Nuevas propuestas para el aprovechamiento de escombros y residuos generados por la actividad de la construcción en Bogotá D.C. Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C.

Corinaldesi V, Giuggiolini M, Moriconi G. Use of rubble from building demolition in mortars. Waste Manage 2002; 22:893–889.

Corinaldesi V, Sani, D. Moriconi, G Fava, G. (1999). "Leaching and mechanical behaviour of concrete manufactured with recycled aggregates". Department of Materials and Environmental Engineering and Physics, Marche Polytechnical University. Via Brecce Bianche 12, Ancona 60131, Italy.

Echeverry J (2009). "Estudio de Pre Factibilidad Técnica para la Aplicación de Métodos Enfocados al Aprovechamiento de Residuos de Construcción en Pereira". Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C.

Environmental protection agency, EPA (2006), Best Practice Guidelines on the Preparation of Waste Management Plans for Construction and Demolition Projects, Department of the Environment, Heritage and Local Government, Ireland.

Garcia S, Oscar L; "Administración financiera, fundamentos y aplicaciones". Cuarta Edición, 2009, Colombia.

Gomez, J (2002). Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate: an experimental study, pp 32:1301–11.

Gonzales 2002. "Clasificación de residuos de construcción y demolición utilizando descriptores de textura". Lidia Sánchez González Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Universidad de León.

Kibert, C. (2009). "Deconstruction as an essential component of sustainable construction". Research Report University of Florida, Gainesville, Florida USA.

Kobayashi, S; Kawano, H; "Properties an Usage of Recycled Aggregate Concrete". Demolition and Reuse of Concrete and Masonry Vol 2. Reuse of demolition Waste, proceedings of the second international RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete, November 1988, Japan

Larbi, J. Heijnen, W. Brouwer, J. Mulder, E. (2000) "Preliminary laboratory investigation of thermally treated recycled concrete aggregate for general use in concrete". The fourth international conference on the environmental and technical implications of construction with alternative materials, WASCON 2000, United Kingdom

Lopez, G (2008). Influencia de la variación de los parámetros de dosificación y fabricación de hormigón reciclado estructural sobre sus propiedades físicas y mecánicas. Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo (Gijón). España.

Martínez, C. (2007) "Gestión de residuos de construcción y demolición (RCDS): importancia de la recogida para optimizar su posterior valorización". Vías y construcciones, S.A.

Marmash, B. "Properties of Recycled Precast Concrete Hollow Core Slabs for Use as Replacement Aggregate in Concrete" Waste Materials in Construction. Edited by G.R. Woolley.

METSO (2011) "Crushing and screening handbook".

Murcia, J. (2009). "Formulación y criterios de evaluación"; Editorial Alfaomega, Colombiana S.A, pp. 8- 135

Nagataki S, Gokce A, Saeki T, Hisada M (2004). Assessment of recycling process induced damage sensitivity of recycled concrete aggregates. Cem Concr Res 2004;34:965–71.

Natalini, M. (2001). "Reciclaje y reutilización de materiales residuales de construcción y demolición". Departamento de Estabilidad - Facultad de Ingeniería – UNNE. Chaco Argentina

Nishbayashi, S; Yamura, K.: "Mechanical properties and durability of concrete from recycled coarse aggregate prepared by crushing concrete". Demolition and reuse of concrete and masonry, Vol 2. Reuses of demolition Waste. November 1988 Japan.

Oliveira, E. (2004), "Recycled aggregate standardization in Brazil". Universidade Estadual Paulista (UNESP), International Conference .Brazil.

Pladerer, C. (2006) Towards Sustainable Plastic Construction and Demolition Waste Management in Europe. The case of Austria. Austrian Institute for Applied Ecology. Tomado de: <http://www.appricod.org/spip/IMG/pdf/Publication-en.pdf>

Poon, C. (2006), "A Review on the Use of Recycled Aggregate in Concrete in Hong Kong". Department of Civil and Structural Engineering, the Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong.

Poon, C. Chan, D. (2004). Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base Department of Civil and Structural Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong

Poon, C. (2002), "Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks". Department of Civil and Structural Engineering. The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, PR China

Rao, A (2006). Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. Resources, Conservation and Recycling 50 (2006) , pp 71–81

Ravindrarajah, R.; TAM, C. (1985) "Properties of concrete made with crushed concrete as coarse Aggregate". Magazine of concrete Research, Vol. 37, # 130.

Romero, S. (1995) "Manual para la toma de decisiones multicriterio"; Universidad de Alcalá; ILPES, Dirección de Proyectos y Programación de Inversiones, pp .60-156

S. Buchner, L.J. Scholten (1992). Construction waste: Quantification and Source Evaluation

Secretaría Distrital de Hábitat, (2009). "Diagnóstico del manejo integral de escombros en Bogotá Distrito Capital, Alcaldía Mayor de Bogotá.

Subramanian, N. (2008) "Concreto permeable un material ecológico que contribuye al ahorro de los recursos hídricos frente a la escases de agua. The Indian Concrete Journal, vol 82. Diciembre de 2008.

Tchobanoglous, George, Thiesen. Hilary y VIGIL Samuel. Gestión. Integralde Residuos Sólidos. Volumen I. McGraw Hill /. Interamericana de España, S.A.

Unidad administrativa especial de servicios públicos, UAESP (2009), Diagnóstico del Manejo Integral de Escombros en Bogotá Distrito Capital, Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Secretaria Distrital de Hábitat.

VINCKE, J,ROUSSEAU,E, "Recycling of Construction and Demolition waste in Belgium:Actual Situation and Future Evolution. Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Proceedingd of the third international RILEM Symposium, Edited by Lauritzen, E.K, Published by E&FN Spon, fist Edition. 1998.

ANEXO 1
Reportes de Ensayo

ANEXO 2

Resultados económicos modelo uno (1)

- ***Presupuesto de Inversión***
 - ***Estados Financieros***
 - ***Flujo de caja libre***
- ***Flujo de caja de accionista (flujo de caja libre total)***

ANEXO 3

Resultados económicos modelo dos (2)

- ***Presupuesto de Inversión***
 - ***Estados Financieros***
 - ***Flujo de caja libre***
- ***Flujo de caja de accionista (flujo de caja libre total)***

ANEXO 4

Resultados económicos modelo tres (3)

- ***Presupuesto de Inversión***
 - ***Estados Financieros***
 - ***Flujo de caja libre***
- ***Flujo de caja de accionista (flujo de caja libre total)***