


ESTUDIO TÉCNICO, ECONÓMICO Y NORMATIVO PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN
Y DEMOLICIÓN (RCD) EN UN PROYECTO DE VIVIENDA


JOSE ALEJANDRO SEPULVEDA MEJIA

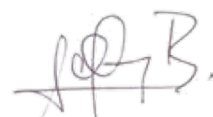
Nota de Aceptación

Certificamos que el presente Trabajo de Grado
Satisface, en alcances y calidad, todos los requisitos
Que demanda un Trabajo de Grado de Maestría.


Manuel Alejandro Rojas Manzano
Director

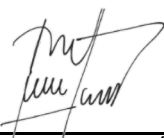

Héctor Benavides
Co-director


Kathleen Salazar Serna
Jurado


Anibal Maury Ramirez
Jurado

Aprobado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la
Pontificia Universidad Javeriana Cali, para optar el título de
Magister en Ingeniería.


HERNÁN CAMILO ROCHA NIÑO Ph. D.
Decano Facultad de Ingeniería y Ciencias


JUAN CARLOS MARTÍNEZ ARIAS
Director Posgrados de Ingeniería y Ciencias

Datos del Estudiante

Nombre: JOSE ALEJANDRO SEPULVEDA MEJIA

Dirección: AVENIDA 8 NORTE #10-98 EDIFICIO TERRAZAS DE GRANADA

Correo electrónico: josealejandros@hotmail.com

Celular: +57 315 824 7162

Profesión: Ingeniero Civil

Nombre de Empresa: NEU Construcción y Desarrollo

Cargo: Asistente de proyectos

ABSTRACT

At present, demolition, remodeling and construction projects within urban centers are increasing as a consequence of the sociodemographic and economic development processes. In addition, the construction practices associated with these urban transformations generate high levels of leftovers and solid waste that set different challenges in regulatory, economic, social and environmental areas. For this reason, it is necessary to generate spaces for sustainable solutions of materials associated with the construction and demolition waste (C&DW). This work collected the most relevant data and variables associated with the C&DW context in a housing project located on the suburbs of the city of Santiago de Cali, specifically in the municipality of Candelaria (Valle del Cauca, Colombia); Subsequently, developed a C&DW reutilization method that complied with current regulations and was selected from a qualitative analysis hierarchy process (AHP). Additionally, the selected method was analyzed from an economic and financial perspective in three different scenarios, the current one and two other. These two were a model of reincorporation of the C&DW processed materials and a model that involved selling the C&DW processed materials. The results of these analysis indicated that the most viable option for the company and the selected project consists of implementing a static aggregate crushing plant with a reincorporated materials business model.

RESUMEN

En la actualidad, las obras de demolición, remodelación y construcción al interior de los focos urbanos se incrementan como consecuencia de los procesos de desarrollo sociodemográficos y económicos de la sociedad en general. Además, las prácticas constructivas asociadas a estas transformaciones urbanas generan niveles elevados de desperdicios y residuos sólidos que plantean diferentes desafíos a nivel normativo, económico, social y ambiental. Por esta razón, es necesario generar espacios de aprovechamiento y búsqueda de soluciones sostenibles a los diferentes materiales asociados a los residuos de construcción y demolición (RCD) producidos. Este trabajo, recolectó los datos más relevantes de aquellas variables asociadas al contexto de los RCD en un proyecto de vivienda ubicado a las afueras de la ciudad de Santiago de Cali, específicamente en el municipio de Candelaria (Valle del Cauca, Colombia); posteriormente se orientó a desarrollar una metodología de aprovechamiento de RCD que cumpliera con la normativa actual y que a nivel técnico fue seleccionada a partir de un análisis cualitativo de decisiones de jerarquía (AHP). Adicionalmente, se analizó la metodología seleccionada bajo un aspecto económico y financiero en tres escenarios, el actual y dos modelos, el primero de reincorporación de RCD y el segundo de venta de RCD. Lo anterior, obtuvo como resultado, que la opción más viable para la constructora y para el proyecto seleccionado, consiste en la implementación de una planta trituradora de agregados fija y utilizar un modelo de negocio de reincorporación de materiales al interior del proyecto.

Dedicatoria

*D**s, Luz que es y está presente en todo. Gracias.*

A mi amor verdadero, mi Madre

A mi amor incondicional, mi Hermano.

A mi inspiración, mi Padre

A mi Fe, Juliana.

Ayer, hoy y siempre, es por ustedes y para ustedes.

Agradecimientos

A la Pontificia Universidad Javeriana, por el enorme esfuerzo que realizan día a día por la educación en Colombia y el mundo. Un mundo de personas educadas, siempre será un mundo libre.

Al Dr. Manuel Alejandro Rojas por su hospitalidad, humildad, acompañamiento, conocimiento y apoyo durante todo el de trabajo de investigación y programa académico. Su participación fue invaluable en cada uno de las decisiones tomadas.

Al profesor Héctor Benavides, por el conocimiento compartido, el tiempo dedicado y el apoyo durante el trabajo de grado.

A la Constructora Bolívar por esa gran disposición de apoyar la academia y fomentar el desarrollo de ideas sostenibles.

A mis compañeros María Fernanda, Camila, Oscar, Andrés, Daniel López, Daniel Parra, Sofía y Julio, sin ustedes nada de esto hubiera sido posible. Eternamente agradecido con cada uno de sus consejos y con cada minuto de enseñanza.

Por último, a mi persona, por ser el reflejo en vida de lo que alguna vez imagine.



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**ESTUDIO TÉCNICO, ECONÓMICO Y NORMATIVO PARA EL
APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)
EN UN PROYECTO DE VIVIENDA**

Programa de Maestría en Ingeniería Civil
Énfasis en Gerencia de Construcción

Presentado por:

JOSE ALEJANDRO SEPÚLVEDA MEJÍA

Pontificia Universidad Javeriana Cali
Facultad de Ingeniería y Ciencias
Julio de 2021

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Pregunta de investigación	3
1.3 Alcance del trabajo de grado.....	4
1.4 Objetivos del proyecto	4
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
1.5 Organización del documento escrito	5
1.6 Justificación.....	5
2. MARCO DE REFERENCIA	9
2.1 Panorama Generación de RCD.....	9
2.1.1 <i>Escala Mundial</i>	9
2.1.2 <i>Escala Nacional</i>	12
2.1.3 <i>Escala Municipal</i>	12
2.2 Gestión de Residuos en la Construcción.....	13
2.2.1 <i>Clasificación</i>	14
2.2.2 <i>Normativa</i>	16
2.2.3 <i>Ciclo de Vida de un Proyecto de Construcción</i>	18
2.3 Metodologías de aprovechamiento, tratamiento y aplicación de los RCD.....	19
2.3.1 <i>Proceso de Producción</i>	22
3. METODOLOGÍA	25
3.1 Selección del estudio de caso.....	26
3.1.1 <i>Casos potenciales</i>	26

3.1.2	<i>Caso seleccionado</i>	27
3.2	Gestión de residuos de la empresa constructora	30
3.3	Metodología de cuantificación de generación de RCD.....	32
3.4	Calculo de índices de generación.....	33
3.5	Recopilación de la información	35
3.5.1	<i>Análisis del sector constructivo</i>	35
3.5.2	<i>Cantidades de materiales del proyecto</i>	37
3.5.3	<i>Proporción residuos pétreos en obra</i>	39
3.6	Posibles Metodologías de aprovechamiento	40
3.7	Procedimiento de selección de metodología.....	41
3.7.1	<i>Evaluación final de la metodología seleccionada</i>	42
4	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	50
4.1	Generación de RCD	50
4.2	Índices de generación y producción de RCD.....	53
4.3	Selección propuesta de Aprovechamiento	56
4.4	Diseño de metodología seleccionada – Planta de trituración fija	64
4.4.1	<i>Maquinaria de producción</i>	66
4.4.2	<i>Ubicación y distribución del proceso productivo</i>	74
4.4.3	<i>Adecuaciones, administración y acondicionamiento del proceso productivo</i>	76
4.4.4	<i>Recurso Humano de producción</i>	78
4.4.5	<i>Productos RCD producidos</i>	79
4.5	Formulación y Evaluación financiera de los modelos de negocio.....	83
4.5.1	<i>Modelo de negocio de disposición de RCD</i>	83
4.5.2	<i>Modelo de negocio de reincorporación interna</i>	85

4.5.2.1	Egresos	86
4.5.2.2	Ingresos	87
4.5.2.3	Flujo de caja	88
4.5.2.4	Indicadores de bondad económica	89
4.5.2.5	Análisis de Sensibilidad	90
4.5.3	<i>Modelo de negocio de ventas</i>	90
4.5.3.1	Egresos	91
4.5.3.2	Ingresos	92
4.5.3.3	Flujo de caja	94
4.5.3.4	Indicadores de bondad económica.	95
4.5.3.5	Análisis de Sensibilidad	96
4.5.4	<i>Selección de alternativa</i>	96
5	CONCLUSIONES	101
5.1	Recomendaciones para trabajos futuros.....	102
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
7	GLOSARIO DE TERMINOS ESPECIALES.....	110
8	ANEXO 1: DETALLE DATOS DE INDICES DE GENERACIÓN	112
9	ANEXO 2: DETALLE DE PLANTA DE APROVECHAMIENTO	113
10	ANEXO 3: DETALLES INGRESOS Y EGRESOS MODELOS DE NEGOCIO ..	116

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Generación de Residuos Panorama Mundial (Armijos, 2019).....	10
Tabla 2: Cartilla Plan de Residuos de Construcción y Demolición (Alcaldía de Santiago de Cali, 2018; Ortega, Aida Inírida; Casas, Helber Leonardo; Figueroa, 2015)	14
Tabla 3: Antecedentes del marco normativo para el manejo de RCD (Modificado de Armijos, 2019; Matthey Centeno et al., 2015).....	16
Tabla 4: Aplicaciones de aprovechamiento de RCD (Armijos, 2019; Marin, 2019)	21
Tabla 5: Etapas y procesos dentro de la gestión y el aprovechamiento de RCD (GEAR, 2011)	23
Tabla 6: Casos potenciales de estudio.	26
Tabla 7: Puntajes asociados a los criterios de selección de caso	26
Tabla 8: Matriz de puntuación.....	27
Tabla 9: Resultado Matriz de Selección	27
Tabla 10: Precios promedio por m ³ de materiales RCD en el mercado. (Guzmán & Soler, 2019)	36
Tabla 11: Cantidades de materiales Proyecto Manzanares- Sectores 4 y 5 (Constructora Bolívar, 2020).	37
Tabla 12: Abreviaturas Posibles metodologías de aprovechamiento	41
Tabla 13: Generación de RCD susceptible de aprovechamiento No pétreo (Tn). Macro proyecto Manzanares (Constructora Bolívar, 2020). Modificado por el autor.....	52
Tabla 14: Producción de RCD primer semestre año 2020. Proyecto Manzanares 4 y 5	54
Tabla 15: Indicadores gravimétricos 1er semestre año 2020. Proyecto Manzanares 4 y 5 ..	54
Tabla 16: Índice de consistencia aleatoria (Saaty, 2008).....	62
Tabla 17: Cantidad estimada de RCD pétreo real aprovechable proyecto.	66
Tabla 18: Datos rendimiento de acarreo interno.....	67

Tabla 19: Datos rendimiento mini retroexcavadora 307B.....	67
Tabla 20: Datos rendimiento elementos planta de aprovechamiento de RCD	68
Tabla 21: Proceso alimentación.....	69
Tabla 22: Proceso de trituración.....	69
Tabla 23: Proceso de cribado de materiales	70
Tabla 24: Proceso pesaje de materiales	70
Tabla 25: Días laborales año 2020.....	71
Tabla 26: Producción Satisfecha.....	71
Tabla 27: Escenarios de precios de maquinaria utilizados (Huaxinsc, Huazn, Honji, Yuxiang, Biachy, Yh, 2020)	72
Tabla 28: Costos de propiedad y depreciación.....	72
Tabla 29: Costo energético	73
Tabla 30: Costos de reparaciones	73
Tabla 31: Costo Horario Maquinaria.....	74
Tabla 32: Precios unitarios costos directos de adecuación de espacio de producción	77
Tabla 33: Costos mensuales asociados al complejo de aprovechamiento de RCD	78
Tabla 34: Precios unitarios recurso humano de producción.....	79
Tabla 35: Precios mensuales recurso humano de producción	79
Tabla 36: Ficha técnica Producto 1 – Agregado fino cerámico.....	80
Tabla 37: Ficha Técnica producto 2 – Agregado grueso cerámico	80
Tabla 38: Ficha Técnica producto 2 – Gravilla reciclada.....	81
Tabla 39: Ficha Técnica producto 3 – Grava Reciclada.....	81
Tabla 40: Ficha Técnica producto 4 – Arena Reciclada.....	82
Tabla 41: Costo periódico de disposición constructora – modelo de negocio actual escenario más. probable	84

Tabla 42: Egresos modelo de negocio actual – comparativo de escenarios	84
Tabla 43: Egresos modelo de negocio reincorporación.....	87
Tabla 44: Ingresos proyectados – modelo de negocio de reincorporación.....	88
Tabla 45: Flujo de caja neto - modelo de negocio reincorporación más probable	89
Tabla 46: Indicadores financieros porcentuales – modelo de negocio de reincorporación..	90
Tabla 47: Egresos proyectados modelo de negocio de ventas.....	92
Tabla 48: Precios de mercado – productos RCD.....	93
Tabla 49: Precios de modelo de negocio utilizados.....	93
Tabla 50: Ingresos proyectados – modelo de negocio de ventas.....	93
Tabla 51: Flujo de caja - modelo de negocio reincorporación.....	94
Tabla 52: Indicadores financieros porcentuales.....	95
Tabla 53: Mapa de calor – comparativo de VPN en modelos de negocio propuestos	97
Tabla 54: Mapa de calor – comparativo de TIRM en modelos de negocio propuestos	98

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo de vida de las edificaciones (Modificado de Brick, 2008).....	18
Figura 2: Grupos de aprovechamiento RCD (Modificado de Martínez, 2018).....	19
Figura 3: Metodología de trabajo.	25
Figura 4: Distribución en planta macro proyecto Ciudad del Valle (Constructora Bolívar, 2019).	28
Figura 5: Localización y distribución de proyecto Manzanares Etapa 4 y 5 (Constructora Bolívar, 2019).	29
Figura 6: Planta arquitectónica de producto inmobiliario, Proyecto Manzanares (Constructora Bolívar, 2019).	30
Figura 7: Planta Estructural de producto inmobiliario, Proyecto Manzanares (Constructora Bolívar, 2019).	30
Figura 8: Cantidades totales actividades de obra civil por peso– Proyecto Manzanares Sector 4 y 5. (Constructora Bolívar, 2020).	37
Figura 9: Cantidad de excavaciones según actividad – Proyecto Manzanares Sector 4 y 5. (Constructora Bolívar, 2020)	38
Figura 10: Cantidad de terraplenes según actividad – Proyecto Manzanares Sector 4 y 5. (Constructora Bolívar, 2020)	38
Figura 11: Proporción de materiales pétreos necesarios para la construcción de las unidades inmobiliarias del proyecto – Proyecto Manzanares Sector 4 y 5. (Constructora Bolívar, 2020) .	39
Figura 12: Esquema de generación y comportamiento de obra.....	44
Figura 13: Esquema de propuesta de aprovechamiento	44
Figura 14: Generación de RCD pétreo susceptible de aprovechamiento (Ton) en el proyecto Manzanares 4 y 5 (Constructora Bolívar, 2020) Modificado por el autor.....	51
Figura 15: Generación total de RCD pétreo susceptible de aprovechamiento (Ton) de la constructora (Constructora Bolívar, 2020). Modificado por el autor.	51

Figura 16: Producción RCD aprovechable NO pétreo (Tn). Producción total constructora en Cali (Constructora Bolívar, 2020). Modificado por el autor.	53
Figura 17: Proceso para la obtención de RCD (Guzmán & Soler, 2019).....	65
Figura 18: Tiempos de producción para 1 Tonelada de RCD en planta propuesta.....	70
Figura 19: Ubicación planta producción RCD en planta macro proyecto Ciudad del Valle (Constructora Bolívar, 2019).	75
Figura 20 : Esquema en perfil, planta de maquinaria de aprovechamiento.....	76
Figura 21: Salario mínimo y Prestaciones año 2020. (Ministerio de Trabajo, 2020)	78
Figura 22: Cash flow – modelo de negocio actual	84
Figura 23 : Cash flow – modelo de negocio de reincorporación más probable.	89
Figura 24: Análisis de sensibilidad de VPN en escenarios de reincorporación.	90
Figura 25: Cash flow – modelo de negocio de ventas.....	94
Figura 26: Análisis de sensibilidad de VPN en escenarios de reincorporación.	96

LISTADO DE ECUACIONES

Ecuación 1: Indicador de generación gravimétrico.....	33
Ecuación 2: Indicador de Peso total del proyecto por unidad de superficie.....	34
Ecuación 3: Indicador de generación gravimétrico.....	34
Ecuación 4: Indicador gravimétrico por superficie edificada.....	34
Ecuación 5: Retorno sobre la inversión (ROI).....	43
Ecuación 6: Valor presente neto (VPN).....	47
Ecuación 7: Tasa interna de retorno (TIR).....	44
Ecuación 8: Tasa interna de retorno Modificada (TIR).....	44
Ecuación 9: Matriz de puntaje final (Saaty, 2008).....	55
Ecuación 10: Índice de consistencia (Saaty, 2008).....	57
Ecuación 11: Razón de consistencia (Saaty, 2008).....	57
Ecuación 12: Capacidad teórica de planta.....	63

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el crecimiento poblacional mundial masivo es un problema que lleva consigo diferentes necesidades para afrontar la transformación demográfica abrupta, así mismo, estas necesidades dan lugar a la explotación inevitable e irreversible de recursos naturales no renovables. Este fenómeno, que se presenta en las zonas de desarrollo urbano, es uno de los retos más grandes de la sociedad actual y establece como objetivo primordial encontrar políticas, metodologías y tecnologías que permitan el consumo de recursos naturales y materias primas que estén incluidos en un esquema económico circular. En Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible es el encargado del objetivo mencionado anteriormente pues, de manera semejante, a nivel nacional se trabaja para alcanzar objetivos de acción por el medio ambiente que comprometan de manera directa a la industria, a la innovación y a la infraestructura.

Para la población colombiana, uno de los sectores económicos más involucrados en la producción de residuos sólidos y en la constante transformación de los recursos, es el sector de la construcción. Durante la última década, el país ha comenzado a implementar políticas con el fin de mitigar el impacto generado por la gran acumulación de esta clase de desechos, pues con el tiempo se han evidenciado indicadores que generan una gran preocupación en términos ambientales, económicos y sociales.

Cifras de generación de 22 millones de toneladas de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) registrados en el año 2011 (Salazar et al., 2015) hacen parte de los diferentes indicadores que han propiciado el desarrollo de las medidas de control de los remanentes de obras civiles. Entre las diferentes regulaciones implementadas, la más destacada es la Resolución 0472 del 2017 expedida por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Esta clase de políticas buscan que los RCD sean gestionados con objetivos de aprovechamiento y valorización al establecer inicialmente porcentajes mínimos de utilización de los mismos según el peso total de los materiales utilizados en obra hasta garantizar, gradualmente, el empleo de casi un tercio del peso total de las estructuras en materiales provenientes de RCD.

En contraposición, la Resolución 0472 del 2017 puede no ser del todo efectiva en algunos casos, por ejemplo, en aquellos proyectos cuyos objetivos constructivos estén enfocados a generar el menor desperdicio posible y a industrializar los procesos, puede resultar en la insuficiencia del

cumplimiento exigido al no generarse suficientes residuos para aprovechar, obligando al constructor a generar residuos para reincorporar y cumplir la meta (Armijos, 2019); tal como sucede con los proyectos de vivienda. En tal caso, es importante reconocer que para el sector de la construcción esta clase de políticas implementadas en los últimos años representa un gran reto debido a las limitantes que se pueden presentar bajo condiciones específicas de construcción.

A pesar de las posibles situaciones que puedan presentarse conforme a la implementación de las reglamentaciones, es indispensable que las empresas responsables del desarrollo constructivo que exige el aumento demográfico se vean en la obligación de involucrarse en la implementación de procesos de aprovechamiento de RCD y, de este modo, poder garantizar que las fuentes de residuos aprovechables sean manejadas de forma efectiva por los grandes generadores; especialmente en proyectos de alto impacto de desarrollo urbano, tales como los proyectos de vivienda, infraestructura vial y urbanismo.

En concordancia con esto, diferentes empresas dedicadas a la construcción han tomado acción a nivel nacional para alcanzar dichas obligaciones de aprovechamiento. Entre las mencionadas anteriormente se encuentra Constructora Bolívar que cuenta con una estrategia y misión empresarial donde se busca implementar e incorporar programas y proyectos complementados con un aspecto claro de sostenibilidad y medio ambiente.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo formular una propuesta de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición para un proyecto de vivienda en la ciudad de Cali que cumpla con aspectos técnicos, normativos y económicos. Para lograr esto, se siguió inicialmente una metodología descriptiva; esta se centró en recopilar y transcribir datos e información asociados al contexto de las variables como generación de residuos, selección del estudio de caso ideal, las condiciones actuales de la empresa en términos de aprovechamiento, las cantidades de obra del caso seleccionado, posibles metodologías de aprovechamiento, análisis de sitio e información de utilidad para el análisis de RCD.

Seguido de lo anterior, se procedió con una investigación no experimental de correlación-causa que describe cómo vínculos entre las variables mencionadas anteriormente fueron de utilidad para formular una propuesta de aprovechamiento de residuos de RCD acorde en términos técnicos, económicos y normativos para este caso en específico.

1.1 Planteamiento del problema

Teniendo en cuenta que uno de los factores más importantes en el manejo de residuos son las políticas públicas, es importante recalcar que a partir de estas mismas Colombia se propone alcanzar una meta de 30% de aprovechamiento según la Resolución 0472 para el año 2030. Este dato, en comparación con políticas a nivel internacional sitúa al sector económico de la construcción colombiana en una posición desafiante, lo cual se puede evidenciar al observar los niveles de aprovechamiento utilizados a nivel de potencias europeas como lo son Países Bajos, Reino Unido, Francia y Alemania que se sitúan en porcentajes de aprovechamiento del 98%, 65%, 62% y 86% respectivamente (Armijos, 2019).

Proponer alternativas de solución que se adapten a las diferentes variables demográficas, culturales, sociales, económicas y normativas que recogen sectores como lo es la construcción, es una tarea que implica reconocer de manera detallada las necesidades que se afrontan al abordar los procesos metodológicos. Por lo anterior, generar políticas de cumplimiento, gestión, regulación y gravamen es la principal tarea que las entidades territoriales de las diferentes naciones se plantean en la actualidad para poder alcanzar objetivos de acción por el medio ambiente.

Según la Conferencia Internacional de Construcción de Ambiente Sostenible para Hoy y el Futuro desarrollada en Hanói en el 2013, las políticas más exigentes de cumplimiento, gestión, regulación y gravamen provienen de aquellos países que generan más cantidad de residuos, dichas políticas han dejado en evidencia una mejora sustancial en los valores de porcentaje reciclado de residuos de construcción y demolición (Kien et al., 2013).

Es entonces necesario responder a objetivos de acción sostenible tales como metodologías de aprovechamiento, mejoramiento de infraestructura e implementación de materiales alternativos; todo esto de la mano del desarrollo de una formalidad laboral que permita incrementar los niveles de cultura y educación en un sector que, en la actualidad, se ve fuertemente afectado por la corrupción, la informalidad y el miedo al cambio.

1.2 Pregunta de investigación

De acuerdo con lo anterior, en este proyecto se le pretende dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué propuesta de aprovechamiento de RCD es la adecuada en términos

técnicos, económicos y normativos para implementar en un proyecto de vivienda en la ciudad de Santiago de Cali o sus municipios aledaños?

1.3 Alcance del trabajo de grado

El proyecto consiste en un estudio de caso único para un esquema de sistema constructivo en mampostería utilizado comúnmente para la construcción de vivienda, el cual fue abordado a partir de una investigación no experimental transversal con una metodología inicialmente descriptiva. Dicha metodología buscó recolectar datos asociados al contexto de las variables, tales como índices de generación de residuos, metodologías de aprovechamiento, tecnologías de construcción y aplicaciones en la gestión de RCD. Finalizó en una investigación no experimental de correlación-causa con el objetivo de describir como los vínculos entre las variables son de utilidad para formular una propuesta de aprovechamiento de RCD acorde en términos técnicos, económicos y normativos (Resolución N° 0472-2017 y el Decreto 0771-2018 de Santiago de Cali).

1.4 Objetivos del proyecto

A continuación, se describen los objetivos que se pretenden desarrollar con la presente propuesta.

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar una propuesta de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) en un proyecto de vivienda en la ciudad de Santiago de Cali considerando aspectos técnicos, económicos y normativos.

1.4.2 Objetivos específicos

El objetivo general se pretende alcanzar con el desarrollo de los siguientes objetivos específicos:

- Analizar los residuos de construcción y demolición (RCD) que son viables a incluir en la cadena de valor en un proyecto de vivienda en función de la normativa colombiana vigente.
- Proponer una metodología de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) acorde a las condiciones de un proyecto de vivienda.

- Evaluar los impactos económicos derivados del aprovechamiento en obra de los residuos de construcción y demolición.

1.5 Organización del documento escrito

La estructura de este trabajo de grado esta segmentada en cinco capítulos, siguiendo el orden enseñado a continuación:

- Capítulo 1: Introducción al tema, descripción del problema, objetivos y justificación del trabajo de grado como información inicial donde se describe detalladamente a los residuos de construcción y demolición (RCD) y sus impactos.
- Capítulo 2: Marco de referencia acerca de los RCD, en el cual se presentan los diferentes panoramas de generación a diferentes escalas, el historial normativo en Colombia y el mundo, y, finalmente los procesos de gestión, producción, clasificación y aprovechamiento.
- Capítulo 3: Metodología utilizada durante todo el trabajo de grado para la recolección, selección y análisis de variables asociadas a los RCD presentes en la empresa en cuestión. También, se encuentra la explicación de las posibles propuestas de aprovechamiento de RCD y sus respectivos métodos de evaluación a utilizar.
- Capítulo 4: Resultados de cantidades de RCD generado para el proyecto, índices de generación gravimétricos, posibles aplicaciones de RCD, propuesta de aprovechamiento seleccionada, diseño de la propuesta de aprovechamiento y finalmente la evaluación económica y financiera de la propuesta.
- Capítulo 5: Conclusiones de los resultados obtenidos y recomendaciones tanto para la empresa como para futuros estudios.

1.6 Justificación

La Organización de Naciones Unidas (ONU) en el año 2015, realizó una cumbre de objetivos de desarrollo mundial en la cual se planteó una agenda con 17 objetivos principales a llevar a cabo para el año 2030. Esta, se formuló con el fin de erradicar la pobreza, promover la prosperidad y el bienestar para todos, proteger el medio ambiente y hacer frente al cambio climático a nivel mundial. En total, estos 17 objetivos son evaluados a partir de 169 metas las cuales son de carácter integrado e indivisible, de alcance mundial y de aplicación universal, tienen en cuenta las

diferentes realidades, capacidades y niveles de desarrollo de cada país, y respetan sus políticas y prioridades nacionales (Organización de Naciones Unidas, 2015).

Si se tiene en cuenta lo anterior, Colombia se comprometió al desarrollo de propuestas y retos bastante altos con respecto a los objetivos mencionados previamente y, para alcanzar esto, priorizó temas tales como: el garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles, adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos, lograr que los asentamientos humanos, la infraestructura y la economía sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles (Herrera, 2018).

Sin embargo, los indicadores de los últimos años no se encuentran a favor de estas metas. Datos alarmantes de emisiones de CO₂ exponen un aumento del 12% en los últimos 5 años, pues con 90.045 toneladas de CO₂ producidas al año, Colombia ocupó el cuarto puesto a nivel de Latinoamérica y el puesto 45 a nivel mundial (Crippa et al., 2019). Resultados como este, han provocado alarmas en las entidades públicas a nivel nacional, las cuales han reaccionado de manera fuerte y contundente al desarrollar políticas y reglamentos de control para los sectores económicos involucrados.

Entre los sectores más representativos de la economía se encuentra la construcción con un porcentaje de participación del 6,32% del PIB nacional en el último trimestre del 2019 (DANE, 2019), sector que actualmente se ve regulado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Entre sus regulaciones, la Resolución N° 0472 de 2017 reglamenta la gestión integral de los residuos de construcción y demolición, o escombros en el país, para disminuir a las afectaciones generadas en el ambiente tales como la contaminación del aire, el agua, el suelo y el paisaje (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017). Con ese objetivo trazado, la resolución establece, para grandes generadores, la utilización de residuos de construcción y demolición (RCD) en un porcentaje inicial del 2% del peso total de los materiales utilizados en obra, cuyo incremento debe ser gradual desde el año de vigencia (2018) hasta alcanzar un 30%. De este modo, la explotación de recursos naturales que usualmente es demandada por los grandes generadores y por las empresas de construcción de edificaciones sea mitigada, eventualmente, gracias a las tendencias emergentes de tecnologías y metodologías de aprovechamiento de RCD que se desarrollen a partir de la vigencia de esta resolución.

De forma análoga, a nivel local, en la ciudad de Santiago de Cali, se expidió el Decreto 0771 de diciembre 2018, el cual establece un porcentaje inicial de utilización de RCD de 5% para obras civiles privadas y 10% para obras civiles públicas, con un aumento gradual y anual hasta alcanzar el 30%. Además, como complemento a lo anterior actualmente existe un proyecto de Lo cual evidencia que de manera semejante junto la Resolución 0472, que a niveles de núcleos urbanos locales también se está apostando a un cambio radical en las metodologías actuales de la construcción de edificaciones.

Por otro lado, cifras de la Universidad Nacional de Colombia y del Instituto de Estudios Ambientales (2017) indican que en la ciudad de Santiago de Cali para los años 2015 y 2016 se generaron 1.357 y 1.201 m³ diarios, respectivamente; esto incluyendo cifras de escombros generados por mega obras. Sin embargo, no puede pasar desapercibido que a un nivel más detallado, existen casos de proyectos de construcción los cuales emplean metodologías constructivas que buscan reducir al máximo los desperdicios con el fin de cumplir las exigencias de la resolución en algunos casos, pero resulta necesario evaluar comercialmente el costo de compra de residuos en el mercado (Armijos, 2019).

Como consecuencia de lo anterior, el desarrollo de nuevas tecnologías sostenibles ha llevado a la sociedad en general a transformar los procesos de producción tradicionales al promover nuevos hábitos en los consumidores asociados a beneficios ambientales, económicos y sociales (Lozano, 2019).

Tal puede ser el caso de la reutilización de materiales alternativos residuales de actividades construcción, donde al tratarse de elementos con potencial de reciclaje, la implementación de metodologías de aprovechamiento de RCD contemplaría un espectro de demanda y oferta totalmente diferente que además ofrece beneficios no únicamente para el comprador y el vendedor, sino que también involucra factores exclusivos de sostenibilidad que beneficiarían a la sociedad y a el medio ambiente en general.

Teniendo en cuenta lo anterior, se evidencia la necesidad de establecer diferentes propuestas de aprovechamiento de RCD que sean viables tanto en términos técnicos como económicos, que en conjunto con los diferentes avances a nivel normativo de la actualidad generen un alto impacto a nivel ambiental y que a su vez estén directamente ligados a medir la competitividad de la gestión de RCD de los grandes generadores en el cumplimiento de la resolución N°0472 de 2017.

Al recopilar toda la información anterior y para finalizar, este proyecto busca reconocer y estudiar las distintas metodologías que se presentan en obra como medio para establecer una propuesta de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) adecuada en términos técnicos, económicos y normativos. Además, se propone reconocer que aquellas limitaciones que son intrínsecas y específicas de cada obra requieren más atención por parte de las empresas dedicadas a la construcción ya que las variables más difíciles de controlar en los procesos aprovechamiento de RCD pueden acarrear cambios drásticos en el alcance de un proyecto e incidir en los modelos de gestión de residuos que puedan o no llevar a cabo las constructoras según sus metodologías de producción.

2. MARCO DE REFERENCIA

A continuación, en el marco de referencia expone inicialmente el contexto y la situación actual de los RCD desde una perspectiva global hasta llegar a la situación específica local de Santiago de Cali. Posteriormente, se presentan las diferentes definiciones, clasificaciones y conceptos más relevantes contemplados durante los procesos que conforman la teoría de los RCD.

2.1 Panorama Generación de RCD

2.1.1 Escala Mundial

A nivel mundial, las directrices económicas que se encuentran a la vanguardia evidencian una promoción muy enfática en el área de sostenibilidad y manejo de los residuos (Jalaei et al., 2019). Teniendo en cuenta este factor, las investigaciones se han enfocado en el estudio de las variables que afectan la viabilidad económica del aprovechamiento de RCD desde su generación hasta su disposición final. Entre los más importantes cabe destacar investigaciones relacionadas con modelación matemática, implementación de políticas gubernamentales, comparaciones costo – beneficio de los materiales, análisis de inversiones en maquinarias, estudios de factibilidad financiera, entre otros (Yuan et al., 2011).

No obstante, los efectos de una propuesta de aprovechamiento o una estrategia de gestión pueden ser cambiantes y dinámicos. Por esta razón, perspectivas y análisis estáticos como los mencionados anteriormente, pueden no concluir con exactitud un resultado que pueda ser utilizado de manera general en términos de aprovechamiento lo cual genera un verdadero recelo en la práctica asociado a la implementación de nuevas tendencias (Shafica Cadavid, 2015). Además, durante la ejecución de la obra, el aprovechamiento de RCD implica múltiples etapas interconectadas como lo son la generación, recolección, clasificación, reciclaje y disposición final (Hao et al., 2019). En cualquier caso, si se tiene en cuenta que para cualquier empresa constructora el objetivo de aprovechar RCD es alcanzar porcentajes para el cumplimiento de las políticas exigidas, la verdadera dificultad radica en la cantidad de residuos de construcción y demolición generados, por este motivo tener claro los índices de producción de RCD es fundamental con el fin de proponer una propuesta de aprovechamiento (Armijos, 2019).

En concordancia con lo anterior, es importante tener en cuenta que alrededor de 11,2 billones de toneladas de desechos sólidos se recolectan anualmente a nivel mundial (Organizacion de

Naciones Unidas, 2015). Así mismo, los RCD constituyen el 35% del total de residuos sólidos anuales (Llatas, 2011). Por lo cual, se puede concluir que entre 3 y 4 billones de toneladas de RCD son producidas anualmente.

A continuación, en la Tabla 1, se expone el panorama mundial se generación de residuos y los datos que concierne al porcentaje total de residuos aprovechados.

Tabla 1: Generación de Residuos Panorama Mundial (Armijos, 2019).

Países	Total de RCD Mton	Total de RCD Aprovechado Mton	Total de RCD Aprovechado %
OCEANIA			
Australia	19.3	12.0	62
ASIA			
China	1,020.0	120.0	40
Hong Kong	24.3	6.8	28
Japón	77.0	62.0	81
Taiwán	63.0	58.2	91
Tailandia	10.0	3.2	32
EUROPA			
Bélgica	40.2	34.6	86
Dinamarca	21.7	20.4	94
Finlandia	20.8	5.4	26
Francia	342.6	212.4	62
Alemania	192.3	165.4	86
Irlanda	16.6	13.3	80
Países Bajos	25.8	25.3	98
Noruega	1.3	0.9	67
Portugal	11.4	5.5	48
España	38.5	5.4	14
Suecia	10.2	n.a	n.a
Suiza	7.0	2.0	28
Reino Unido	114.2	74.2	65
AMERICA			
Estados Unidos	534.0	256.3	48
Canadá	9.0	3.0	30
México ^a	10.0	4.0	35
Brasil ^b	101.0	6.2	6
Colombia ^c	22.0	0.66	3 ^d
AFRICA			
Suráfrica	4.7	0.8	17

^aMéxico, el total de RCD generado. Fuente:(CMIC, 2014)

^bBrasil, el total de RCD generado. Fuente:(Buss et al., 2012)

^cColombia, el total de RCD generado. Fuente: (Instituto de Estudios Ambientales & Colombia, 2017)

^dColombia, porcentaje aprovechado. Fuente: (Hernandez, 2019)

Fuente:(Buss Tessaro et al., 2012; Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, 2013; Instituto de Estudios Ambientales, 2017; Tam et al., 2018)

En Oceanía, estudios indicaron que en Australia se encontró una tasa de aprovechamiento de 62% para los RCD, con casos exitosos de hasta el 72,3% para productos residuales de albañilería como concreto, asfalto, ladrillos etc. Para el caso de Nueva Zelanda, Casi todos los RCD terminan como desechos, dispuestos finalmente en vertederos (20%) o en vertederos limpios / inertes (80%). Por lo cual, el gobierno está haciendo esfuerzos para reducir esta inmensa carga de los vertederos (Akhtar & Sarmah, 2018).

Para el caso de Asia, países como China, India, Indonesia, Malasia y Tailandia, registran elevados valores de generación de residuos, tal como se puede observar en la Tabla 1. Liderado por China con 1.020 MTn, seguido por Japón, Taiwán, y Tailandia con 77, 63 y 10 MTn anuales respectivamente, ha hecho visible el agotamiento progresivo de los recursos naturales y la creciente conciencia de la gestión sostenible por parte de las economías desarrolladas y emergentes. Además, los resultados obtenidos en porcentajes de aprovechamiento reflejan una evolución cada vez mayor en términos de reciclaje y la reutilización de los RCD en proyectos de ingeniería civil (Tam et al., 2018).

En Europa, se estima que alrededor de 924 MTn de RCD fueron generados en el 2016, siendo el sector de la construcción, el sector más contaminante con un 36,4% del total de residuos generados (Eurostat, 2019). Los países con mejores resultados de aprovechamiento de RCD son Países Bajos, Dinamarca, Bélgica, Alemania e Irlanda con valores superiores al 80% y los resultados más bajos los obtuvieron España, Finlandia, Suecia y Suiza con valores del menos del 30% de aprovechamiento (Armijos, 2019; Klee, 2004).

América por su parte, consolida datos relevantes de RCD de tres países principalmente. La mayor participación se evidencia por parte de Estados Unidos con indicadores que registran valores de alrededor de 534 MTn/año, seguido de Brasil con un valor promedio de 101 MTn/año y finalmente México con 10 MTn/año. Los países mencionados anteriormente, son aquellos que se encuentran más involucrados en términos políticos e investigativos asociados al RCD, en consecuencia, evidencian porcentajes de aprovechamiento favorables de 48%, 6% y 30%, Respectivamente (Akhtar & Sarmah, 2018). Para el resto de países que constituyen el gran continente occidental se encuentran grandes diferencias en el grado de avance de la normativa referida a RCD, lo cual deja ver claramente la falta de políticas, investigación, e inversión en el tema. Sin embargo, se pueden encontrar ordenanzas municipales, en las que, por iniciativa propia,

y motivados por la necesidad de ordenar la disposición y el control de los RCD se ha legislado respecto a la materia (Mercante et al., 2009).

2.1.2 Escala Nacional

Para el caso del territorio nacional colombiano donde el aprovechamiento es aproximadamente el 3% según Hernandez (2019), los principales generadores de RCD son Bogotá, Medellín, Santiago de Cali y Cartagena de Indias, con alrededor de 6,6 MTn, 0,87 MTn, 0,5 MTn y 0,19 MTn de RCD al año respectivamente (Armijos, 2019; Chica & Beltrán, 2018; Marin, 2019; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).

En Colombia, la Resolución 0472 emitida el 28 de febrero de 2017 la cual se encuentra vigente desde el 2018 y fue establecida para el orden nacional, brinda lineamientos para el aprovechamiento y disposición final de los RCD, mediante la implementación de instrumentos y reglas para las instalaciones de gestión de estos residuos como los puntos limpios y plantas de aprovechamiento, en donde se llevarán a cabo la separación y el almacenamiento temporal con las condiciones mínimas de operación. Así mismo, se establecen los criterios ambientales para la localización y operación de los sitios de disposición final. También, establece metas de incorporación de RCD aprovechables en las obras ejecutadas por los grandes generadores. Dichas metas son de carácter gradual, con diferentes plazos de cumplimiento dependiendo de tipo de municipio. De acuerdo con la norma, la meta consiste en que los grandes generadores de residuos utilicen un porcentaje no inferior al 2% del peso total de los materiales usados en una obra hasta alcanzar un porcentaje del 30% que será alcanzado al incrementando un 2% anual gradual con respecto al valor porcentual acumulado del anterior año. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

2.1.3 Escala Municipal

Teniendo en cuenta que el crecimiento poblacional registro valores del 18% en el último censo realizado en la ciudad de Santiago de Cali (El Pais, 2019), es imperativo que se analice la inclusión parcial de residuos como agregados y la implantación de herramientas que permita mitigar el impacto ambiental que la industria de la construcción está generando (Armijos, 2019). Además, para la ciudad de Santiago de Cali y sus alrededores, según diferentes autores se estiman producciones aproximadas de RCD de 1 millón de m³ (Chica & Beltrán, 2018) o 2500 m³/día (Alcaldía de Santiago de Cali, 2020). De los cuales, cerca de 76,6% es aportado por las

constructoras y obras públicas en lo que se denomina “la generación formal” y 23,4% restante son aportados por construcciones y remodelaciones particulares, y el llamado sector informal. (Sanchez et al., 2013).

El Decreto Municipal 0771 de 2018, regula la gestión integral de RCD en Cali y contiene las herramientas necesarias para que el Municipio y sus dependencias adelanten un buen manejo y regulación de dichos residuos (Alcaldía de Santiago de Cali, 2018). A pesar de esto, en la ciudad el aprovechamiento no ha rendido los resultados esperados debido principalmente a la falta de estaciones de transferencia en la ciudad que permitan el manejo y la separación de los materiales potencialmente aprovechables al tener menores volúmenes acopiados en comparación con una escombrera. En la medida en que las prácticas de aprovechamiento en la ciudad se hagan más comunes, estos lugares dejarán de ser estaciones de transferencia para convertirse en estaciones de acopio y tratamiento de los RCD (Mattey Centeno et al., 2015).

Por otro lado, es importante recalcar que actualmente el mercado de transformación de RCD autorizado por el DAGMA en la ciudad de Cali se concentra principalmente en 12 empresas y a nivel del Valle del Cauca únicamente 23 empresas están autorizadas por la CVC para la transformación de RCD (CVC, 2021). Además, estas empresas en su totalidad se dedican al reciclaje de todo tipo de materiales que tengan potencial de aprovechamiento, no son exclusivas únicamente de RCD.

Sumado a lo anterior, después de realizar la revisión de información relacionada con el aprovechamiento de RCD de las constructoras se encontró que, en la ciudad de Cali, ninguna empresa de construcción de vivienda cuenta con equipos o maquinaria destinada específicamente a la transformación de RCD al interior de sus instalaciones. Lo cual indica que por parte de las constructoras de vivienda actualmente no apuestan por la inversión de esta clase de dispositivos y optan por descargar la responsabilidad de los residuos generados en un gestor externo.

2.2 Gestión de Residuos en la Construcción

En los estudios de factibilidad y durante los análisis de costos del ciclo de vida de un proyecto la gestión de RCD juega un papel fundamental, pues en la actualidad actividades dirigidas a prevenir, reducir, aprovechar y disponer de residuos implican gastos considerables en las diferentes etapas de un proyecto de construcción. Tener en cuenta estos procesos de gestión y sus respectivos costos iniciales, operativos, de reemplazo y de final de vida incluyendo cualquier valor

residual (valor de eliminación, reventa y valor de recuperación) son relevantes a nivel de gestión de cartera, activos e instalaciones para alcanzar una efectiva toma de decisiones a nivel global del proyecto (Abouhamad & Abu-hamd, 2019).

2.2.1 Clasificación

En Colombia, los RCD, anteriormente conocidos como escombros, según la Resolución 0472 de 2017 se definen como todo residuo sólido que resulta de actividades tales como demolición, excavación, construcción y/o mejoras locativas de obra civiles o de otras actividades conexas.

También, en el Decreto 838 de 2005 y Decreto 4741 de 2005 de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, se presenta una clasificación que da pautas para diferenciar los residuos que tienen un potencial para su aprovechamiento y los que por un inadecuado manejo pueden perder este potencial (Marin, 2019). En la Tabla 2, se puede observar la clasificación de los respectivos RCD según el Decreto 0771 de 2018 que se presentan en las actividades relacionadas con la construcción.

Tabla 2: Cartilla Plan de Residuos de Construcción y Demolición (Alcaldía de Santiago de Cali, 2018; Ortega, Aida Inírida; Casas, Helber Leonardo; Figueroa, 2015)

Categoría	Clase	Componentes
RCD Susceptibles de aprovechamiento	Residuos pétreos	Concretos, cerámicos, ladrillos, arenas, cantos, bloques, fragmentos de roca, baldosa, mortero, sobrantes de mezclas de cementos, entre otros
	Residuos de excavación y sobrantes de adecuación de terreno	Coberturas vegetales, tierras, limos, materiales pétreos productos de excavación, entre otros
	Residuos de cimentación	Pilotajes, bentonitas, y similares
	Residuos no pétreos	Cartones, papel, siliconas, vidrios, cauchos, metales, cobres, aluminio, plásticos, PVC, polietileno, policarbonato, espumosa, compuestos de madera, drywall, entre otros.

Categoría	Clase	Componentes
RCD no susceptibles de aprovechamiento	Residuos con características de peligrosidad (corrosivos, reactivos, radioactivos, explosivos, tóxicos, patógenos, biológicos).	Desechos de productos químicos, emulsiones, alquitrán, pinturas, disolventes, aceites, resinas, plastificantes, tintas, betunes, barnices, tejas de asbesto, escorias, plomo, cenizas volantes, luminarias, desechos explosivos
	Residuos contaminados	Materiales pertenecientes a los grupos anteriores que se encuentren contaminados con residuos peligrosos. Estos deben ser dispuestos como residuos peligrosos
	Composición no aprovechable	Residuos que por sus características o contaminación con otros residuos hayan perdido las características propias para su aprovechamiento

Por otro lado, es importante mencionar que a partir de los residuos aprovechables **pétreos** se puede obtener un producto llamado árido (GEAR, 2011) el cual evidencia una forma granular que se obtiene de triturar, seleccionar y procesar los RCD pétreos, tales como hormigón, ladrillo, albañilería y cerámica (Guzmán & Soler, 2019).

Según Guzmán & Soler (2019), los áridos reciclados se dividen en diferentes categorías según sus características específicas de composición de material:

- **Áridos reciclados procedentes de hormigón.**
- **Áridos procedentes de capas de aglomerado asfáltico.**
- **Otros áridos reciclados.** (procedentes de residuos cerámicos limpios, y los áridos procedentes de mezclas).

Por otro lado, es importante tener en cuenta que, al tratarse de materiales reciclados provenientes de residuos, estos poseen ciertas desventajas en sus propiedades físico químicas que usualmente son bastante evidentes y pueden llegar a representar ciertas limitaciones. Entre estas características resaltan principalmente las altas tasas de absorción, la poca resistencia al desgaste y densidades de compactación mayores.

2.2.2 Normativa

A lo largo de la historia los diferentes países a nivel mundial se han planteado desarrollar objetivos conforme a los sectores de mayor desarrollo económico. En el caso de la construcción, Colombia en la actualidad contempla la Política Nacional para la Gestión de Residuos Sólidos que establece los parámetros mínimos que se deben llevar a cabo para un adecuado manejo y gestión de los residuos sólidos y RCD en el territorio nacional (Mattey Centeno et al., 2015). En la Tabla 3, se puede observar como en los últimos 20 años se han concretado diferentes legislaciones debido al gran dinamismo y consecuencias tanto positivas como negativas que abarca el RCD.

Tabla 3: Antecedentes del marco normativo para el manejo de RCD (Modificado de Armijos, 2019; Mattey Centeno et al., 2015).

Normativa	Año de expedición	Objeto
Decreto 2811	1974	Código de los recursos nacionales. Artículo 37: Responsabilidad de ellos municipios en la gestión de sus residuos.
Ley 99	1993	Creación del SINA. Artículo 66: Responsabilidades de las autoridades municipales en el control y seguimiento de residuos
Resolución 541	1994	Cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros. Artículo 3: Requerimientos para la gestión integral y disposición final de escombros.
Ley 142	1994	Presentación del servicio público y aseo. Artículo 104: Restricciones de los generadores Artículo 113: Competencias de las autoridades de policía en la aplicación de sanciones y correctivos.
Decreto 357	1997	Regula el manejo transporte y Disposición final de Escombros y materiales de construcción. En esta norma se establecen las cantidades, transporte y disposición final de escombros, los cuales son emitidos dentro de las actividades asociadas a las construcciones.
Decreto 1713	2002	Gestión integral de los residuos sólidos. Artículo 44: Responsabilidades de los generadores de escombros.
Ley 769	2002	Código Nacional de tránsito. Artículo 102: Responsabilidad de las autoridades de tránsito en la vigilancia, control y sanciones para generadores de residuos
Resolución 1042	2003	Metodología para la elaboración de los planes de gestión integral de residuos sólidos.
Decreto 0475	2004	Adopción del plan de gestión integral de residuos sólidos de Cali (PGIRS) Programa para la gestión integral de escombros de Santiago de Cali.

Normativa	Año de expedición	Objeto
Decreto 0291	2005	Por medio del cual se regula la gestión integral de escombros en el municipio de Santiago de Cali. Artículo 16. Requerimiento para los Vehículos que Transportan de Escombros. Artículo 18: Requerimientos para la gestión y Transporte de Escombros. Artículo 19: Restricción para el transporte de escombros en vías y horarios. Artículo 28: Estaciones de Transferencia y Centros de Acopio. Artículo 59: Creación del Comité Municipal de Escombros.
Decreto 0059	2009	por medio del cual se adoptan los manuales para la implementación de programas de gestión integral de residuos sólidos.
Ley 1259	2008	Comparendo Ambiental; Instrumento de control y sanción para los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros.
Resolución 1115	2012	Adoptan los lineamientos Técnico – Ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción y demolición en Bogotá D.C., dispone las obligaciones que deben tener los grandes productores y poseedores de RCD, quienes deben informar por escrito a la Secretaria Distrital de Ambiente la ubicación, la naturaleza el material, deben registrarse ante esta secretaría por una sola vez en la página web y recibir el PIN, tener en sitio de la obra un inventario actualizado permanentemente de la cantidad y tipo de RCD generados.
Decreto 2981	2013	Artículo 45: Contiene aspectos de los escombros como la recolección, responsabilidad de los productores. Se establecen las actividades y condiciones para los municipios, distritos y prestadoras del servicio de aseo para el desarrollo del respectivo plan de gestión integral de residuos sólidos.
Resolución 0472	2017	Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de Construcción y Demolición (RCD) y se dictan otras disposiciones, aplica a todas las personas naturales y jurídicas que generen, recolecten, transporten, almacenen, aprovechen y dispongan Residuos de Construcción y Demolición (RCD) de las obras civiles o de otras actividades conexas en el territorio nacional.
Decreto 0771	2018	Por el cual se reglamenta el control a la gestión integral de los residuos de construcción y demolición – RCD en Santiago de Cali y se dictan otras disposiciones. En general, en este acto administrativo municipal se reglamenta la Resolución 0472 de 2017, considerando el inicio de la meta en el 5% y subiendo dos puntos anuales hasta alcanzar el 30% en aprovechamiento del peso total de los materiales de construcción empleados.

Es importante evidenciar con el paso del tiempo se ha acumulado información técnica con respecto al RCD que ha servido como soporte para desarrollar legislación y normatividad cada vez más robusta y exigente tanto a nivel global como local. A pesar de esto, muchas de estas leyes

también han sido formuladas aprovechando la legislación de otras naciones más desarrolladas y su aplicación en el territorio nacional ha resultado infructuosa en razón de las diferencias existentes, como, por ejemplo, la cultura ambiental de sus habitantes (Hincapié Henao & Aguja López, 2003).

2.2.3 Ciclo de Vida de un Proyecto de Construcción

Implementar la gestión de RCD en todas las etapas del proceso del proyecto sin restricción alguna es sin duda un gran desafío para una industria tan compleja como la de la construcción, sin embargo, asociar el aprovechamiento de RCD desde la etapa de diseño puede generar resultados prometedores si se realiza un exhaustivo análisis del posible costo de ciclo de vida del proyecto, ya que es en este punto donde se toman decisiones como las metodologías constructivas y materiales a ser empleados. Por otro lado, en las otras tres etapas siguientes, los involucrados en la gestión de residuos son más participativos, por lo cual, la fase inicial donde se diseña y planifica el proyecto es aquella que permite prever la generación de RCD y calcular la necesidad del aprovechamiento.

En la Figura 1, se puede observar los diferentes actores en las etapas del ciclo de vida de un proyecto de construcción, y en contraposición a lo que plantean los objetivos a nivel mundial en materia de acción por el clima, se evidencia la falta inclusión de gestión y el aprovechamiento de los residuos de la construcción, a excepción de la etapa final donde se incluye a la industria de reciclaje durante los eventos de demolición.

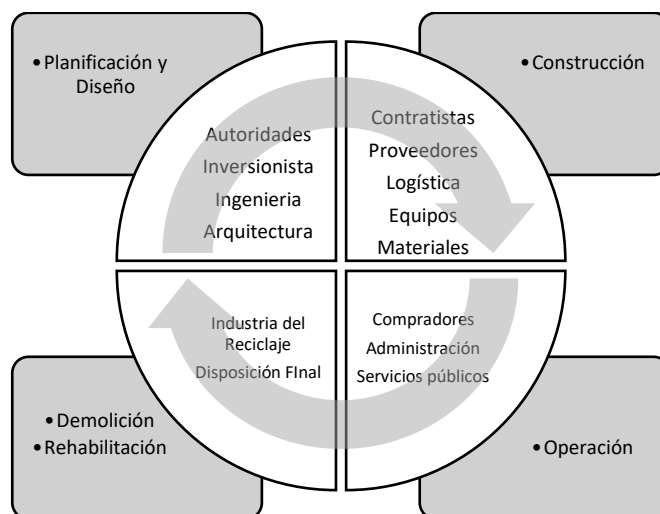


Figura 1: Ciclo de vida de las edificaciones (Modificado de Brick, 2008).

De manera análoga, es importante tener en cuenta que, al incorporar metodologías de aprovechamiento en el ciclo de vida de un proyecto de construcción, desde una perspectiva de producción circular, se amplía el espectro de utilidades y de beneficios para una empresa. Algunos de los cuales pueden a ser económicos, publicitarios, técnicos, en inclusive hasta tributarios.

Haciendo alusión a lo anterior, queda claro que el impacto ambiental y las pérdidas económicas que generan tanto los desperdicios como el mal manejo de las actividades de obra civil son las principales razones por las cuales una empresa debe abogar por gestionar RCD a partir de sistemas eficaces y sostenibles. Además, se estima que alrededor del 75% de los RCD generados como desperdicio durante las actividades de obra, son aprovechables (Martínez, 2018), cifra que refleja las grandes oportunidades que se encuentran asociadas a la temática de la gestión y el aprovechamiento del RCD.

2.3 Metodologías de aprovechamiento, tratamiento y aplicación de los RCD

En la actualidad existen grandes grupos de actividades en los cuales los RCD alcanzan suficiente potencial como para ser aprovechados de forma exitosa. A continuación, en la Figura 2 se exponen los grupos mencionados anteriormente.

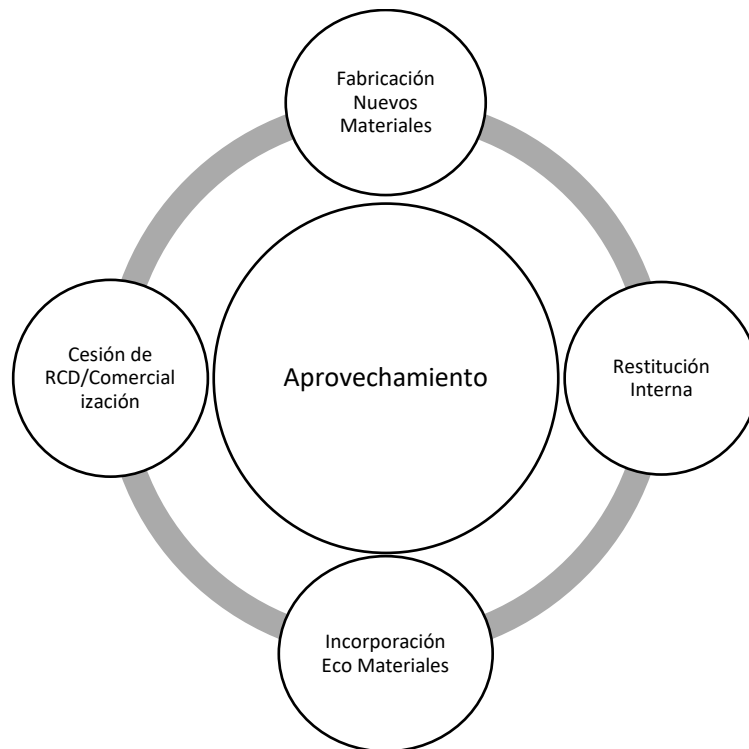


Figura 2: Grupos de aprovechamiento RCD (Modificado de Martínez, 2018).

Como presenta la Figura 2, cada grupo de actividades depende y puede estar interconectado entre sí con los demás grupos, de esto, se puede concluir que el aprovechamiento de RCD comprende una amplia gama de soluciones productivas circulares. De forma general se puede destacar actividades interconectadas tales como compra, venta, adquisición, diseño, investigación, fabricación, donación, mejoramiento producción, comercialización, intercambio, traslado, incorporación de materiales susceptibles procesos asociados a mezclas, conglomerados, prefabricados, rellenos, mejoramientos, etc. (Wu et al., 2019).

Respecto de la utilización de aquellos residuos que el inventario general a nivel mundial reportó con mayor oportunidad debido a su disponibilidad por su volumen de producción, los más relevantes fueron la reutilización de residuos de concreto, mampostería, roturas cerámicas, y productos de excavaciones (Chica & Beltrán, 2018).

Dentro de los RCD, los residuos de concreto sobresalen debido a que son el residuo con mayor volumen de producción. Debido al impacto ambiental y a sus volúmenes de generación, el aprovechamiento de este tipo de RCD puede resultar favorable en condiciones normales de oferta y demanda de agregados utilizados en la producción de concreto (Gomes et al., 2015).

Actualmente, se destacan cuatro principales metodologías de aprovechamiento de residuos de concreto: Fabricación de concretos empleando RCD como sustituto total de agregados naturales o como de sustituto de las fracciones gruesas o finas; elaboración de prefabricados como bloques divisorios, bordillos y tuberías; uso en carreteras como base y sub-base; y aprovechamiento de los residuos de hormigón como materia prima para la producción de nuevos productos de alta calidad (Chica & Beltrán, 2018).

Es importante tener en cuenta que el uso de agregados reciclados provenientes de residuos de concreto como sustituto de agregados naturales en la fabricación de concretos y morteros es el tipo de reutilización más común. Sin embargo, cualquier porcentaje de remplazo representa una disminución de las propiedades físicas y mecánicas de los productos finales (Padmini et al., 2009).

De igual forma sucede con los residuos provenientes de actividades de mampostería, pues la incorporación de ladrillos de arcilla triturada proveniente de actividades en obra, redujo la densidad, la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción de los concretos debido a la alta absorción de agua de las partículas de ladrillo triturado de arcilla. (Poon & Chan, 2006). A pesar de estos resultados, estos RCD pueden emplearse en la producción de ladrillos, bloques y

adoquines, pues para estos elementos se requieren mezclas menos exigentes en cuanto a manejabilidad y resistencia (Mueller et al., 2015), o en su defecto, emplearse como estabilizantes de terrenos pues los RCD reciclados aumentan la capacidad estructural significativamente (Silva et al., 2019; Zhang et al., 2019).

A pesar que el volumen de producción de residuos derivados de la cerámica cocida es significativamente más bajo en comparación a otros residuos, desde la perspectiva de reutilización tienen un gran potencial de aprovechamiento gracias a que algunos poseen una alta actividad puzolánica (Chica & Beltrán, 2018). Por otro lado, aquellos que poseen propiedades de menor reacción de puzolanas, pueden ser utilizados como agregados finos en la fabricación de adoquines, morteros de mampostería a base de cemento y concretos tanto asfálticos como convencionales (Medina et al., 2012; Saiz Martínez et al., 2016).

Por otro lado, se ha encontrado que residuos provenientes de excavaciones y movimientos de tierra pueden tener un gran potencial como agregados sustitutos a los habitualmente producidos en grandes canteras, tales como materias primas para la fabricación de ladrillos o bloques estabilizados, junto con diversos materiales como los cementicios y las escorias de alto horno (Sekhar & Nayak, 2018). También son utilizados como método de aprovechamiento en actividades de mejoramiento de suelos, rellenos, nivelaciones, diques y demás actividades que impliquen terraplén (Armijos, 2019).

De manera general, la Tabla 4 enseña un resumen de las diferentes aplicaciones que se encuentran aplicables en la industria de la construcción y que además en materia de investigación han presentado resultados favorables.

Tabla 4: Aplicaciones de aprovechamiento de RCD (Armijos, 2019; Marin, 2019)

Aplicación	Aprovechamiento/uso potencial
Concreto	Morteros con agregados finos reciclados
	Concreto con agregados gruesos reciclados
	Sustitución parcial de agregado grueso en la fabricación de elementos estructurales
	Sustitución total de agregados naturales para mezclas de concreto
Pavimento	Mezclas de concreto con fibras de acero y RCD
	Pavimento con sustitución parcial de agregados para vías de baja intensidad de tráfico

Aplicación	Aprovechamiento/uso potencial
	Utilización de RCD para construcción de estructura de Base de pavimentos de poco tráfico
	Implementación de RCD para estructuras Sub bases y Suelo cemento
Prefabricados	Implementación de RCD en bloques prefabricados destinados a ciclo rutas y senderos peatonales
	Uso de RCD en bordillos, bovedillas, ladrillos, adoquines, losetas y bloques macizos (elementos de mampostería y prefabricados)
Suelos	Mejoramiento de suelos
	Rellenos
	Diques
	Estabilización de taludes

2.3.1 *Proceso de Producción*

Para el aprovechamiento de los RCD mencionados anteriormente, existe un proceso de producción general que depende de las proporciones, los volúmenes y las características del resultado final deseado. Según Bravo (2010) y Marin (2019) este proceso se puede dividir en las siguientes etapas:

Control de admisión: conjunto de procedimientos de control de documentación, registro e identificación/ evaluación que permiten realizar una clasificación inicial de la materia prima y garantizar la trazabilidad del material aceptado en planta.

Pre-Tratamiento: proceso de separación mecánica o manual de los elementos considerados contaminantes de los RCD.

Pre cribado: consiste en la separación de los elementos de excesivo tamaño o de tamaño demasiado pequeño. Este procedimiento previo al proceso de trituración y clasificación

Limpieza y Clasificación: proceso de separación más refinado de las partículas de residuos producidas que utiliza métodos de separación por gravedad, magnetismo, a través del uso de agua o aire, permitiendo también la eliminación de sustancias peligrosas.

Trituración: proceso mecánico de reducción del tamaño de las partículas y de separación de componentes de diferentes fracciones del material procesado.

Cribado: proceso de separación de las partículas por usos granulométricos específicos, que otorgan las características finales al producto uso granulométrico.

De forma análoga, en la Tabla 5 se expone una clasificación similar utilizada en Europa, específicamente en España por la guía española de áridos reciclados procedentes de RCD en la cual se puede observar de forma detallada los procesos que se encuentran involucrados durante el proceso de producción de agregados reciclados.

Tabla 5: Etapas y procesos dentro de la gestión y el aprovechamiento de RCD (GEAR, 2011)

Etapas	Tipo de Proceso	Proceso
Control de admisión	Manual	Control organoléptico inicial (color, olor y textura)
	Manual y/o informático	Documentación de origen
	Manual	Identificación de contaminantes
	Manual y/o informático	Pesaje
Pre tratamiento	Manual	Definición de acopios específicos por material de entrada
	Mecánico	Separación mecánica en el acopio (uso de maquinaria y equipos)
Pre cribado	Mecánico	Alimentador pre cribado
Limpieza y clasificación	Manual	Cabina de triaje
	Mecánico	Tromel
		Electroimanes
		Lavadoras
		Sopladores
Trituración primaria	Mecánico	Ciclón
		Mandíbulas
		Impacto
Cribado	Mecánico	Conos
		Cintas y Criba

Teniendo en cuenta toda la información mencionada anteriormente, se puede concluir que el aprovechamiento de RCD es un tema que incluye conceptos bastante complejos y dinámicos. Desarrollar procesos de aprovechamiento de RCD adecuado es un reto para los proyectos de construcción donde se debe tener en cuenta que los diferentes tipos de metodologías de aprovechamiento, tratamiento y aplicación de RCD se ajusten a los distintos panoramas del sector a nivel general en aspectos normativos y técnicos, pero a nivel un específico en consideraciones relacionadas al proyecto y a la empresa en cuestión.

Además, el tratamiento que se pretenda a las variables que lo incluyen debe ser evaluado adecuadamente bajo rigurosos conocimientos teóricos pues ajustarse al alcance y al cumplimiento técnico, económico y normativo es un trabajo que debe incorporar todos los fenómenos tanto endógenos como exógenos que pueden presentarse específicamente en cada proyecto de construcción durante todo su ciclo de vida. De otro modo, establecer medidas de cumplimiento que no se encuentren acorde a las variables propias y únicas de cada proyecto puede acarrear no únicamente sobrecostos económicos para la empresa encargada de la construcción sino también en asuntos legales.

3. METODOLOGÍA

La metodología de investigación utilizada en este estudio de caso se abordó en dos etapas; la primera, consistió en una investigación no experimental transversal con una metodología inicialmente descriptiva. Esta, se centró en recopilar y transcribir datos e información asociados al contexto de las variables que deben ser tenidas en cuenta para el caso específico. Entre estos datos e información se incluye la generación de residuos, posibles metodologías de aprovechamiento, tecnologías factibles de construcción, análisis de sitio; en general: información de utilidad para el análisis y profundizaciones que posteriormente puedan ser utilizadas en estrategias y aplicaciones de gestión de RCD.

En la segunda etapa se finalizó con una investigación no experimental de correlación-causa que describe como vínculos entre las variables mencionadas anteriormente fueron de utilidad para formular una propuesta de aprovechamiento de residuos de RCD acorde en términos técnicos, económicos y normativos para este caso en específico (Resolución N° 0472-2017 y el Decreto 0771-2018 de Santiago de Cali). En la Figura 3, se exponen las etapas que hacen parte de la metodología de trabajo desde la selección del caso hasta su etapa final.

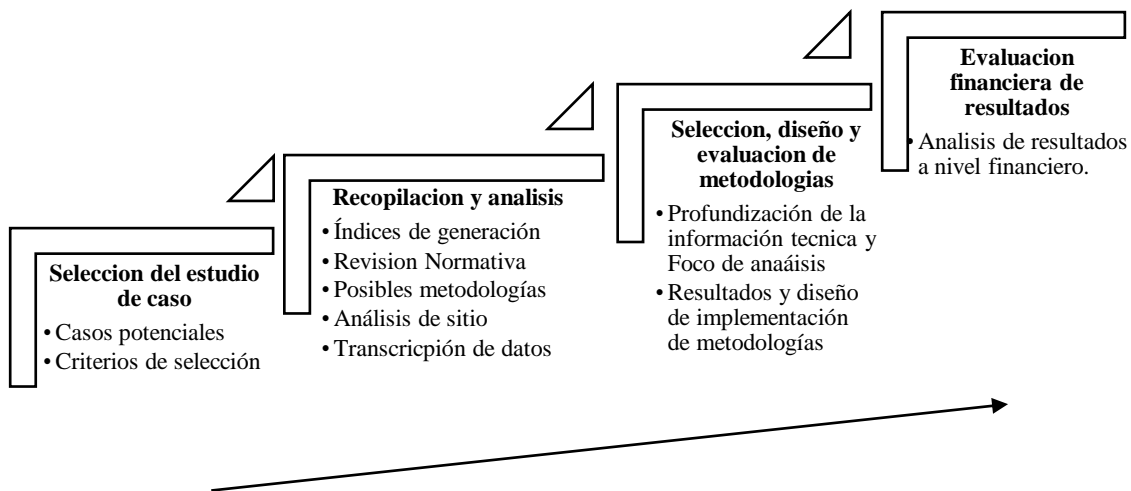


Figura 3: Metodología de trabajo.

El desarrollo en este trabajo de grado se enfocó en un estudio de caso único el cual escenifica las condiciones reales de un proyecto de vivienda perteneciente a la constructora Bolívar en a la zona urbana o rural de la ciudad de Santiago de Cali; por lo cual, se realizó la respectiva identificación de los casos potenciales y los criterios de selección que definan el caso de estudio.

3.1 Selección del estudio de caso

3.1.1 Casos potenciales

Teniendo en cuenta que la empresa constructora en cuestión cuenta con diferentes macro proyectos de vivienda actualmente, durante la primera etapa metodológica se compendió los diferentes casos potenciales de estudio. En la Tabla 6 se presentan los diferentes macro proyectos de vivienda de la constructora elegidos como casos potenciales de estudio:

Tabla 6: Casos potenciales de estudio.

Nombre	Viveros	Ciudad del Valle	Ciudad Pacífica	Belorizonte	Parque Natura
Abreviatura	MP.1	MP.2	MP.3	MP.4	MP.5

Una vez identificados los posibles casos se procede a realizar una matriz de criterios por puntaje, la cual, permite determinar factores de precalificación sin importar que los datos a evaluar sean cuantitativos o cualitativos, tal como se enseña a continuación en la Tabla 7:

Tabla 7: Puntajes asociados a los criterios de selección de caso

Puntaje	Tipo	Cantidad proyectos residenciales	Ubicación	Área de construcción	Estado actual	Métodos constructivos
Bajo=1	Ciudad residencial	$X < 5$	Zona Rural	Mediana/Baja	Ventas	$X = 1$
Medio=2	Ciudad residencial Mixta	$5 < X < 10$	Zona expansión	Extensa	Punto equilibrio constructivo	$X = 2$
Alto=3	Parque Residencial	$X > 10$	Zona urbana	Muy Extensa	Construcción	$X \geq 3$

Continuando, para cada uno de los criterios mencionados anteriormente se asoció un puntaje según el macro proyecto en cuestión y de lo anterior se obtuvo la Tabla 8, la cual tuvo los siguientes resultados:

Tabla 8: Matriz de puntuación

Macro Proyecto	Tipo	Cantidad proyectos residenciales	Ubicación	Área de construcción	Estado actual	Métodos constructivos
MP.1	Parque Residencial	6	Zona Sur	Extensa	Ventas	2
MP.2	Parque Residencial	11	Zona de Expansión	Muy Extensa	Construcción	3
MP.3	Ciudad Residencial	13	Zona Sur	Extensa	Construcción	3
MP.4	Ciudad Residencial	2	Zona expansión	Mediana	Ventas	1
MP.5	Parque Residencial	9	Zona expansión	Muy Extensa	Construcción	3

Teniendo en cuenta la clasificación de los criterios expuesta anteriormente, el proyecto con el mayor puntaje obtenido fue el MP.2 pues según sus características alcanza un puntaje global de 17 lo que equivale al 94.44% siendo 18 el puntaje máximo (100%) tal como se enseña a continuación en la Tabla 9:

Tabla 9: Resultado Matriz de Selección

Macro proyecto	MP.1	MP.2	MP.3	MP.4	MP.5
Puntaje Final	10	17	15	6	13
Porcentaje Alcanzado	55.56%	94.44%	83.33%	33.33%	72.22%

3.1.2 Caso seleccionado

Actualmente, el macro proyecto Ciudad del Valle (MP.2) es una intervención que vincula instrumentos de planeación, financiación y gestión del territorio, la cual, tiene como objeto ejecutar una operación de gran escala que contribuya al desarrollo de los suelos no urbanizados en la zona de expansión urbana del sector norte/oriente de la ciudad de Cali, específicamente el municipio de Candelaria.

Adicionalmente, tal como su nombre lo indica, el proyecto hace referencia a un conjunto de intervenciones civiles de diferente índole, tales como:

- Corredores, ciclo rutas y sendero de tránsito peatonal
- Parques recreativos
- Zonas deportivas y comerciales
- Vías urbanas
- Red urbana de aguas residuales y redes domesticas
- Redes de electricidad e iluminación
- Parqueaderos
- Zonas Verdes

A continuación, en la Figura 4 se presenta un mapa en planta del diseño propuesto para para el macro proyecto Ciudad del Valle (MP.3)

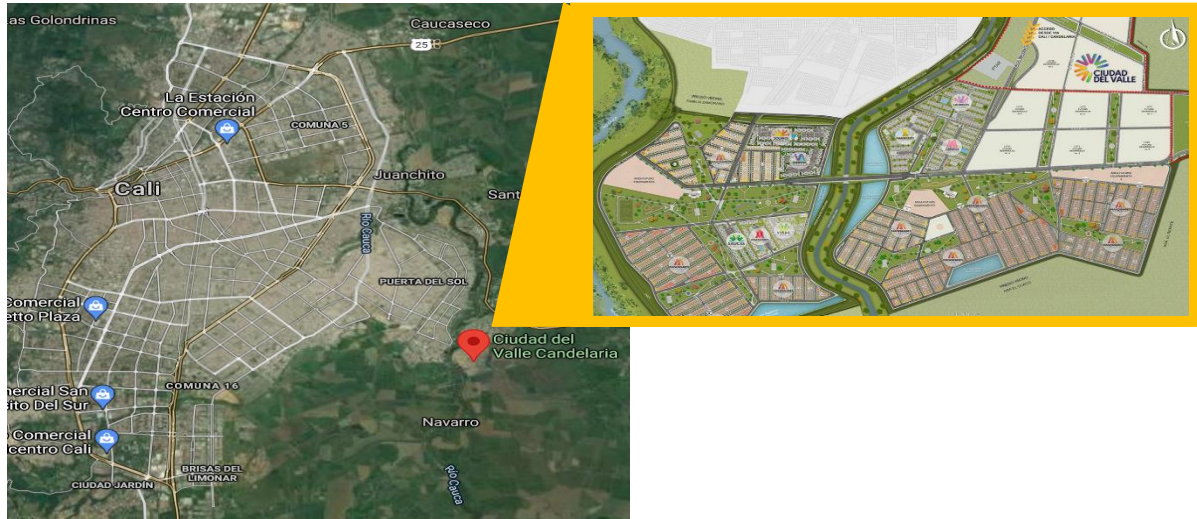


Figura 4: Distribución en planta macro proyecto Ciudad del Valle (Constructora Bolívar, 2019).

Por otro lado, el macro proyecto está constituido por once (11) proyectos diferentes, los cuales tienen diferentes sistemas constructivos, diseños, inventario, área de construcción y acabados. Entre los diferentes proyectos, cinco (5) de ellos se encuentran en proceso de construcción y seis (6) de ellos se encuentran vendidos sin construir o en etapa de ventas. Teniendo en cuenta el estado actual del macro proyecto, los datos de interés estarán asociados al proyecto Manzanares pues se encuentra en etapa de ejecución, posee la mayor envergadura del territorio de construcción del macro proyecto y el inventario de vivienda es considerable con respecto a los demás proyectos. A

continuación, la Figura 5 indica las etapas 4 y 5 las cuales se encontraban en ejecución durante el proceso de investigación.



Figura 5: Localización y distribución de proyecto Manzanares Etapa 4 y 5 (Constructora Bolívar, 2019).

El proyecto Manzanares consiste en 2,364 unidades de vivienda individual (Casa), actualmente se encuentra en el mes 17 de ejecución de obra, consiste un sistema constructivo de mampostería estructural, cada unidad posee 45.07 m² construidos con dos (2) niveles; su primer nivel consta de un espacio compartido de sala/comedor, patio y zona de oficios. Para el segundo el nivel, se tiene una distribución de una habitación principal con vestier propio, un área destinada para un baño independiente de la habitación y una habitación secundaria.

Cada unidad de vivienda tiene un costo de \$89,500,000 (Ochenta y nueve millones quinientos mil pesos colombianos), con un área privada de 40.98m², tal como se puede observar en el diseño arquitectónico y estructural de la Figura 6 y 7; su valor por metro cuadrado privado es de \$2,183,992 y está sectorizado como estrato 3, posee parqueadero propio, es un conjunto cerrado con áreas de esparcimiento independientes y se encuentra clasificado como vivienda de interés social (VIS). Actualmente, el proyecto manzanares se proyecta para 10 sectores diferentes, de los cuales el 1,2 y 3 ya finalizaron su construcción, el 4 y 5 se encuentran en construcción con un área

de construcción aproximada de 96,616 m², por tanto, estos dos sectores mencionados anteriormente son los sectores en los cuales se enfocará el estudio.



Figura 6: Planta arquitectónica de producto inmobiliario, Proyecto Manzanares (Constructora Bolívar, 2019).

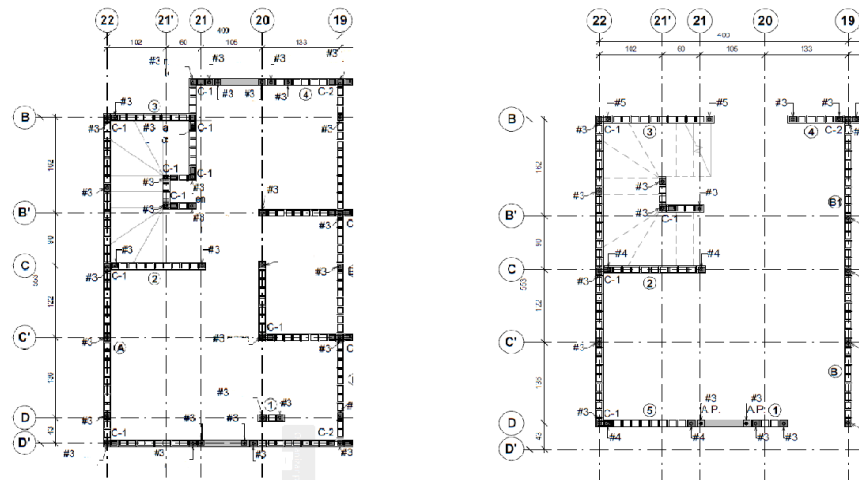


Figura 7: Planta Estructural de producto inmobiliario, Proyecto Manzanares (Constructora Bolívar, 2019).

3.2 Gestión de residuos de la empresa constructora

Actualmente, la empresa se encuentra ubicada entre las constructoras más reconocidas en Cali, además, se caracteriza a nivel nacional por ser una constructora con una alta competitividad al generar proyectos en ciudades como Bogotá, Medellín, Armenia y diferentes ciudades del departamento del Valle del Cauca.

Como programa ambiental obligatorio, la empresa a nivel local cuenta con dos empresas sub contratistas encargadas de regular todos los procesos relacionados al tema de protección y conservación ambiental, que, además, dan cumplimiento a las diferentes normativas ambientales asociadas al manejo de RCD. Siendo esta la situación, estas empresas de consultoría son las encargadas de realizar el seguimiento previo al inicio del proyecto, de reportar mensualmente a las autoridades ambientales la generación de residuos y de liquidar en paz y salvo todos los proyectos de la constructora ante la autoridad competente; en este caso la CVC (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca).

Entre todos los documentos y formatos asociados a la gestión ambiental según lo estipula la ley, estas empresas también dan cumplimiento a las exigencias del Decreto 0771 y la Resolución 0472; pues estas presentan diferentes exigencias según el peso total de la estructura construida de cada proyecto y sus características. Por otro lado, esta clase de políticas ha incentivado la responsabilidad ética empresarial, motivo por el cual la empresa también cuenta con diferentes programas asociados a la temática específica de los residuos de los cuales existen actualmente dos programas internos asociados a la mitigación y aprovechamiento de RCD:

- **Programa CICLOS:** el cual busca TRANSFORMAR los RCD pétreos generados por las obras civiles y procesos de construcción asociados a las diferentes etapas de los proyectos tales como, movimientos de tierras, cimentación, estructura, acabados y urbanismo; todo esto a partir de 3 pasos:
 - Investigación: estudios de transformación de elementos aprovechables que puedan ser implementados en los proyectos que se estén ejecutando en la constructora.
 - Transformación: implementación de los métodos investigados directamente en obra, cumpliendo con las exigencias técnicas asociadas.
 - Reincorporación: aplicación directa de los métodos en obra y aprovechamiento de la generación de RCD.
- **Programa VERDE BOLIVAR:** el cual busca GESTIONAR todos los RCD al garantizar la correcta separación en la fuente y disposición. Este programa se compone de 3 componentes de gestión fundamentales:

- Educación ambiental: concientizar y educar al personal encargado de la ejecución de obra.
- Centros de acopio: disponer de espacios adecuados y segmentados.
- Plan de retoma: clasificación, recuperación y entrega a responsables.

Teniendo en cuenta estos dos programas, la constructora ha evidenciado su responsabilidad en el tema ambiental, y consecuentemente ambos proyectos han tenido resultados favorables. Por ejemplo, para el caso del programa CICLOS, hasta el momento, se han generado investigaciones y aplicaciones de tres productos derivados del ladrillo, los cuales son rellenos compactados derivados de cascajo de ladrillo, concretos con incorporación de agregados reciclados y polvo cerámico para la ceba de concreto bombeado. Con esto, se proponen ahorrar 500 millones de pesos anuales, al reducir 200 millones de cemento al año, 168 millones menos en gastos de agregados para concreto, 32 millones de ahorro en material seleccionado para rellenos y 10 millones en gastos de disposición final (Constructora Bolívar, 2020).

Por otro lado, para el programa VERDE BOLIVAR, a partir de los tres componentes de gestión ambiental ya mencionados anteriormente ha logrado un cambio cultural con los contratistas cuya responsabilidad en el manejo de los residuos ha generado un retorno del 100% de residuos provenientes de empaques, cajas, estibas, cuarterones envases, restantes, desperdicios y tablas a los centros de acopio y separación en un porcentaje considerable. Con esto, la empresa ha garantizado una reducción en los costos de disposición al entregar estos residuos clasificados y segmentados a los gestores ambientales por costos menores a los de transporte y disposición final; sin embargo, las estimaciones a nivel económico no logran ser registradas con exactitud debido al carácter poco cuantitativo del programa y sus resultados.

3.3 Metodología de cuantificación de generación de RCD

Una vez seleccionado el caso de estudio, se procedió a adquirir y transcribir datos e información asociados al contexto de las variables de RCD que son importantes para desarrollar un análisis a profundidad del proyecto. Los datos adquiridos de campo fueron proporcionados inicialmente por parte de los encargados de obra (ingenieros civiles residentes) quienes reportaron dicha información al subcontratista ambiental quien cumple labores de auditoría ambiental y se encarga de segregar y segmentar toda la información que debe ser reportada a las autoridades ambientales para dar cumplimiento a la Resolución 0472.

Esta información se recolectó entre los meses de enero a diciembre, es decir, a lo largo del primer y segundo semestre del año 2020 según la construcción de la obra avanzaba. Por lo tanto, para el mes de agosto, por parte del subcontratista ambiental y auditor se hizo entrega de una base de datos de generación de RCD en la cual se encontraba la información de producción del proyecto Manzanares etapa 4 y 5 del primer semestre desagregada y liberada. Posteriormente, en el mes de marzo de 2021 se entregó la información final correspondiente al periodo restante entre agosto y diciembre de 2020 los cuales hacen referencia a remanentes de construcción (1.88% del total de RCD pétreos producidos por el proyecto Manzanares 4 y 5).

3.4 Calculo de índices de generación

Una vez seleccionado el caso de estudio, se precedió asociar dicha información de las variables de RCD con indicadores comúnmente reportados en literatura científica y política pública. Los cuales, sirven como método para realizar comparaciones y de este modo, concluir resultados más veraces y aterrizadas a la realidad. Entre las diferentes utilidades que se pueden encontrar para estos indicadores se encuentra la posibilidad de proyección de resultados sobre la generación de RCD en función de las unidades, por tal motivo y para calcular dichos indicadores fue necesario hallar diferentes variables independientes en unidades de superficie y masa expresados en m², kg y ton.

Para este estudio puntualmente fueron empleados los siguientes indicadores según las necesidades de la propuesta de aprovechamiento:

- **Indicador de generación gravimétrico**

Se expresa en unidades de masa del RCD generado entre las unidades de masa de la edificación total construida. A continuación, se enseña la fórmula:

$$W_{GR} = \frac{\sum_{i=1}^n W_{RCDi}}{WTA * A_i} \quad (1)$$

Donde:

W_{GR} = Indicador de generación gravimétrico de RCD (ton/ton)

$\sum W_{RCDi}$ = Sumatoria de los pesos de RCD generados

A_i = Área construida en la ventana de seguimiento

WTA = Indicador de Peso total del proyecto por unidad de superficie (ton/m²)

$$WTA = \frac{W_{\text{materiales construcción}}}{A_{\text{total}}} \quad (2)$$

W_{materiales construcción}: Peso total del proyecto, según los materiales empleados (ton)

A_t: Área total del proyecto (m²)

- **Indicador de generación gravimétrico por superficie edificada**

Se expresa en unidades de masa del RCD generado entre las unidades de área de la edificación total construida. A continuación, se enseña la fórmula:

$$IGR^W = \frac{WRCDi}{A_i} \quad (3)$$

Donde:

IGR^W = Indicador gravimétrico por superficie edificable RCD (ton/m²)

W_{RCDi} = Peso del RCD generado, en la ventana de seguimiento

A_i = Área construida en la ventana de seguimiento

- **Indicador de generación volumétrico por superficie edificada**

Se expresa en unidades de masa del RCD generado entre las unidades de área de la edificación total construida. A continuación, se enseña la fórmula:

$$IGR^V = \frac{VRCDi}{A_i} \quad (4)$$

Donde:

IGR^V = Indicador gravimétrico por superficie edificable RCD (ton/m²)

V_{RCDi} = Peso del RCD generado, en la ventana de seguimiento

A_i = Área construida en la ventana de seguimiento

3.5 Recopilación de la información

3.5.1 *Análisis del sector constructivo*

A pesar de la gran contingencia que ha ocasionado la pandemia que se vive actualmente, el sector de la construcción se ha presentado como uno de los menos afectados debido a su alto y continuo movimiento en el mercado. Lo anterior, también se puede explicar gracias a las tempranas medidas políticas de reactivación económica tomadas por parte del Gobierno Nacional que han favorecido al sector construcción. A lo sumo, este comportamiento positivo también se puede evidenciar en los 5,7 puntos porcentuales a los cuales fue equivalente el sector sobre el PIB nacional durante el tercer trimestre del año 2020 (DANE, 2020).

Teniendo en cuenta lo anterior, fue importante reconocer que el valor agregado que poseen los RCD en el mercado es alto, pues al tratarse de posibles materias primas, la demanda de dichos materiales puede representar un ingreso económico pasivo para aquellas constructoras que tomen la decisión aprovechar dichos materiales, y más, teniendo en cuenta el aumento que presentó construcción en el tercer trimestre del 2020 de las edificaciones residenciales y no residenciales del 18.3% con respecto al periodo anterior (DANE, 2020).

En congruencia con lo anterior y teniendo en cuenta que los dos aspectos del mercado que más tienen presente las empresas de construcción al momento de comprar materias primas son el precio y la calidad del producto (Guzmán & Soler, 2019); estos dos aspectos serán considerados como foco de análisis para la toma de decisiones.

También es importante reconocer que las materias primas más solicitadas por el sector de la construcción son las bases granulares, la grava, la arena y la gravilla con porcentajes aproximados de 32%, 30%, 28% y 10% respectivamente (Guzmán & Soler, 2019), se optó por dar prioridad a metodologías de aprovechamiento asociadas a actividades que involucren las materias primas más demandadas.

Por otro lado, en un estudio realizado por Guzmán y Soler (2019) se evidencia que a pesar de la gran oportunidad que representan los RCD en los resultados se observó que únicamente el 32.86% de las empresas constructoras encuestadas realizaba compras de material reciclado. Lo cual indica que las materias primas recicladas son principalmente extraídas de la propia obra y únicamente cuando es exclusivamente necesario, se procede a la compra de estas.

A pesar de lo mencionado anteriormente, en el mercado actual, se evidencia que el negocio del RCD comienza a elevar su volumen competitivo pues el cumplimiento de la normativa cada vez genera una mayor presión sobre la meta de cumplimiento de aprovechamiento. Lo anterior, se puede observar en empresas como Reciclados Industriales o Ciclomat, que presentan un crecimiento constante ofreciendo diferentes tipos de materiales reciclados que cumplen con las normativas técnicas colombianas como INVIAS e IDU.

A continuación, en la Tabla 10 se presentan los precios del mercado provenientes de las empresas mencionadas anteriormente para diferentes productos que hacen parte de su portafolio de materiales reciclados utilizados en la construcción provenientes de RCD.

Tabla 10: Precios promedio por m³ de materiales RCD en el mercado. (Guzmán & Soler, 2019)

Material	Precio
Base granular Reciclada	\$70,210
Sub base granular Reciclada	\$66,440
Sub Base Granular Asfáltica	\$54,383
Arena Escombros	\$25,575
Grava Reciclada	\$35,210
Gravilla Reciclada	\$45,370
Agregado fino de ladrillo	\$21,530

Gracias a esta información, es posible establecer precios base de venta ofertada al público o en su defecto, para conocer el valor estimado de los materiales generados a partir de RCD.

Cabe aclarar que, los precios expuestos son de las ciudades donde operan dichas empresas, en este caso la ciudad de Bogotá. Pues en las demás ciudades a nivel nacional, no existía ninguna empresa dedicada a procesar RCD pétreo con el objetivo de transformarlos en materiales de construcción que cumplieren con la norma.

Por otro lado, a nivel interno de las empresas también es importante conocer que tanto podría afectar en términos económicos la inclusión de estos productos en su cadena de producción para de este modo reconocerlos como una inversión que va más allá de la sostenibilidad ambiental.

3.5.2 Cantidades de materiales del proyecto

Un factor muy importante a tener en cuenta son las cantidades de materiales necesarias para ejecutar las actividades de obra civil que incluyan RCD aprovechable; tales como la etapa cimentación, estructura y obra gris. Por tal motivo, se procedió a recolectar la información asociada a las cantidades de materiales que hacen parte del presupuesto del proyecto y a su vez cuentan con potencial de aprovechamiento; en este caso para un posible RCD pétreo, tal como se observa a continuación en la Tabla 11 y el Figura 4:

Tabla 11: Cantidades de materiales Proyecto Manzanares- Sectores 4 y 5 (Constructora Bolívar, 2020).

Material	Unidad	Cantidad
Concreto	m ³	14,146
Arenas	m ³	7,474
Gravas	m ³	2,264
Gravillas	m ³	0
Bloques	Unidad	251,928
Cementos	Kg	602,303
Ladrillos	Unidad	1,478,550
Cerámica	m ²	10,626

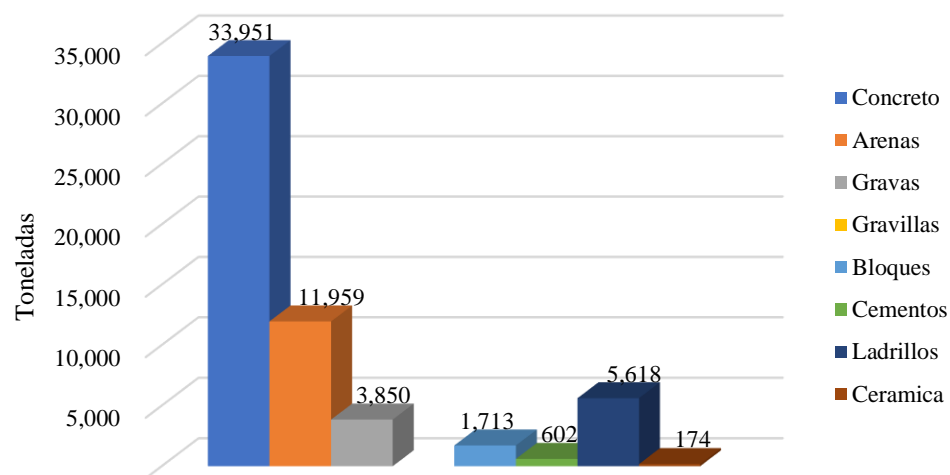


Figura 8: Cantidades totales actividades de obra civil por peso– Proyecto Manzanares Sector 4 y 5. (Constructora Bolívar, 2020).

Adicionalmente, al tratarse de un proyecto de viviendas individuales (casas) la extensión en unidad de área para este proyecto tiene una considerable cantidad de movimientos de tierras. Además, el macro proyecto al que hace parte también contempla la ejecución de infraestructura adicional, como lo son las obras de acueducto, alcantarillado, zonas verdes, vías de acceso, terrazas, entre otros. Para estas diferentes actividades son necesarios procesos de excavación y terraplén, por tal motivo, también se recolectó información referente a estas dos actividades según la infraestructura, la cual está expuesta a continuación en las Figuras 9 y 10:

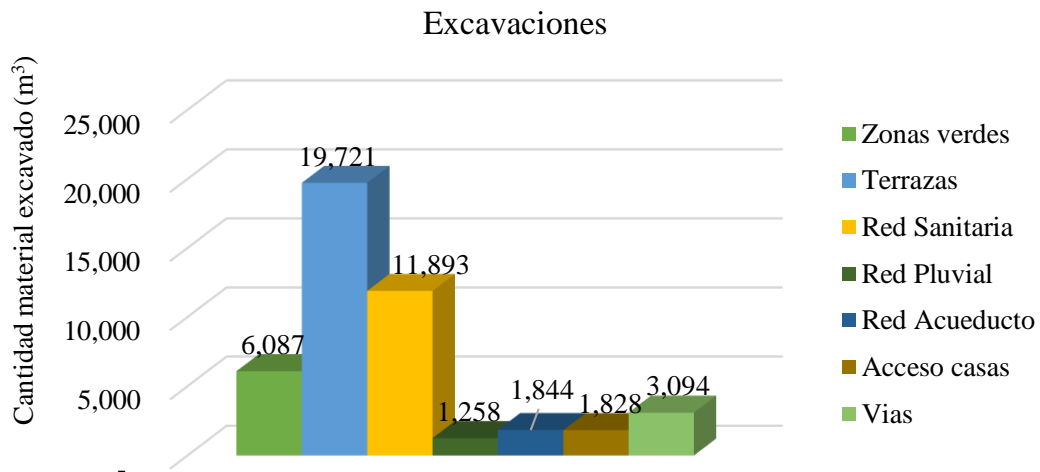


Figura 9: Cantidad de excavaciones según actividad – Proyecto Manzanares Sector 4 y 5. (Constructora Bolívar, 2020)

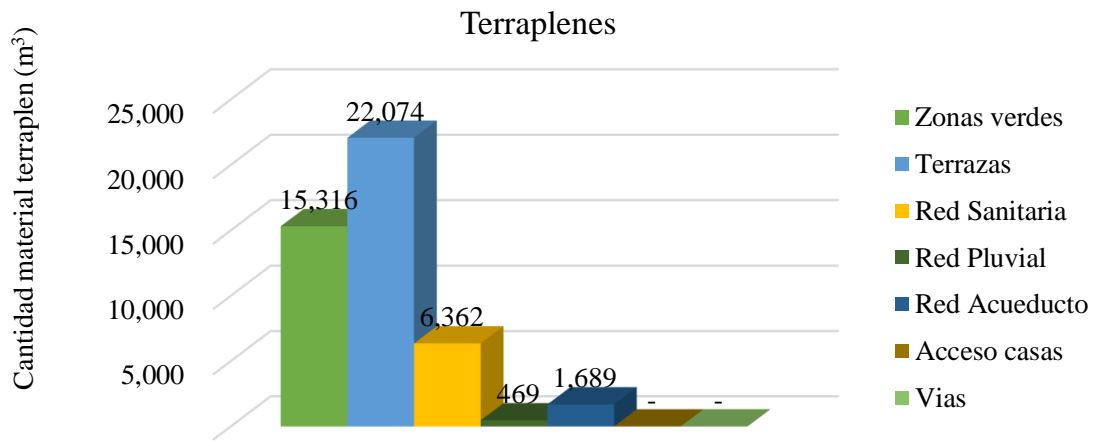


Figura 10: Cantidad de terraplenes según actividad – Proyecto Manzanares Sector 4 y 5. (Constructora Bolívar, 2020)

3.5.3 Proporción residuos pétreos en obra

Un factor importante a tener en cuenta es el gigantesco volumen de construcción que posee el proyecto. El cual, a pesar de desarrollarse a partir de un sistema veloz y repetitivo, genera la suficiente producción de residuos como para implementar propuestas de aprovechamiento que ayuden al cumplimiento de la normativa.

Sumado a lo anterior, es indispensable conocer la relevancia de la ocupación (en volumen) de cada material. Lo anterior, se puede representar con el volumen de las cantidades que estén presentes en cada unidad de vivienda del proyecto. Gracias a esto, es posible darse una idea de la proporción entre los posibles residuos generados. Teniendo en cuenta lo anterior, en la Figura 11 se expone la proporción en porcentaje de volumen de materiales pétreos utilizados para construir únicamente la totalidad de unidades de vivienda:

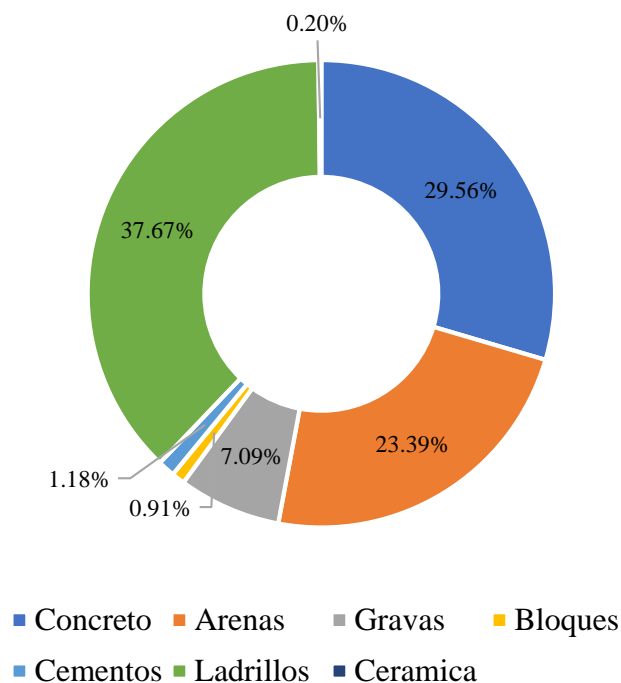


Figura 11: Proporción de materiales pétreos necesarios para la construcción de las unidades inmobiliarias del proyecto – Proyecto Manzanares Sector 4 y 5. (Constructora Bolívar, 2020)

Como se puede observar, actualmente el proyecto tiene una ventaja evidente con respecto a los RCD provenientes de ladrillos y concretos debido a que su sistema constructivo se encuentra basado en mampostería estructural. Adicionalmente, en proporción también se observa como estos dos materiales representan aproximadamente el 68% de la totalidad del volumen, lo cual también

indica que para dichos materiales será indispensable generar estrategias de aprovechamiento que involucren los residuos de estos materiales.

3.6 Posibles Metodologías de aprovechamiento

Teniendo en cuenta que existen diferentes metodologías de aprovechamiento que dan cumplimiento a la norma, se decide presentar las cuatro diferentes opciones posibles de metodologías de aprovechamiento las cuales consisten en:

- **Tercerización con gestor:** proceso en el cual se otorga a una empresa; que cumple papel de subcontratista, únicamente labores asociadas al procesamiento completo de los residuos dejándolos listos para emplear en sitio. El subcontratista deberá ser únicamente responsable del proceso de transformación de los residuos en las calidades exigidas y está exento de costos de transporte o logística de los mismo. La empresa contratante será responsable de ajustarse al cobro por parte del subcontratista, de todos los costos asociados a logística y transporte de los residuos y deberá acomodarse a los rendimientos y maquinaria utilizados por el gestor.
- **Planta de aprovechamiento fija:** proceso en el cual la empresa realiza una inversión inicial de maquinaria de aprovechamiento FIJA de cualquier tipo de RCD pétreo, capaz de procesar altos volúmenes de residuos producidos. En este caso, es la empresa misma quien deberá ser la responsable de todos los procesos logísticos, de recurso humano, maquinaria, compra y producción. Así mismo, tendrá control total de todos los procesos asociados a la logística y gestión de los RCD.
- **Planta de aprovechamiento móvil:** proceso en el cual la empresa realiza una inversión inicial de maquinaria de aprovechamiento MÓVIL de residuos ESPECÍFICOS capaz de procesar pequeños volúmenes de residuos y de moverse según se desee. En este caso, es la empresa misma quien deberá ser la responsable de todos los procesos logísticos, de recurso humano, maquinaria, compra y producción. Así mismo, tendrá control total de todos los procesos asociados a la logística y gestión de los RCD.
- **Sociedad con empresa de aprovechamiento:** proceso en el cual se otorga a una empresa; que cumple papel de socio, todas las labores asociadas al transporte, logística, procesamiento y gestión de los RCD, y únicamente estará exento de las

labores de incorporación. Además, la empresa constructora en papel de socio será responsable de compartir los residuos procesados según se decida al establecer la sociedad y no podrá intervenir en las decisiones tomadas por parte del otro socio gestor en la toma de decisiones o del control de los RCD. A continuación, en la Tabla 12 se presentan las abreviaturas para cada una de las posibles metodologías de aprovechamiento:

Tabla 12: Abreviaturas Posibles metodologías de aprovechamiento

Nombre	Tercerización con gestor	Planta Fija	Planta Móvil	Sociedad con empresa de aprovechamiento
Abreviatura	T	PF	PM	S

3.7 Procedimiento de selección de metodología

Una vez identificadas las posibles metodologías de aprovechamiento se decide realizar un proceso de jerarquía analítica (AHP) para tomar la decisión adecuada en la selección de dicha metodología de aprovechamiento. Este, consiste en un proceso de selección estructurada cualitativa, donde los participantes (en este caso las posibles metodologías) se ven afectados por criterios preestablecidos y la toma de la decisión se encuentra soportada por un cálculo de consistencia de datos aleatorios (Saaty, 2008; Saaty & Vargas, 2012).

A continuación, se exponen los pasos que según Saaty (2008) se siguieron para alcanzar la adecuada selección de un candidato (metodología) bajo el proceso de jerarquía analítica (AHP), método que fue utilizado para seleccionar la metodología de aprovechamiento bajo la perspectiva del autor. Su procedimiento detallado está expuesto en el capítulo 4.4:

1. Modelación del problema, selección de criterios de evaluación y presentación de alternativas
2. Formación de los juicios y prioridades entre la red jerárquica
3. Sincronización de juicios para alcanzar criterios de evaluación globales
4. Revisión de consistencia de juicios
5. Toma de decisiones

3.7.1 Evaluación final de la metodología seleccionada

Después de realizar la respectiva selección de la metodología a de aprovechamiento, es importante establecer criterios de evaluación de la propuesta, que en este caso consiste en el aprovechamiento de RCD a partir de una planta de producción de agregados. Según lo anterior, es necesario realizar un proceso de factibilidad técnica y financiera según información obtenida de la producción de RCD de la empresa en cuestión.

Como primer paso general de la evaluación, el aspecto técnico será evaluado según diferentes condiciones. Se comenzó recolectando los respectivos datos y variables relevantes para el análisis técnico, tales como las generaciones de residuos producidas por el proyecto Manzanares 4 y 5. Con esto, fue posible alcanzar índices de generación y producciones en el tiempo, los cuales fueron las variables entrada de todo el análisis.

Continuando, para satisfacer estas producciones, se realizó una investigación y selección de los elementos implicados en el procesamiento de dichos residuos. De lo anterior, se encontró como variables implicadas a la maquinaria de producción, la ubicación del proceso productivo, la distribución del proceso productivo, las adecuaciones necesarias para la operación de la metodología, el recurso humano necesario para el desarrollo de las actividades productivas y los costos asociados a todos los elementos mencionados anteriormente en este párrafo.

Teniendo en cuenta lo anterior, para la maquinaria de producción se tuvo en cuenta aspectos como el costo, el rendimiento, la capacidad y el sobredimensionamiento de sus partes. Para el aspecto del costo, se tuvo en cuenta un abanico de precios cotizados en el mercado desde el más bajo hasta el más alto tanto a nivel nacional como internacional. Seguido de esto, se halló el valor más factible al promediarlos; esto, con el objetivo de asumir parte de escenarios tanto pesimistas como optimistas de forma equitativa en los análisis financieros posteriores.

Para las limitantes de rendimiento, capacidad y sobredimensionamiento, se analizaron las especificaciones técnicas, consumos, capacidades y dimensiones de los elementos que conforman la maquinaria, pues según estas, fue posible cumplir con el objetivo de satisfacer la producción de la obra, y a su vez, de dejar un factor de seguridad en caso de que se presente algún fenómeno que altere la producción de residuos esperada.

Continuando con el aspecto técnico, para la localización, la distribución y las adecuaciones de operación, se analizó el área total del macro proyecto con el objetivo de establecer un punto operacional que en términos de logística (distancia y tiempos de acarreo) que fueran óptimos tanto para las obras Manzanares 4 y 5 como para el resto de proyectos futuros que pudiese tener la constructora cerca al macro proyecto. Con este lugar claro, se diseñó un layout general con diferentes espacios según las necesidades del proceso operativo, tales como espacios para la maquinaria, áreas de acopio, áreas de tránsito, áreas de trabajo, áreas de recepción, áreas administrativas, las cuales están definidas de forma detallada en el literal 4.4.2.

Además, para este layout mencionado anteriormente, también se realizó un presupuesto para todas las obras necesarias para adecuar dicho espacio, utilizando precios de mercado, precios de la misma constructora y precios de bases de datos públicas. Cabe aclarar que dicho presupuesto incluyó un costo de administración del 17%, imprevistos de 3% y utilidad del 5%, para un total de costo indirecto del presupuesto del 25% del costo directo.

Para finalizar con el aspecto técnico, se utilizó toda la información anterior para establecer los costos asociados al recurso humano y mano de obra necesaria para la ejecución, puesta en marcha y operación de la metodología seleccionada.

Como segundo paso general de la evaluación, desde la perspectiva económica y para establecer una línea base en términos de retorno de inversión, se decide utilizar un costo de oportunidad de 11.44% E.A. El valor anterior, fue tomado como valor de referencia de Parra (2015) quien realizó un estudio del comportamiento financiero de las constructoras en Colombia, en el cual empleó una metodología CAPM (Modelo de valoración de activos financieros), la cual, según el mismo autor: “es utilizada para determinar la tasa de rendimiento esperada para el inversionista a partir de la tasa de un instrumento libre de riesgo, más una prima de riesgo. Esta última busca recoger el riesgo asociado al hecho de invertir en activos con riesgo y al desarrollo de una actividad específica (la construcción, en este caso)”.

Como complemento a lo anterior, se contempló la idea de no ajustar la tasa al año del proyecto de estudio (2019), pues al tratarse de una propuesta nueva que además no hace parte de su objeto social, su aspiración de retorno como inversionista deberá ser conservadora.

Posteriormente, se realiza la respectiva conversión de la tasa a mes vencido de lo que se obtuvo un valor de 0.91%. para que sea utilizada como tasa de interés en los posteriores indicadores de eficiencia financiera a evaluar.

Por otra parte, como los datos asociados a la producción de RCD de las etapas Manzanares 4 y 5 se encuentran en el año 2020, además en este año fue la respectiva ejecución de obra civil; se decide utilizar los ocho (8) periodos de obra para evaluar el comportamiento de la inversión durante los meses del año en cuestión, sin embargo, en algunos análisis específicos se podrán encontrar nueve (9) o diez (10) periodos según sea el caso. Lo anterior se representa en las Figuras 12 y 13.

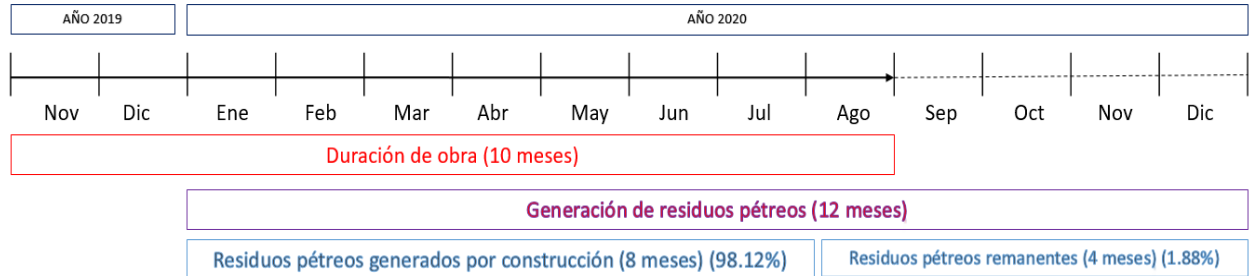


Figura 12: Esquema de generación y comportamiento de obra

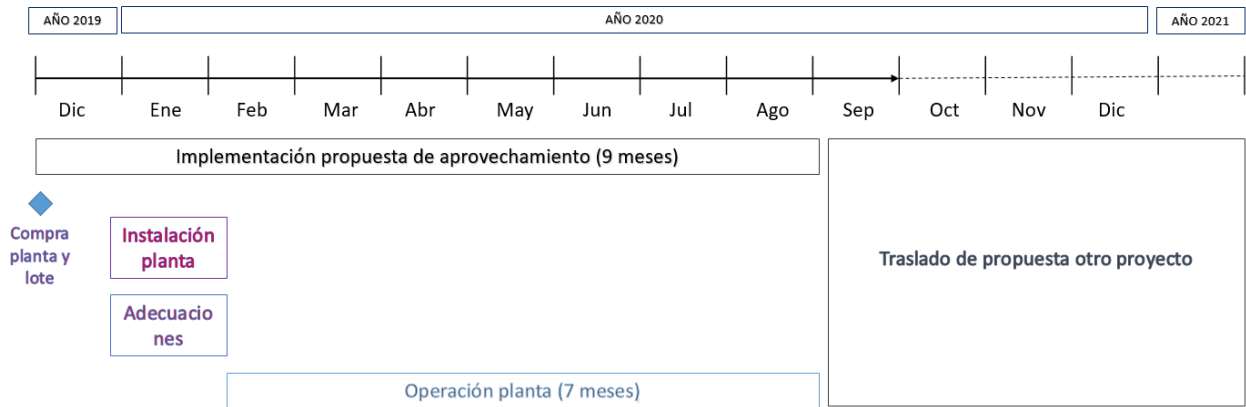


Figura 13: Esquema de propuesta de aprovechamiento

Continuando, para revelar el comportamiento de los ingresos, se decidió realizar un análisis de tres modelos de negocio:

- **Modelo de negocio de panorama actual:** consta del escenario actual de la empresa, donde no hay un proceso que permita darle valor agregado al RCD por lo cual, no hay ingresos por este concepto para la empresa.
- **Modelo de negocio de venta:** Trata de un escenario donde los residuos se procesan y los ingresos provienen de las ventas de estos mismos.
- **Modelo de negocio de reincorporación:** Consiste en un modelo de negocio donde la empresa reincorpora el material y se genera un ahorro en la utilización de materiales reciclados que normalmente se utilizarían para actividades de construcción tales como rellenos, gravas, arenas, etc.

En contraposición, para evidenciar los egresos se organizó según las necesidades en el tiempo los diferentes costos asociados a la maquinaria de producción, los costos directos, los gastos mensuales, los costos de nómina, remanentes de residuos no pétreos, costo de terreno y demás costos ya mencionados anteriormente que se enseñaran a detalle en el capítulo 4.6.

Continuando con el aspecto financiero, el último paso es realizar el flujo de caja de ingresos y egresos en los 8 periodos ya establecidos, el cual evidenciará la conducta final de la inversión que será evaluada por diferentes indicadores, tales como:

- **Retorno sobre la inversión (ROI)**

Índice que permite conocer los beneficios obtenidos a partir de una inversión. Se expresa en porcentaje y es el resultado de la partición entre la diferencia del beneficio y el costo sobre el costo. A continuación, se enseña la fórmula

$$ROI = \frac{INGRESO - EGRESO}{EGRESO} * 100 \quad (5)$$

Donde:

- Ingresos = flujo de capital que ingresa al proyecto.
- Egresos = flujo de capital que sale del proyecto.

- **Valor presente neto (VPN)**

Es un criterio de inversión que permite conocer el valor de los flujos de efectivo de un proyecto u inversión recibirá en el futuro a la fecha actual y que consiste en actualizar todos los costos y beneficios de una inversión y sustraer la inversión inicial. Se expresa en unidades monetarias y es

el resultado de la diferencia entre la inversión inicial y la sumatoria de todos los flujos de efectivos en los periodos evaluados transformados a valor presente. A continuación, se enseña la fórmula

$$VPN = -I_0 + \sum \frac{Ft}{(1+k)^t} \quad (6)$$

Donde:

- I_0 = Valor de desembolso inicial
- Ft = Flujo de capital de cada periodo
- K = Tasa de interés
- t = Número de cada periodo

- **Tasa interna de retorno (TIR)**

Es una medida relativa de la rentabilidad de una inversión, la cual se define como el valor de la tasa de descuento que hace el VPN sea igual a cero. Esta tasa de interés permite conocer el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión. A continuación, se enseña la fórmula:

$$0 = -I_0 + \sum \frac{Ft}{(1+TIR)^t} \quad (7)$$

Donde:

- I_0 = Valor de desembolso inicial
- Ft = Flujo de capital de cada periodo
- t = Numero de cada periodo
- TIR = Tasa interna de retorno

- **Tasa interna de retorno modificada (TIRM)**

Es una medida relativa de la rentabilidad de una inversión similar a la TIR. Sin embargo, esta es utilizada cuando existe más de un cambio de sentido del flujo (de positivo a negativo, o viceversa) en el flujo de caja. Esta tasa de interés permite conocer el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión. A continuación, se enseña la fórmula:

$$0 = VPN = \left(\frac{\sum \frac{-Ft}{(1+CO)^0} + \sum \frac{Ft}{(1+CO)^{(N-t)}}}{(1+TIRM)^t} \right) \quad (8)$$

Donde:

- $-F_t$ = Flujo negativo de capital
- F_t = Flujo positivo de capital
- N = Numero de total de periodos
- t = Periodo en la ventana de seguimiento
- CO = Costo de oportunidad
- $TIRM$ = Tasa interna de retorno modificada

Para finalizar con el aspecto financiero, al final del ejercicio, se realizará un análisis de sensibilidad del costo de oportunidad en el cual se modelarán los datos del proyecto para diferentes escenarios (optimista, más probable, pesimista). De este modo, se podrá conocer hasta qué punto es viable realizar esta clase de inversión con diferentes condiciones supuestas.

-Escenarios modelo de negocio de ventas

Para el caso del modelo de negocio de ventas, se plantearon tres escenarios, los cuales, se encuentran supeditados al comportamiento del mercado. Por tal motivo, el análisis realizado tuvo en cuenta variables como el precio de ingreso al mercado y el cumplimiento de pagos de los clientes.

En congruencia con lo anterior, en el escenario pesimista del modelo de negocio de ventas, se optó por disminuir el costo del producto en un 40% para ingresar al mercado y afectar los pagos asumiendo que los clientes pagan 1 periodo más tarde. Continuando, para el escenario más probable se propuso una reducción del 30% del precio para ingreso al mercado y un retraso de pagos de clientes de 1 periodo, y finalmente, para el escenario optimista de ventas habrá una reducción del 10% del precio de venta del producto por ingreso al mercado y un retraso de pagos de clientes de 1 periodo.

-Escenarios modelo de negocio de reincorporación

Por otro lado, Para el caso del modelo de negocio de re incorporación, las variables implicadas fueron diferentes, pues la relevancia se centró en el precio de los materiales que normalmente se utilizarían en lugar de los RCD reincorporados. Además, también se tuvo en cuenta si el proyecto realmente utilizaría la cantidad total de RCD generado mensualmente, de manera que, si no se

utiliza la totalidad de este, se debe de agregar un costo adicional por trasladar el material excedente a otro proyecto que si lo requiera.

Siendo este el panorama, en el escenario pesimista se propuso disminuir el costo del producto que se utilizaría en un 30%; es decir que, al disminuir los precios de los productos que normalmente se comprarían el ahorro también disminuye. Además, en este mismo escenario, se incluyó un precio de traslado de a otro proyecto al asumir que el actual no demanda la cantidad de RCD generados, este costo se detalla más adelante en el capítulo 4.6.

Continuando, para el escenario más probable de reincorporación, los costos de los productos que se utilizarían normalmente se difieren en 10% a los presupuestados para el proyecto, es decir que, el ahorro se ve afectado. Además, para este mismo escenario, los productos RCD procesados serán utilizados por el proyecto en el siguiente periodo después de producidos.

Finalmente, para el escenario optimista de reincorporación habrá no habrá afectado en el precio de venta del producto que normalmente se utilizaría, lo cual, tiene consecuencia ahorro sin alteración. En adición, para este mismo escenario los productos también ingresaran con normalidad al proyecto cada periodo de por medio.

-Escenarios modelo de negocio panorama actual

Para el escenario del modelo de negocio actual, la única variable que se tuvo en cuenta fue el costo que actualmente tiene disponer de los RCD generados cada periodo. En consecuencia, para el escenario pesimista se aumentó el costo de disposición de los residuos un 30%, para el escenario más probable se mantuvo el precio presupuestado para el proyecto y para el escenario pesimista se reducirá el costo de disposición un 30%.

Por otro lado, desde el aspecto técnico es importante tener en cuenta que la evaluación de la propuesta estará dada según dos informaciones indispensables las cuales son, las características físicas y mecánicas del equipo a utilizar, por ejemplo, la capacidad de procesamiento, tipos de materiales soportados, tamaño del equipo, volúmenes/rendimiento de producción, consumo de energía/combustible, complejidad del equipo, entre otros.

Además, la segunda información imprescindible serán las características de los materiales resultado del proceso de producción, como lo son, la utilidad de aprovechamiento, los tamaños nominales de los agregados producidos, tipos de materiales producidos y posibilidad de venta del

material. Además, todo este aspecto técnico debe ir asociado estrictamente a la normativa técnica INVIAS e IDU, las cuales son empleadas a nivel nacional y para el caso de la construcción son de estricto cumplimiento.

4 RESULTADOS Y ANÁLISIS

El capítulo de resultados y análisis de este estudio comprende diferentes etapas. La primera consiste en presentar las cantidades de generación de RCD que se presentan en el proyecto al cual se le está realizando el análisis. Continuando, la segunda expone los índices de generación de RCD los cuales fueron resultado de las cantidades generadas previas y las características físicas del proyecto. Seguido de esto, la tercera etapa se presenta el resultado del procedimiento cualitativo de selección de metodología de aprovechamiento.

Como consecuencia de los resultados anteriores, se presenta la etapa cuatro, en la cual, se expone el diseño de la metodología de aprovechamiento, este incluye la maquinaria de procesamiento de RCD según las condiciones demostradas en los capítulos anteriores, la ubicación y distribución de dicho proceso productivo seleccionado, las adecuaciones previas necesarias para iniciar actividades de aprovechamiento de RCD, el recurso humano implicado en el proceso productivo seleccionado y los RCD producidos finales.

Para finalizar, se presentan las etapas cinco y seis las cuales se centran respectivamente en analizar las condiciones del modelo de negocio actual de la empresa y el de analizar en términos financieros dos modelos de negocios propuestos, uno de venta de materiales de RCD y otro de reincorporación de los RCD en el mismo proyecto.

4.1 Generación de RCD

Teniendo en cuenta lo anterior, inicialmente, es imprescindible exponer los resultados de la generación de RCD pétreo susceptible de aprovechamiento producidos por el proyecto Manzanares 4 y 5, pues de estos datos derivan todos los análisis realizados de ahora en adelante. Cabe aclarar que, todos los datos de generación incluidos en estos documentos fueron las cantidades reales producidas por la obra, recolectados gracias al programa CICLOS y presentadas ante la autoridad competente en su debido momento.

A continuación, en las Figuras 14 y 15 se presenta la información de cantidades generadas de RCD pétreos aprovechables pertenecientes al proyecto Manzanares y posteriormente también se presentan las cantidades totales producidas por la constructora en la ciudad de Cali; datos que hacen parte de la base de datos proporcionada por la Constructora. Para ambas situaciones los datos recolectados hacen referencia al año 2020. Cabe aclarar que posterior al mes de agosto se

finalizó con la ejecución de la obra. Sin embargo, se presentaron generaciones dadas por remanentes de actividades complementarias que no fueron resultado de la construcción de unidades de vivienda.

Cabe recalcar que los residuos pétreos utilizados para generar estos índices son materiales de escombros, ladrillo o bloque, manto asfáltico, material de cantera, porcelana, cerámica, remanente de concreto y no incluye tierra orgánica, productos de excavación y sobrantes de la adecuación del terreno. En conclusión, la información que se encuentra inmersa hace referencia a la clasificación de pétreos aprovechables que presenta la Resolución 0472.

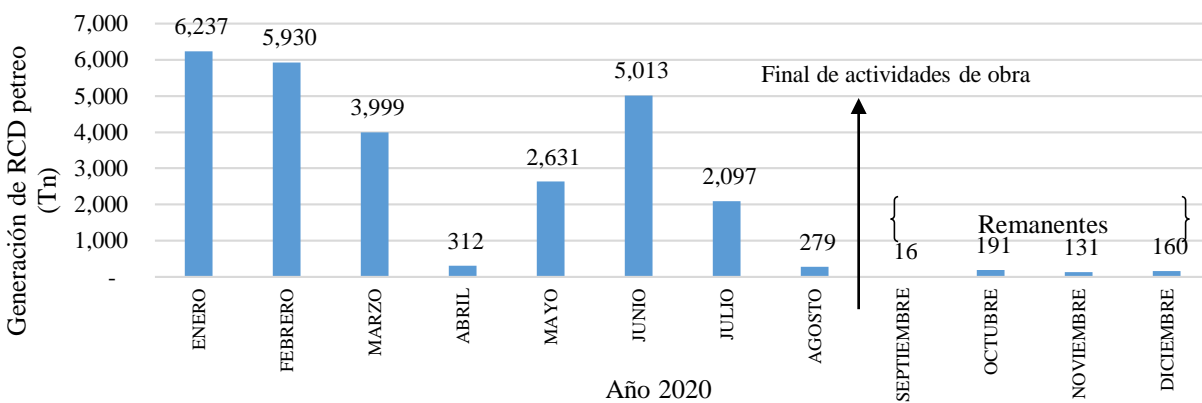


Figura 14: Generación de RCD pétreo susceptible de aprovechamiento (Ton) en el proyecto Manzanares 4 y 5 (Constructora Bolívar, 2020) Modificado por el autor.

Por otro lado, también se puede observar que en el mes de abril se presenta una reducción abrupta en la producción de RCD, la cual fue consecuencia de las medidas de aislamiento tomadas por parte del Gobierno Colombiano frente a la pandemia ocasionadas por el COVID-19.

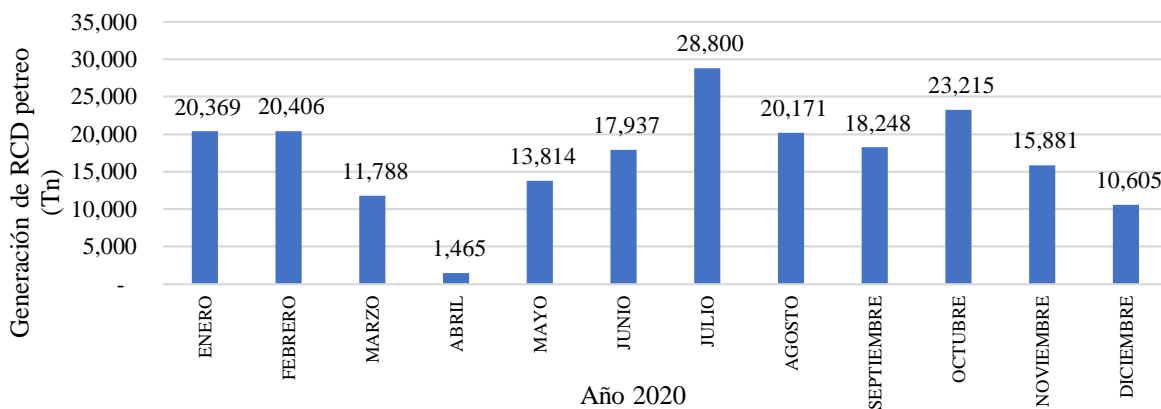


Figura 15: Generación total de RCD pétreo susceptible de aprovechamiento (Ton) de la constructora (Constructora Bolívar, 2020). Modificado por el autor.

Además, también se recolectó información relacionada con los RCD no pétreos aprovechables cuyo grupo de materiales se centra en productos como el PVC (poli cloruro de vinilo), el plástico, la madera, el cartón, el papel, y la chatarra. A continuación, se presenta la Tabla 13, la cual enseña la generación de dichos productos únicamente para el macro proyecto Manzanares. Cabe recalcar que los datos recolectados hacen referencia al año 2020.

Tabla 13: Generación de RCD susceptible de aprovechamiento No pétreo (Tn). Macro proyecto Manzanares (Constructora Bolívar, 2020). Modificado por el autor.

Fecha	PVC (Tn)	Platico (Tn)	Cartón y papel (Tn)	Madera (Tn)	Chatarra (Tn)
Enero 2020	0.412	0	0.201	2.600	0.266
Febrero 2020	0.162	0	0.055	0	0.527
Marzo 2020	0.45	0	0.255	0	0.920
Abril 2020	0	0	0	0	0
Mayo 2020	1.090	0	0	4.600	0.72
Junio 2020	0.792	0	0.153	0	0.308
Julio 2020	0.135	0	0.810	0	1.550
Agosto 2020	0.593	0.120	0.420	0	1.110
Septiembre 2020	1.695	0.242	0.582	10.620	3.120
Octubre 2020	1.520	0.090	0.405	10.620	3.120
Noviembre 2020	0	0	0	0	0
Diciembre 2020	0.250	0	0.180	0	1.430
Total	7.099	0.452	3.061	28.440	13.071

Como se puede observar, la producción de estos residuos es totalmente variable y depende exclusivamente de las etapas en las cuales se encuentre el proyecto ejecutándose. Por ejemplo, el PVC es un material cuyos residuos se ven reflejados a lo largo de todo el tiempo de ejecución puesto que las actividades que emplean dicho material se encuentran desde el inicio hasta el final del proyecto. Por otro lado, encontramos materiales como plástico, papel, cartón y madera que son materiales que suelen utilizarse para actividades muy específicas y por tal motivo hay periodos en los cuales no se genera ninguna producción de los mismos.

Así mismo, los pesos de cada uno de los materiales en cuestión no tienen un comportamiento definido. Como se puede observar, en la Figura 16 se presenta las producciones de los RCD no

pétreos en el tiempo, lo cual evidencia cómo en algunos casos la producción es constante pero su peso es relativamente bajo en comparación con otros materiales. Tal es el caso de la madera cuyo peso es mucho más elevado, pero solo presenta producción en 3 de 12 periodos evaluados.

Producción RCD aprovechable NO pétreo (Tn). Producción total constructora en Cali (Constructora Bolívar, 2020). Modificado por el autor.

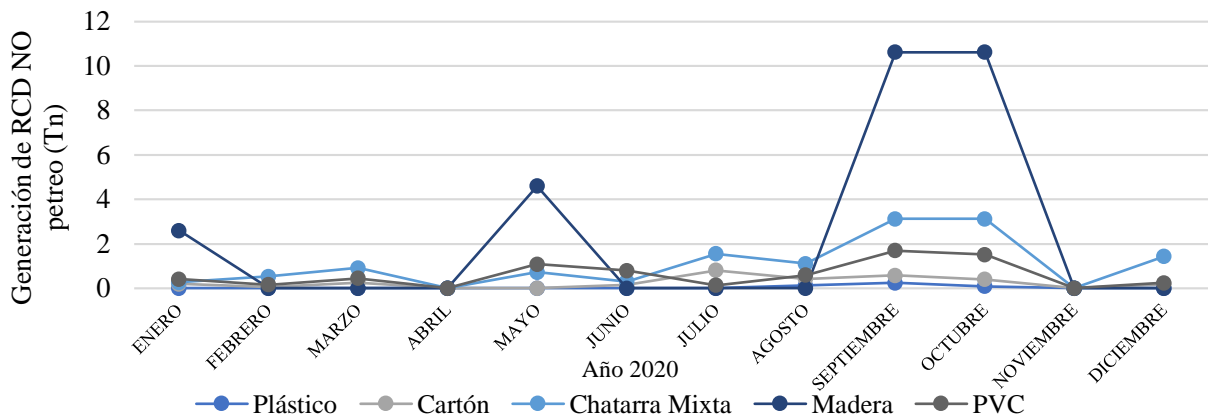


Figura 16: Producción RCD aprovechable NO pétreo (Tn). Producción total constructora en Cali (Constructora Bolívar, 2020). Modificado por el autor.

Para finalizar, es importante recalcar que el año evaluado (2020) presenta algunos periodos cuya producción es menor con respecto a las demás a consecuencia de la pandemia (marzo y abril). Sin embargo, una vez superado el proceso de aislamiento completo, se observa como la producción se reestablece en el mes de mayo a unas condiciones similares a las presentadas en los meses anteriores al aislamiento (enero y febrero).

4.2 Índices de generación y producción de RCD

Con el objetivo de conocer el comportamiento de la producción de RCD pétreo sin incluir tierra orgánica producto de excavación y sobrantes de la adecuación del terreno, se realizó el respectivo cálculo de indicadores gravimétricos gracias a la información de entrada de cantidades de generación, áreas construidas y pesos de los materiales.

La información mencionada, fue hallada respectivamente en los documentos de disposición originales de la obra, el levantamiento topográfico de la zona y el presupuesto del proyecto. En conclusión, después de analizar dichos documentos, cuantificar los materiales, verificar su peso y realizar el respectivo calculo, se obtuvo resultado para un periodo de construcción de 8 meses, un

total de 26,996 toneladas de generación de RCD, en un área total de 92,616 m² y un peso total del proyecto de 139,090 toneladas

Del mismo modo, fue posible hallar las producciones de RCD pétreo en volumen (m³), al utilizar una masa unitaria de referencia comúnmente utilizada para los RCD pétreo. Para este caso, se tomó un valor de 1,092 kg/m³, este dato fue determinado experimentalmente por Armijos (2019) quien realizó un estudio de caracterización de RCD para la misma constructora y encontró este valor medio para residuos pétreos sin incluir la tierra de excavación que hacían parte de las etapas de estructura y acabados.

Teniendo este valor fijo fue posible obtener las producciones de RCD en términos de volumen y peso. A continuación, en las Tabla 14 se presentan los valores obtenidos

Tabla 14: Producción de RCD primer semestre año 2020. Proyecto Manzanares 4 y 5

Unidad	Periodos							
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Volumen (m ³)	5,712	5,430	3,662	286	2,409	4,591	1,920	255
Peso (Tn)	6,237	5,930	3,999	312	2,631	5,013	2,097	279

Al tener la información de generación en unidades de peso y volumen, fue posible encontrar los indicadores planteados anteriormente en la metodología. Los resultados se pueden observar en la Tabla 15, donde se expone la información de los respectivos indicadores gravimétricos y volumétricos para el proyecto en cuestión en los periodos de construcción del año 2020.

Como resultados promedio en la Tabla 15 se obtuvo índices de 0.170 (W_{gr}), 0.257 (IGR_w) y 0.235 (IGR_v) según un WTA de 1.502 ton/m². Datos que se asemejan en ciertos índices y difieren en otros al compararlos con Gonzalez (2021). Quien realizó un estudio de residuos generados por una obra con un sistema de construcción de mampostería estructural obteniendo índices con valores promedio de 0.25 (W_{gr}), 0.182 (IGR_w), 0.097 (IGR_v) según un WTA de 0.725 ton/m².

Tabla 15: Indicadores gravimétricos 1er semestre año 2020. Proyecto Manzanares 4 y 5

Indicador	Descripción	Periodos							
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Cantidad Construida	Unidades de vivienda construidas en el periodo (und)	160	160	127	0	200	160	160	160
Área construida	Área construida de vivienda en el periodo (m ²)	13,149	13,149	10,437	0	16,436	13,149	13,149	13,149

Indicador	Descripción	Periodos							
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
W_{gr}	Indicador gravimétrico (ton/ton)	0.316	0.300	0.255	0	0.107	0.254	0.106	0.014
IGR_w	Indicador gravimétrico (ton/m ²)	0.474	0.451	0.383	0	0.160	0.381	0.159	0.021
IGR_v	Indicador volumétrico (m ³ /m ²)	0.434	0.413	0.351	0	0.147	0.349	0.146	0.019

Las pequeñas diferencias en el caso del W_{gr} , se reflejan en la densidad de unidades de vivienda que presenta el proyecto Manzanares 4 y 5, pues al tratarse de una vivienda VIS las áreas son reducidas al máximo para aprovechar el espacio, lo cual tiene como consecuencia un aumento en la relación peso/área del proyecto WTA el cual es una variable que afecta el índice en cuestión. En cuanto al IGR_w y el IGR_v , las grandes diferencias pueden ser resultado del rendimiento del personal humano encargado de las actividades de construcción, pues al tratarse de la construcción de una gran cantidad de unidades de vivienda en muy poco tiempo, la generación de RCD es muy alta con respecto al área construida. Por otro lado, en parte también puede ser debido a las diferencias en los diseños arquitectónicos que presenta el proyecto en análisis con respecto al de Gonzalez (2021).

Por otro lado, desde un punto de vista de cumplimiento de la normativa vigente (Resolución 0472 o Decreto 0771) el índice de relación peso $W_{gr}= 0.17$, indica que se puede dar cabal cumplimiento a las exigencias planteadas por las entidades gubernamentales competentes. Sin embargo, si se tiene en cuenta que en la actualidad se encuentra en consulta pública una resolución por la cual se modificarán las metas de aprovechamiento exigidas, el proyecto no lograría las metas exigidas; pues para las ciudades de categoría especial como Santiago de Cali, el cumplimiento que exige dicha resolución modificatoria es del 25% de aprovechamiento para el año 2022, 50% para el año 2025 y 75% para el año 2030; siendo estos valores que superan el índice relación peso/peso de RCD con respecto al peso total de la construcción.

Continuando, está claro que con respecto a los RCD conformados por materiales pétreos existe una mayor afinidad en términos de aprovechamiento, pues los productos reciclados provenientes de estos materiales usualmente requieren únicamente procesos mecánicos de transformación. En contraposición, para los materiales NO pétreos reciclables estos requieren procesos más complejos de transformación químicos o térmicos, como lo es en el caso de los plásticos, aluminios, pvc, chatarra, etc. Entonces, es importante reconocer que el comportamiento de dichos residuos pétreos es importante para este estudio pues a partir de estos se realizarán todos los análisis de beneficios.

Además, para el caso de los RCD pétreos transformados en materiales de construcción reciclados se encontró que existen cuatro grupos principales de materiales de construcción reciclados utilizados a nivel mundial, que, además, según su disponibilidad y volumen representan una gran oportunidad en términos económicos y sostenibles. Estos grupos son los materiales de construcción reciclados derivados del concreto, de residuos de mampostería, de roturas cerámicas y de residuos de excavación (Chica & Beltrán, 2018). De acuerdo a lo anterior, para el proyecto se cuenta con una gran ventaja a nivel de aprovechamiento, pues una los RCD pétreos generados por el proyecto hacen parte de los productos reciclados más utilizados a nivel mundial.

Para el caso de estos cuatro grupos de productos derivados de RCD existen cuatro líneas principales de reutilización de residuos de concreto: Fabricación de concretos empleando RCD como sustituto total de áridos naturales o como de sustituto de las fracciones gruesas o finas; elaboración de prefabricados como bloques divisorios, bordillos y tuberías; uso en carreteras como base y sub-base, relleno; y aprovechamiento de los residuos de como materia prima para la producción de nuevos productos de alta calidad (Chica & Beltrán, 2018).

Conociendo las condiciones actuales del proyecto, sus respectivos índices y cantidades de generación se procedió a identificar y evaluar actualmente qué metodologías existentes de aprovechamiento se encuentran disponibles en el mercado y aquellas que no. Todo lo anterior, con el objetivo de elevar las posibilidades de aprovechamiento del RCD presente en obra y posteriormente, verificar en el mercado actual aquellas metodologías posibles a implantar o en su defecto a mejorar.

4.3 Selección propuesta de Aprovechamiento

Los materiales de construcción reciclados son productos que para alcanzar su estado final generalmente sufren procesos de transformación térmica, química o mecánica según sea el caso, por tal razón las estrategias o las metodologías de aprovechamiento se enfocan principalmente en desarrollar herramientas o métodos que mejoren las condiciones de reciclaje de materiales que previamente ya han sufrido cambios a nivel químico o físico.

Retomando las propuestas de aprovechamiento que cumplen con lo anterior tenemos:

- Tercerización de proceso de producción de RCD con gestor de aprovechamiento (T)
- Implementación de planta de trituración de agregados fija en el macro proyecto (PF)

- Implementación de planta de trituración de agregados móvil en el macro proyecto (PM)
- Sociedad con empresa de encargada de procesos de aprovechamiento de RCD (S)

En congruencia con lo anterior y siguiendo los pasos establecidos por Saaty (2008) explicados en el literal 3.7 se inicia el proceso de selección de la propuesta de aprovechamiento llevando a cabo el respectivo algoritmo del análisis de jerarquía analítico.

Paso 1: Modelación del problema, selección de criterios de evaluación y presentación de alternativas

- Definición de Problema:** ¿Que metodología de aprovechamiento es la más adecuada para proyecto Manzanares etapas 4 y 5?
- Selección de criterios de evaluación:**
 - ✓ Inversión inicial requerida para implementar la metodología.
 - ✓ Valor ganado generado por la metodología.
 - ✓ Posibilidad de reventa de activos utilizados en la metodología (valor de salvamento)
 - ✓ Control y calidad de los productos derivados de la metodología.

Paso 2 y 3: Formación y Sincronización de juicios para alcanzar criterios de evaluación globales

a) Matriz de criterios Nivel 1: Perspectiva empresarial

Se genera una matriz donde se imponen entre los mismos criterios de evaluación cierta importancia entre ellos mismos, de modo que según la perspectiva del autor cada criterio posea igual, más, menos, mucho mas o mucho menos importancia con respecto a los demás criterios. Por ejemplo, en la matriz expuesta a continuación la celda A11 (fila 1, columna 1) es la comparación entre Inversión inicial con Inversión inicial, por tal motivo el resultado de la comparación es igual a 1; pero por ejemplo en la casilla A12 (fila 1, columna 2), donde se está comparando Inversión inicial vs Valor Ganado se tiene que valor ganado es 2 veces más importante que la inversión inicial y por tal motivo, la casilla opuesta A21 deberá tener el inverso de esta puntuación (1/2). A continuación, se enseña la matriz de criterios elegida según el criterio y la perspectiva del autor.

$$A = \begin{matrix} \text{Inversion inicial} \\ \text{Valor ganado} \\ \text{Valor de Salvamento} \\ \text{Control y calidad} \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 1/2 & 3 & 1/2 \\ 2 & 1 & 3 & 2 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 1/3 \\ 2 & 1/2 & 3 & 1 \end{pmatrix}$$

b) Matriz Normalizada N de pesos relativos Nivel 1: Perspectiva empresarial

Para poder establecer una jerarquía de los criterios adecuada es necesario normalizar las importancias presentadas anteriormente, de este modo se asegura que los datos sean confiables al ponderar cada una de las importancias en base a un número. A continuación, el resultado de la matriz normalizada de A.

$$N = \begin{matrix} \text{Inversion inicial} \\ \text{Valor ganado} \\ \text{Valor de Salvamento} \\ \text{Control y calidad} \end{matrix} \begin{pmatrix} 0.19 & 0.21 & 0.30 & 0.13 \\ 0.38 & 0.43 & 0.30 & 0.52 \\ 0.06 & 0.14 & 0.10 & 0.09 \\ 0.38 & 0.21 & 0.30 & 0.26 \end{pmatrix}$$

c) Vector de jerarquía de Nivel 1 (promedios de filas matriz N)

Para conocer el primer nivel de jerarquía de los criterios se debe sumar cada fila de la matriz A normalizada expuesta anteriormente y multiplicarla por 100. A continuación, se presenta el vector resultado del primer nivel de jerarquía.

$$AHP = \begin{matrix} \text{Inversion inicial} \\ \text{Valor ganado} \\ \text{Valor de Salvamento} \\ \text{Control y calidad} \end{matrix} = \begin{pmatrix} 20.81 \\ 40.63 \\ 9.81 \\ 28.75 \end{pmatrix}$$

Como se puede observar, la jerarquía de los criterios en el nivel 1 está dada primeramente por el valor ganado generado por la metodología (40.63%), seguido del el control y calidad de productos derivados de emplear la metodología (28.75%), continuando con la inversión inicial requerida para implementar la metodología (20.81%) y finalmente con el valor de salvamento de los activos (9.81%). Cabe aclarar que estos valores son resultado del criterio del autor utilizado en la matriz de criterios de nivel 1 expuesta en el enunciado a). anteriormente.

d) Matrices de alternativas de Nivel 2: Alternativas aplicadas a criterios

Continuando con el procedimiento expuesto por Saaty (2008) el segundo paso consiste en aplicar los criterios de evaluación ya mencionados a cada una de las alternativas de aprovechamiento participantes, las cuales son:

- ✓ T (Tercerización con gestor)
- ✓ PF (Planta de trituración de agregados fija)
- ✓ PM (Planta de trituración de agregados móvil)
- ✓ S (Sociedad con empresa dedicada al aprovechamiento)

Teniendo en cuenta esto, se procede a realizar el mismo paso de establecer prioridades entre sí, pero en este caso basándose en cada criterio. Por ejemplo, la matriz A_{iv} establecerá sus importancias entre si dependiendo de las características del criterio Inversión Inicial (ii) y así mismo con las matrices A_{vg} , A_{vs} , A_{cc} , las cuales hacen referencia a los tres criterios restantes de valor ganado, reventa de activos y control y calidad de productos (Saaty, 2008). A continuación, se exponen los resultados de las matrices de criterios para cada una de las alternativas en cuestión.

e) **Matrices de criterios aplicadas a alternativas**

$$A_{ii} = \begin{matrix} T \\ PM \\ PF \\ S \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 4 & 2 & 3 \\ 1/4 & 1 & 1/2 & 3 \\ 1/2 & 2 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1/3 & 1/3 & 1 \end{pmatrix} \quad A_{vg} = \begin{matrix} T \\ PM \\ PF \\ S \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 1/2 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 1/2 & 3 \\ 1 & 2 & 1 & 3 \\ 1/2 & 1/3 & 1/3 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_{vs} = \begin{matrix} T \\ PM \\ PF \\ S \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 1/4 & 1/3 & 1 \\ 4 & 1 & 2 & 4 \\ 3 & 1/2 & 1 & 3 \\ 1 & 1/4 & 1/3 & 1 \end{pmatrix} \quad A_{cc} = \begin{matrix} T \\ PM \\ PF \\ S \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 1/3 & 1/4 & 1/2 \\ 3 & 1 & 1/2 & 2 \\ 4 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 1/2 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Posteriormente, se debe realizar el mismo procedimiento de normalización para cada una de las matrices, tal como se realizó con el nivel 1, ya que de esta manera obtendremos el resultado de la jerarquía según cada alternativa de aprovechamiento (Saaty, 2008).

f) **Matrices Normalizadas N de pesos relativos Nivel 2: Alternativas aplicadas a criterios**

$$N_{ii} = \begin{matrix} T \\ PM \\ PF \\ S \end{matrix} \begin{pmatrix} 0.48 & 0.55 & 0.52 & 0.30 \\ 0.12 & 0.14 & 0.13 & 0.30 \\ 0.24 & 0.27 & 0.26 & 0.30 \\ 0.16 & 0.05 & 0.09 & 0.10 \end{pmatrix} \quad N_{vg} = \begin{matrix} T \\ PM \\ PF \\ S \end{matrix} \begin{pmatrix} 0.22 & 0.13 & 0.35 & 0.22 \\ 0.44 & 0.26 & 0.18 & 0.33 \\ 0.22 & 0.52 & 0.35 & 0.33 \\ 0.11 & 0.09 & 0.12 & 0.11 \end{pmatrix}$$

$$N_{vs} = \begin{matrix} T \\ PM \\ PF \\ S \end{matrix} \begin{pmatrix} 0.11 & 0.13 & 0.09 & 0.11 \\ 0.44 & 0.50 & 0.55 & 0.44 \\ 0.33 & 0.25 & 0.27 & 0.33 \\ 0.11 & 0.13 & 0.09 & 0.11 \end{pmatrix} \quad N_{cc} = \begin{matrix} T \\ PM \\ PF \\ S \end{matrix} \begin{pmatrix} 0.10 & 0.09 & 0.09 & 0.11 \\ 0.30 & 0.26 & 0.18 & 0.44 \\ 0.40 & 0.52 & 0.36 & 0.22 \\ 0.20 & 0.13 & 0.36 & 0.22 \end{pmatrix}$$

g) **Vectores de jerarquía de Nivel 2 (promedios de filas matrices N_i)**

$$W_{ii} = \begin{matrix} T \\ PM \\ PF \\ S \end{matrix} \begin{pmatrix} 0.46 \\ 0.17 \\ 0.27 \\ 0.10 \end{pmatrix} \quad W_{vg} = \begin{matrix} T \\ PM \\ PF \\ S \end{matrix} \begin{pmatrix} 0.23 \\ 0.30 \\ 0.36 \\ 0.11 \end{pmatrix}$$

$$W_{vs} = \begin{matrix} T \\ PM \\ PF \\ S \end{matrix} \begin{pmatrix} 0.11 \\ 0.48 \\ 0.30 \\ 0.11 \end{pmatrix} \quad W_{cc} = \begin{matrix} T \\ PM \\ PF \\ S \end{matrix} \begin{pmatrix} 0.10 \\ 0.30 \\ 0.38 \\ 0.23 \end{pmatrix}$$

Como se puede observar, se realizó el mismo procedimiento que en el nivel 1 y por tanto se puede evidenciar que para cada una de las alternativas de aprovechamiento se posee diferentes vectores jerarquías de nivel 2 donde fueron aplicados criterios de selección del nivel 1.

h) **Matriz Normalizada de pesos jerarquía Nivel 2**

Una vez se definen estos vectores de jerarquía de las diferentes alternativas, el conjunto de estos vectores será la matriz de jerarquía del nivel 2 (Saaty, 2008).

$$N_{metodologias} = \begin{matrix} (W_{ii}) & (W_{vg}) & (W_{vs}) & (W_{cc}) \end{matrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 0.46 & 0.23 & 0.11 & 0.10 \\ 0.17 & 0.30 & 0.48 & 0.30 \\ 0.27 & 0.36 & 0.30 & 0.38 \\ 0.10 & 0.11 & 0.11 & 0.23 \end{pmatrix}$$

i) **Matriz de Puntajes Finales**

Para finalizar, el resultado de la mejor alternativa estará dado por el producto de la matriz AHP del nivel 1 de jerarquía con la matriz $N_{metodologias}$ del nivel 2 de jerarquía debido a que mediante este proceso se evalúan ambos niveles y se da un resultado preciso que involucra todos los procedimientos escala realizados (Saaty, 2008).

$$M_{puntaje} = AHP * N_{metodologias} \quad (8)$$

$$M_{puntaje} \begin{pmatrix} 20.81 \\ 40.63 \\ 9.81 \\ 28.75 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 0.46 & 0.23 & 0.11 & 0.10 \\ 0.17 & 0.30 & 0.48 & 0.30 \\ 0.27 & 0.36 & 0.30 & 0.38 \\ 0.10 & 0.11 & 0.11 & 0.23 \end{pmatrix}$$

$$M_{puntuaje} = \begin{array}{c|c} T & (23) \\ PM & (29) \\ PF & (34) \\ S & (14) \end{array}$$

Como se puede observar, el resultado del procedimiento informa que para los niveles de jerarquía 1 y de jerarquía 2 establecidos anteriormente la alternativa indicada para resolver el problema inicial es la Planta de trituración de agregado fija con un puntaje de 34.

Paso 4: Revisión de consistencia de juicios

a) Prueba de consistencia de las alternativas

No obstante, todo este procedimiento debe atravesar por un proceso de aseguramiento de consistencia de datos, pues muchas veces, las importancias establecidas pueden estar muy sesgadas a la realidad y esto puede generar un desbalance que favorezca alguna de las alternativas. Por tal motivo, el paso final en el procedimiento de Jerarquización analítica de Saaty (2008) consiste en realizar comprobaciones de consistencia en las matrices de jerarquía a partir del siguiente algoritmo.

✓ Paso 4.1: Producto entre la Matriz A_i y la Matriz Q_i

Para cada matriz, será necesario realizar el producto de sus matrices de criterios con su respectivo vector de jerarquía, de este modo se obtiene el vector R_i . (Saaty, 2008)

$$R_{ii} = A_{ii} * W_{ii} = \begin{pmatrix} 1.98 \\ 0.72 \\ 1.14 \\ 0.40 \end{pmatrix} \quad R_{vg} = A_{vg} * W_{vg} = \begin{pmatrix} 0.95 \\ 1.27 \\ 1.52 \\ 0.44 \end{pmatrix}$$

$$R_{ra} = A_{vs} * W_{vs} = \begin{pmatrix} 0.44 \\ 1.95 \\ 1.20 \\ 0.44 \end{pmatrix} \quad R_{cc} = A_{cc} * W_{cc} = \begin{pmatrix} 0.40 \\ 1.24 \\ 1.59 \\ 0.95 \end{pmatrix}$$

✓ Paso 4.2: Valores propios de las matrices A_i

Se debe encontrar los valores propios de cada matriz y para esto es necesario realizar la razón entre la Matriz R_i y la Matriz Q_i . Así mismo, la cantidad de alternativas nos arroja el valor n , el cual es empleado para encontrar el índice de consistencia de las matrices de jerarquía (Saaty, 2008).

$$\bar{Q}_{uu} = \frac{\bar{R}_{uu}}{\bar{W}_{uu}} = \frac{\begin{pmatrix} 4.31 \\ 4.18 \\ 4.31 \\ 4.07 \end{pmatrix}}{4.22} = 4.22 \Rightarrow n_t = 4 \quad \bar{Q}_{vg} = \frac{\bar{R}_{vg}}{\bar{W}_{vg}} = \frac{\begin{pmatrix} 4.03 \\ 4.03 \\ 4.03 \\ 4.01 \end{pmatrix}}{4.03} = 4.03 \Rightarrow n_{pf} = 4$$

$$\bar{Q}_{vs} = \frac{\bar{R}_{vs}}{\bar{W}_{vs}} = \frac{\begin{pmatrix} 4.14 \\ 4.17 \\ 4.19 \\ 4.10 \end{pmatrix}}{4.15} = 4.15 \Rightarrow n_s = 4 \quad \bar{Q}_{cc} = \frac{\bar{R}_{cc}}{\bar{W}_{cc}} = \frac{\begin{pmatrix} 4.01 \\ 4.06 \\ 4.03 \\ 4.01 \end{pmatrix}}{4.02} = 4.02 \Rightarrow n_{pm} = 4$$

b) Consistencia Aleatoria

El valor n, mencionado anteriormente, es de utilidad para hallar el índice aleatorio para cualquier matriz. En este caso Saaty (2008) establece los índices a partir de la siguiente Tabla:

Tabla 16: Índice de consistencia aleatoria (Saaty, 2008)

n	2	3	4	5	6	7
Índice Aleatorio	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32

Por tanto:

$$n_{ii} = 4 \Rightarrow RI_t = 0.9$$

$$n_{vg} = 4 \Rightarrow RI_t = 0.9$$

$$n_{vs} = 4 \Rightarrow RI_t = 0.9$$

$$n_{cc} = 4 \Rightarrow RI_t = 0.9$$

c) Índice de consistencia

Continuando con el proceso es necesario calcular el índice de consistencia de datos el cual se expone a continuación:

$$CI = \frac{\bar{Q}_i - n_i}{n_i - 1} \tag{9}$$

$$CI_{ii} = \frac{4.22 - 4}{4 - 1} = 0.080$$

$$CI_{vg} = \frac{4.03 - 4}{4 - 1} = 0.009$$

$$CI_{vs} = \frac{4.15 - 4}{4 - 1} = 0.008$$

$$CI_{cc} = \frac{4.02 - 4}{4 - 1} = 0.051$$

d) Razón de consistencia

Para finalizar, Saaty (2008) argumenta que una razón de consistencia inferior a 0.1 indica que los juicios tomados en las matrices de jerarquía se encuentran dentro de los límites recomendados y son consistentes. Por tal motivo, a continuación, se exponen los resultados de operar la fórmula de razón de consistencia con los datos de las matrices de criterios.

$$RC = \frac{CI}{RI} \tag{10}$$

$$RC_{ii} = \frac{0.063}{0.9} = 0.070 < 0.1 \Rightarrow \text{Aceptable}$$

$$RC_{vg} = \frac{0.057}{0.9} = 0.063 < 0.1 \Rightarrow \text{Aceptable}$$

$$RC_{vs} = \frac{0.007}{0.9} = 0.008 < 0.1 \Rightarrow \text{Aceptable}$$

$$RC_{cc} = \frac{0.057}{0.9} = 0.063 < 0.1 \Rightarrow \text{Aceptable}$$

Paso 5: Toma de decisiones

Como se puede observar, todos los datos de las matrices son consistentes y por tal motivo cualquiera de los juicios tomados en las matrices estará exponiendo resultados veraces. Siendo así, para la selección de la metodología se puede dar una clara aprobación al resultado obtenido.

Después de realizar el proceso de selección de la metodología de aprovechamiento a través de un proceso analítico de jerarquía se obtuvo como mejor resultado la implementación de una planta de aprovechamiento de agregados fija.

Esta metodología implica una alta inversión inicial en la adquisición de la maquinaria, sin embargo, el control y la calidad de los productos serán de total autoridad para la empresa, lo cual es una gran ventaja en términos de resultados técnicos de productos. En congruencia con lo anterior, es indispensable entonces asegurar una logística a nivel de recurso humano, sistemas y distribución tal como si este fuera un proyecto totalmente independiente con objetivos de

cumplimiento y alcance definido; pues la empresa tendrá la responsabilidad del 100% sobre el manejo de sus activos.

Por otro lado, es importante aclarar que los datos obtenidos datan del primer semestre del año 2020 por lo que gran parte de los datos se ven influenciados por la contingencia de los meses de mayo y abril ocasionada por la pandemia COVID – 19, fechas en las cuales se instauró legalmente una cuarentena obligatoria a nivel nacional.

4.4 Diseño de metodología seleccionada – Planta de trituración fija

Teniendo en cuenta que el proceso de selección de metodología de aprovechamiento tuvo como resultado una planta de trituración de agregados fija, se procede a realizar un estudio financiero y técnico de los diferentes componentes tanto humanos como materiales que hacen parte de dicha planta.

Sin embargo, inicialmente es importante tener en cuenta variables de la escogencia de los equipos que forman la estructura de la planta de aprovechamiento de RCD fija. Teniendo esto claro, la variable más importante para iniciar con la estructuración es la cantidad de RCD producido diariamente por parte del proyecto en cuestión, pues de esta forma se puede proceder a encontrar la maquinaria que supla la capacidad requerida.

Con respecto a las cantidades de material que entran, se desechan o son resultado del procesamiento, la Figura 17 presenta el respectivo diagrama de procesos utilizados por la Secretaria Distrital de Ambiente de Bogotá para representar en porcentajes equivalentes la producción de RCD aprovechables para 1000 kg de residuos ingresados al proceso. Este diagrama además fue empleado por parte de Guzmán y Soler (2019) durante un estudio de factibilidad para estimar de manera aproximada el resultado de reciclar materias primas provenientes de RCD y poder ofrecer en el mercado estos productos procesados como materiales de construcción de óptimas condiciones.

En resumen, esta figura presenta el siguiente comportamiento: para una entrada de 1,000 kg de RCD, 225 kg pertenecen a materiales no pétreos como vidrio, plástico, madera y orgánicos, 25 kg pertenece a metales y los 750 kg restantes pertenecen a RCD pétreos aprovechables. Teniendo en cuenta este comportamiento, de las producciones de RCD generadas, únicamente el 75% de los materiales tiene condiciones de pétreo y aprovechable.

En congruencia con lo anterior, previo a los procesos de cálculos, modelaciones y flujos realizados en este estudio; se decidió tomar de ahora en adelante un valor de 75% sobre el total de RCD pétreo susceptible de aprovechamiento producido por la obra para todos los análisis, es decir que, por cada metro cubico que ingrese a un análisis solamente será efectivo 0.75 m³, el resto será material excedente sin uso definido, es decir, un costo directo por disposición.

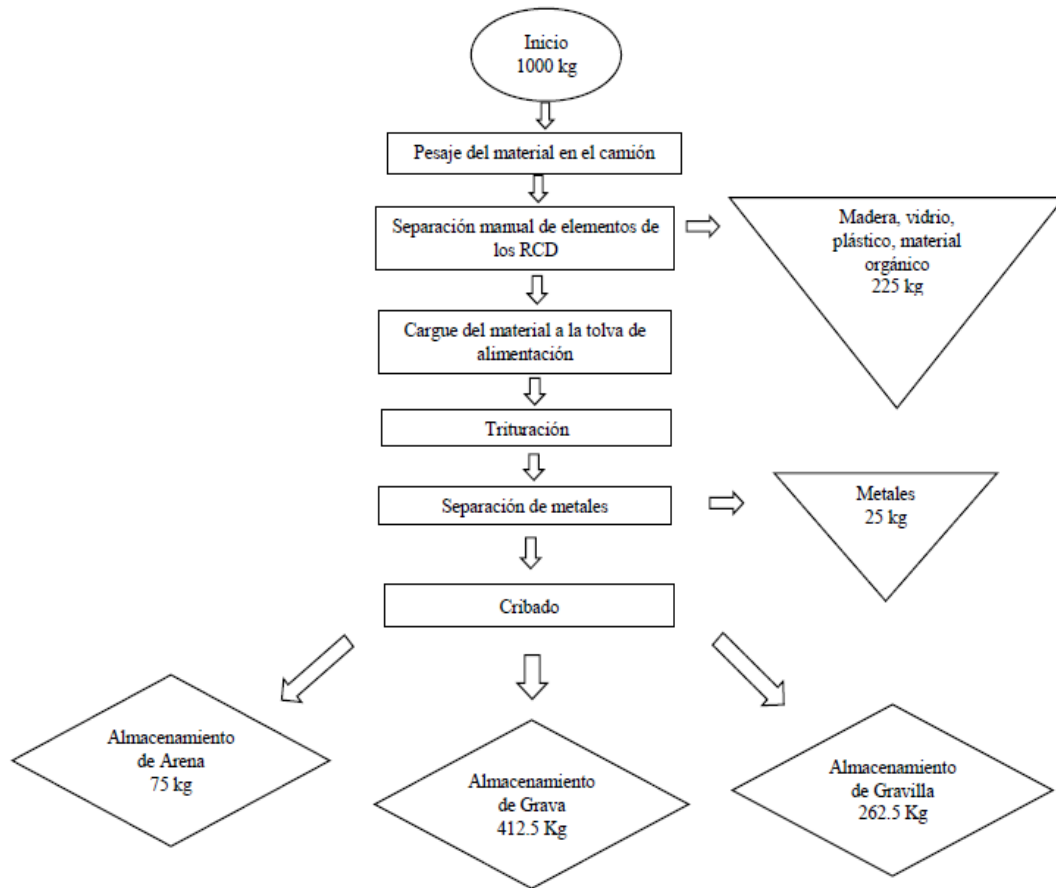


Figura 17: Proceso para la obtención de RCD (Guzmán & Soler, 2019).

Lo anterior se argumenta en tener en cuenta los escenarios y condiciones de trabajo poco efectivos que generalmente se presentan en las obras civiles tal como lo enseña la figura 17. Siendo esta la situación, a continuación, en la Tabla 17 se expone los valores de producción de RCD susceptibles de aprovechamiento que se utilizaron como datos de entrada.

Tabla 17: Cantidad estimada de RCD pétreo real aprovechable proyecto.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Volumen (m³)	4,284	4,072	2,746	214	1,807	3,443	1,440	192
Peso (Tn)	4,678	4,447	2,999	234	1,973	3,760	1,573	209

Por otro lado, con el objetivo de establecer la capacidad que debe cumplir la maquinaria de procesamiento de RCD y con ayuda de los datos presentados, fue posible encontrar la producción anual de RCD susceptible de aprovechamiento por parte del proyecto. Para este caso la generación de RCD susceptible de aprovechamiento para los 8 periodos de construcción es de 26,497 toneladas. Cabe aclarar que la totalidad para los 12 periodos del año es de 26,996 siendo los meses restantes el 1.88% de la totalidad de los RCD susceptibles de aprovechamiento

Por otro lado, al tener en cuenta la premisa expuesta en la Figura 17, se realiza la respectiva resta del 25% a cada periodo, y, como resultado se obtiene un valor de 19,873 toneladas. Con este valor, y teniendo en cuenta factores de conversión horarios fue posible encontrar las equivalencias del rendimiento de la producción. Se obtuvo que 19,973 toneladas equivalen a 1,656 toneladas/mes, 55 toneladas/día, 2.3 toneladas/hora y 0.04 toneladas/minuto. Gracias a estos valores fue posible continuar con el análisis de selección de maquinaria.

4.4.1 Maquinaria de producción

Una vez encontrados estos valores de producción en el tiempo, se inició el proceso de investigación de los elementos que conforman a una planta de procesamiento de RCD fija que logren suplir dichas cantidades.

Inicialmente, se analizó el sitio para poder satisfacer la producción de RCD con respecto a los procesos de acarreo interno que normalmente utiliza la empresa para el transporte de materiales. Para lo anterior, se tuvo en cuenta las distancias de acarreo de dichos residuos desde el punto donde está ubicada la obra hasta donde se ubicará la planta de procesamiento de residuos. A continuación, en la Tabla 18 se presentan los detalles del recorrido utilizado para establecer el rendimiento de un vehículo de carga (volqueta) con capacidad de 4 m³ (más común en el mercado), en los procesos de acarreo, y que, a su vez, satisfaga la producción promedio de 2.3 Tn/hora (2.9 m³/hora), dato que fue presentado anteriormente como base del análisis. Cabe aclarar que todos los datos utilizados corresponden a condiciones reales del sitio y el costo de acarreo se encuentra considerado más adelante en los análisis financieros.

Tabla 18: Datos rendimiento de acarreo interno

Rendimiento proceso de acarreo	
Velocidad ida (km/h)	20
Velocidad devuelta (km/h)	40
Tiempo de ida (min)	6.4
Tiempo de regreso (min)	3.2
Numero de intersecciones	6
Tiempo de parada intersección (seg)	10
Tiempo posición (min)	3
Tiempo descarga (min)	8
Tiempo ciclo de volqueta (min)	30.8
Rendimiento volqueta (m³/hora)	7.8

Por otro lado, también es necesario estimar el rendimiento de la maquinaria pesada que será la encargada de movilizar/cargar el material desde los puntos de acopio al sistema de procesamiento. Teniendo en cuenta lo anterior, las tareas mencionadas anteriormente serán realizadas por parte de una mini retro cargadora 307B Caterpillar, la cual fue elegida por encima de cualquier otra máquina cargadora debido a su fácil maniobrabilidad por tamaño y su costo en el mercado. Es importante tener presente que el costo asociado a esta maquinaria también se tuvo en cuenta en el análisis financiero posteriormente.

A continuación, en la Tabla 19 se enseñan las características de rendimientos y tiempos de movimiento de dicha máquina. Cabe aclarar que el dato que corresponde al factor de llenado depende de las características del material que el cucharón de la máquina este cargando; el cual, para este caso específico trata de materiales fragmentados que según el manual de usuario de la máquina debe ser 50%. Por otro lado, se puede observar como esta máquina también satisface la producción horaria promedio de RCD aprovechable producido por la obra.

Tabla 19: Datos rendimiento mini retroexcavadora 307B

Rendimiento proceso de cargue	
Capacidad de balde/cucharón (m ³)	0.28
Factor de llenado	50%
Carga útil real (m ³)	0.14
Tiempo de ciclo promedio (seg)	15
Ciclos por hora	240

Rendimiento proceso de cargue	
Velocidad de desplazamiento (m/s)	0.97
Eficiencia	0.75
Rendimiento (m³/hora)	25.20
Rendimiento (m³/min)	0.42

Teniendo clara la información referente a los rendimientos de acarreo y de movimiento interno, se procedió a iniciar con el análisis de la maquinaria correspondiente a la planta de RCD. Para alcanzar esto, se inició investigando los tipos de máquinas utilizados por empresas dedicadas exclusivamente al proceso de reciclaje de RCD tales como Reciclados industriales, MAAT, Contemax, Entre otros. En congruencia con lo anterior, se encontró que los elementos básicos necesarios para llevar a cabo los procesos de transformación de RCD aprovechable deben incluir elementos de pesaje, clasificación, alimentación, distribución, trituración y separación.

Sumado a esto, al realizar la respectiva investigación de estos elementos básicos, se encontró que existen diferentes condiciones, precios y características. Así pues, se optó por seleccionar la maquinaria que se ajustara en términos de rendimiento a la producción de RCD generada por el proyecto, la cual es 2.3 Tn/hora.

Para concluir, se tuvo en cuenta el cumplimiento características técnicas exigidas (físicas y mecánicas) del equipo para este proyecto; por ejemplo, la capacidad de procesamiento, tipos de materiales soportados, tamaño del equipo y complejidad del equipo. A continuación, se presenta la información correspondiente a los elementos seleccionados para la planta de procesamiento de RCD y a su vez satisfacen una producción de 2.3 Tn/hora de residuos.

Tabla 20: Datos rendimiento elementos planta de aprovechamiento de RCD

Rendimiento proceso de acarreo	Función	Rendimiento/Capacidad
Bascula	Pesaje	40 Tn
Tolva de alimentación	Alimentación	30 Tn
Trituradora de impacto	Fragmentación	200 Tn/hora
Trituradora de mandíbula	Fragmentación	150 Tn/hora
Banda transportadora	Transporte	85 Tn/hora
Separador magnético	Limpieza	255 Tn/hora
Cribadora	Separación	40 Tn/hora

Cabe recalcar que durante el proceso de investigación se encontró que la mayoría de la maquinaria seleccionada tiene los rendimientos más bajos encontrados en el mercado. Lo anterior, se traduce en un ahorro de costos significativo pues entre mayor sea el rendimiento o mayor sea la

capacidad el costo puede llegar a ser cuatro veces más que el precio corriente. A pesar de esto, como se puede observar, los rendimientos de la maquinaria son mucho mayores a la producción por hora de la obra (2.3 Tn/hora).

Por otro lado, fue importante conocer los tiempos de producción del conjunto de máquinas seleccionada, pues de esta manera es posible establecer rendimientos de operación de la planta en funcionamiento. Para lograr esto, se procedió a definir los sub procesos que componen el proceso completo y de esta forma lograr encontrar de manera individual los rendimientos de cada una de las etapas.

- **Proceso de alimentación:** está compuesto por tres momentos, inicialmente la carga del material desde bascula, seguido del desplazamiento promedio de 10 metros de la maquina hasta la tolva de alimentación y finalmente el descargue del material en la tolva. A continuación, se expone la Tabla 21 en el cual se especifican los tiempos necesarios para finalizar este proceso en cuestión para 1 Tonelada de RCD.

Tabla 21: Proceso alimentación

Momento	Tiempo (min)
Carga	0.46
Desplazamiento	0.16
Descargue	0.46

- **Proceso de trituración:** está compuesto por un momento, el cual consiste en el proceso de trituración de los agregados. Cabe aclarar que para este caso se utilizaran dos máquinas para triturar, una de impacto y una de mandíbula de esta forma se asegura una fragmentación optima en los materiales. A continuación, se expone la Tabla 22 en el cual se especifican los tiempos necesarios para finalizar este proceso en cuestión para 1 Tonelada de RCD.

Tabla 22: Proceso de trituración

Momento	Tiempo (min)
Trituración	0.70

- **Proceso de cribado:** está compuesto por un momento, el cual consiste en el proceso de cribado o tamizado de los agregados. A continuación, se expone la Tabla 23 en el cual se especifican los tiempos necesarios para finalizar este proceso en cuestión para 1 Tonelada de RCD.

Tabla 23: Proceso de cribado de materiales

Momento	Tiempo (min)
Cribado	1.50

- **Proceso de transporte:** está compuesto por cinco momentos, inicialmente una banda que transporta el material de las mandíbulas de trituración hasta el separador magnético, posteriormente una banda que transporta el material desde el separador magnético a la cribadora y finalmente tres bandas transportadoras que distribuyen el material tamizados a sus respectivos lugares de acumulación. A continuación, se expone la Tabla 24 en el cual se especifican los tiempos necesarios para finalizar este proceso en cuestión para 1 Tonelada de RCD.

Tabla 24: Proceso pesaje de materiales

Momento	Tiempo (min)
Banda 1	0.056
Banda 2	0.056
Banda 3,4 y 5	0.056

Para finalizar, en la Figura 18 se presenta el resultado resumido de las respectivas unidades de tiempo de cada etapa productiva que compone a la planta de aprovechamiento de RCD según una entrada de material equivalente a 1 tonelada.

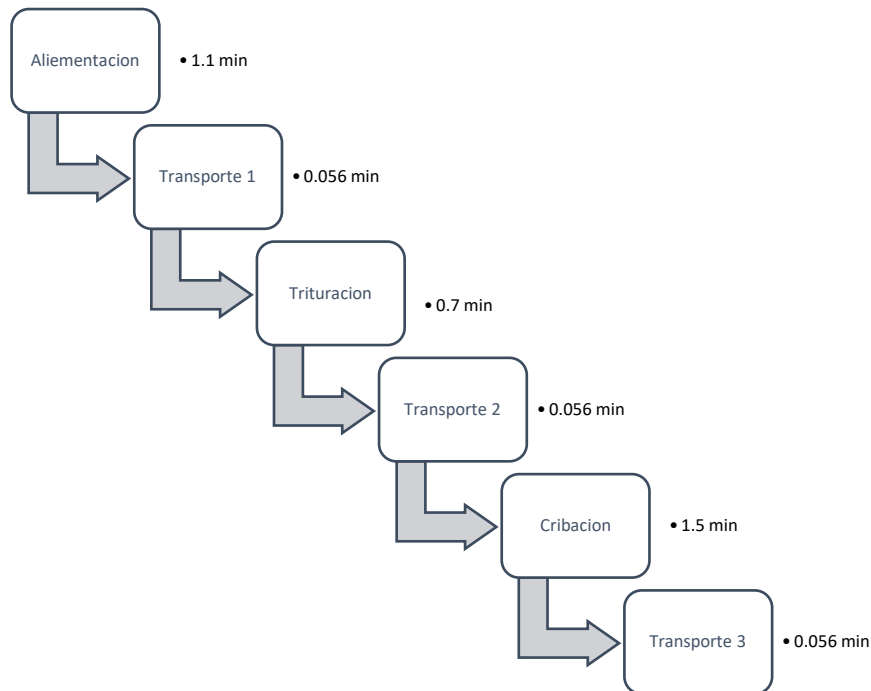


Figura 18: Tiempos de producción para 1 Tonelada de RCD en planta propuesta.

Como se puede observar la duración total del procesamiento de 1 toneladas de material tiene una duración total de 3.45 minutos, lo anterior se traduce en un rendimiento real de 17.41 toneladas/hora para la planta de aprovechamiento planteada.

En adición a lo anterior, es importante entonces realizar un análisis del proceso según un horario de trabajo de 8 horas, pues de este modo es posible realizar el cálculo de capacidad de la planta de aprovechamiento, tal como se enseña a continuación en la Tabla 25:

Tabla 25: Días laborales año 2020

Año 2020	
Días en el año	365
Domingos	52
Festivos	19
Sábados	52
Horas de trabajo totales	1,944
Días laborales totales	243

Para el cálculo de la capacidad anual de la maquina entonces se realiza la respectiva división del rendimiento por la cantidad de horas anuales.

$$Capacidad\ teorica = \frac{Rendimiento\ (\frac{ton}{h})}{Horas\ al\ año} = \frac{17.41\ \frac{ton}{h}}{1,944\ \frac{h}{año}} = 33,848\ \frac{ton}{año} \quad (11)$$

Como se puede observar en la Tabla 26, la capacidad teórica de la planta es superior a la producción anual de RCD por parte del proyecto, es decir que la planta es adecuada para cumplir con la demanda exigida por el proyecto.

Tabla 26: Producción Satisfecha

Capacidad teórica vs Producción	
Capacidad teórica (toneladas/año)	33,848
Producción de RCD (toneladas/año)	26,996

Teniendo claro lo anterior, los elementos de maquinaria pesada utilizados para el proceso de producción de los RCD fueron cotizados en diferentes empresas con precios actuales de mercado.

Sumado a esto, para una mayor precisión en los datos, se decide utilizar precios promedio entre ambos datos y afectarlo por una reducción del 4% pues la situación de emergencia sanitaria de la pandemia COVID-19 tuvo como consecuencia inevitable la alteración los precios de productos de forma estrepitosa e irreal generando posibles incongruencias en los resultados de la factibilidad.

A continuación, en la Tabla 27 se puede evidenciar los precios seleccionados de las diferentes empresas proponentes del mercado; Trumax, Dismet, Cromang; Triman, Imeltrac, Idimisa, Bantracol, Eagle Crusher, Fimsa, GWC, Joyal, Trasca, Huaxinsc, Huazn, Honji, Yuxiang, Biachy, Yh, Etc. Para mayor detalle de origen, empresa y precio utilizado, revisar anexo 2.

Tabla 27: Escenarios de precios de maquinaria utilizados (Huaxinsc, Huazn, Honji, Yuxiang, Biachy, Yh, 2020)

Maquinaria	Valor (COP)
Bascula	\$ 23,505,100
Tolva de alimentación	\$ 27,745,125
Trituradora de impacto	\$ 26,480,100
Trituradora de mandíbula	\$ 35,306,800
Banda transportadora	\$ 13,255,055
Separador magnético	\$ 12,900,045
Cribadora	\$ 34,116,800

Por otro lado, es importante también tener en cuenta otra clase de costos asociados a la maquinaria como lo pueden ser los costos asociados a la depreciación, la propiedad, el consumo de energía, las reparaciones, entre otros.

Para el caso de los costos de propiedad, se tuvo en cuenta inicialmente un valor de salvamento de la maquinaria del 10% del valor inicial y una vida útil de 5 años para todas las máquinas al tratarse de maquinaria pesada y de construcción que se encuentra en constante desgaste por el uso. Gracias a esto, fue posible conocer la rata de depreciación de las maquinas por hora y establecer un valor depreciable anual el cual es utilizado para costear los impuestos (2% del valor depreciable anual) y los seguros (3% del valor depreciable anual). A continuación, en la Tabla 28 se presentan los resultados obtenidos de estos costos.

Tabla 28: Costos de propiedad y depreciación.

Equipo	Salvamento (pesos)	Valor depreciable Anual (pesos/año)	Impuestos y Seguros (pesos/hora)	Costo propiedad (pesos/hora)
Bascula	\$ 2,350,510	\$ 4,230,918	\$ 106	\$ 106
Tolva De Alimentación	\$ 2,774,513	\$ 4,994,123	\$ 125	\$ 125
Trituradora De Impacto	\$ 2,648,010	\$ 4,766,418	\$ 119	\$ 119
Trituradora De Mandíbula	\$ 3,530,680	\$ 6,355,224	\$ 159	\$ 159
Banda Transportadora	\$ 1,325,506	\$ 2,385,910	\$ 60	\$ 60
Separador Magnético	\$ 1,290,005	\$ 2,322,008	\$ 58	\$ 58
Cribadora	\$ 3,411,680	\$ 6,141,024	\$ 153	\$ 153

En Adición a lo anterior, se tuvo en cuenta los costos de consumo de energía por hora del sistema. Para lograr esto, se utilizaron las potencias de los motores de las máquinas investigadas, un costo del 20% del costo del consumo asociado a la lubricación de los motores y la tarifa promedio establecida por la empresa de servicios públicos de la ciudad de Cali, EMCALI, para estrato el estrato 3 (referencia de estrato del proyecto). Este último, además se comparó con el anexo 1 de las tarifas establecidas por la superintendencia de servicios públicos de 2021, el cual, para estrato 4 presenta un valor de 489\$, encontrando que el valor tomado de referencia de EMCALI (455\$ para estrato 3) es un valor congruente que a su vez supone un factor de seguridad teniendo en cuenta la diferencia de estratos. A continuación, en la Tabla 29 se presentan los resultados obtenidos de estos costos.

Tabla 29: Costo energético

Equipo	Consumo energía (kW/h)	Costo energía (Pesos/kWh)	Costo consumo (Peso/kWh)	Lubricante Motor (pesos/hora)	Costo Energético (pesos/hora)
Bascula	3.6	\$ 455	\$ 1,638	\$328	\$1,966
Tolva De Alimentación	11	\$ 455	\$ 5,005	\$1,001	\$6,006
Trituradora De Impacto	4	\$ 455	\$ 1,820	\$364	\$2,184
Trituradora De Mandíbula	5.5	\$ 455	\$ 2,503	\$501	\$3,003
Banda Transportadora	3	\$ 455	\$ 1,365	\$273	\$1,638
Separador Magnético	9.51	\$ 455	\$ 4,327	\$865	\$5,192
Cribadora	15	\$ 455	\$ 6,825	\$1,365	\$8,190

Para finalizar con los costos adicionales de las maquinas, se analizaron costos de reparaciones por hora al definir los costos mecánicos como el 25% del valor de la depreciación horaria y para los costos de repuestos un 50% del valor de la depreciación horaria. A continuación, en la Tabla 30 se presentan los resultados obtenidos de estos costos.

Tabla 30: Costos de reparaciones

Equipo	Mecánicos (pesos/hora)	Repuestos (pesos/hora)	Costo Total Reparaciones (pesos/hora)
Bascula	\$528	\$1,057	\$ 1,587
Tolva De Alimentación	\$624	\$1,248	\$ 1,873
Trituradora De Impacto	\$595	\$1,191	\$ 1,787
Trituradora De Mandíbula	\$794	\$1,588	\$ 2,383
Banda Transportadora	\$298	\$596	\$ 895
Separador Magnético	\$290	\$580	\$ 871
Cribadora	\$767	\$1,535	\$ 2,303

Teniendo clara la información de los costos adicionales asociados a la maquinaria, a continuación, en la Tabla 31 se presenta el resultado de costo horario de cada una de los equipos investigados, el cual será utilizado más adelante para calcular el costo periódico del funcionamiento de la planta fija de procesamiento de RCD.

Tabla 31: Costo Horario Maquinaria

Equipo	Cantidad	Costo hora (Pesos)	Costo hora total (Pesos)
Bascula	1	\$ 3,658	\$ 3,658
Tolva De Alimentación	1	\$ 8,004	\$ 8,004
Trituradora De Impacto	1	\$ 4,090	\$ 4,090
Trituradora De Mandíbula	1	\$ 5,545	\$ 5,545
Banda Transportadora	5	\$ 2,5922	\$ 12,962
Separador Magnético	1	\$ 6,121	\$ 6,121
Cribadora	1	\$ 10,646	\$ 10,646

4.4.2 Ubicación y distribución del proceso productivo

El macro proyecto Ciudad del Valle cuenta un área de construcción extensa en la cual se encuentran diferentes predios aún en definición en términos de uso. Lo anterior genera una ventaja estratégica en términos de localización de una posible planta de aprovechamiento de RCD. Por otro lado, al tratarse de un conjunto de proyectos de diferentes sistemas constructivos por parte de la Constructora Bolívar se han establecido alianzas estratégicas con diferentes empresas para el suministro de materias primas. Por ejemplo, en Ciudad del Valle se encuentra ubicada una planta fija de concreto de la empresa Argos la cual genera el 100% del concreto necesario para las obras.

Teniendo en cuenta lo anterior, en conjunto con la Ingeniera encargada del proyecto CICLOS, se evaluó la posibilidad de localizar la planta de aprovechamiento de RCD en el mismo predio en el cual se encuentra ubicada la planta de concretos, esto con el objetivo de aprovechar el espacio disponible y a su vez ahorrarse todos los costos asociados que acarrearán adecuar un área de trabajo, como lo pueden ser el cerramiento, los suministros de servicios públicos, el movimiento de tierras, la vigilancia, entre otros.

Para este lote, también se definió un espacio de 2,220 m² los cuales estarán distribuidas por un ingreso de 6 metros de ancho de ingreso; distancia suficiente para la entrada de vehículos de carga, una zona de acopio de materia prima y clasificación de 169 m²; lugar donde dispondrá el material de llegada no uniforme y se clasificará según la normativa, un lugar fijo exclusivo de la

operación de la maquinaria de 28 m², un lugar de acopio de material de 1,707 m², una zona destinada a la oficina, almacén, parqueadero y baños de 74 m²; y finalmente el respectivo espacio de circulación para transeúntes y transporte de 242 m². Todo lo anterior, se puede observar en el Anexo 1.

Siendo esto un factor que afecta directamente la parte económica de la propuesta, a continuación, en la Figura 19, se expone la localización de la posible planta de aprovechamiento de RCD que también se encontrará contigua a la planta de producción de concretos:

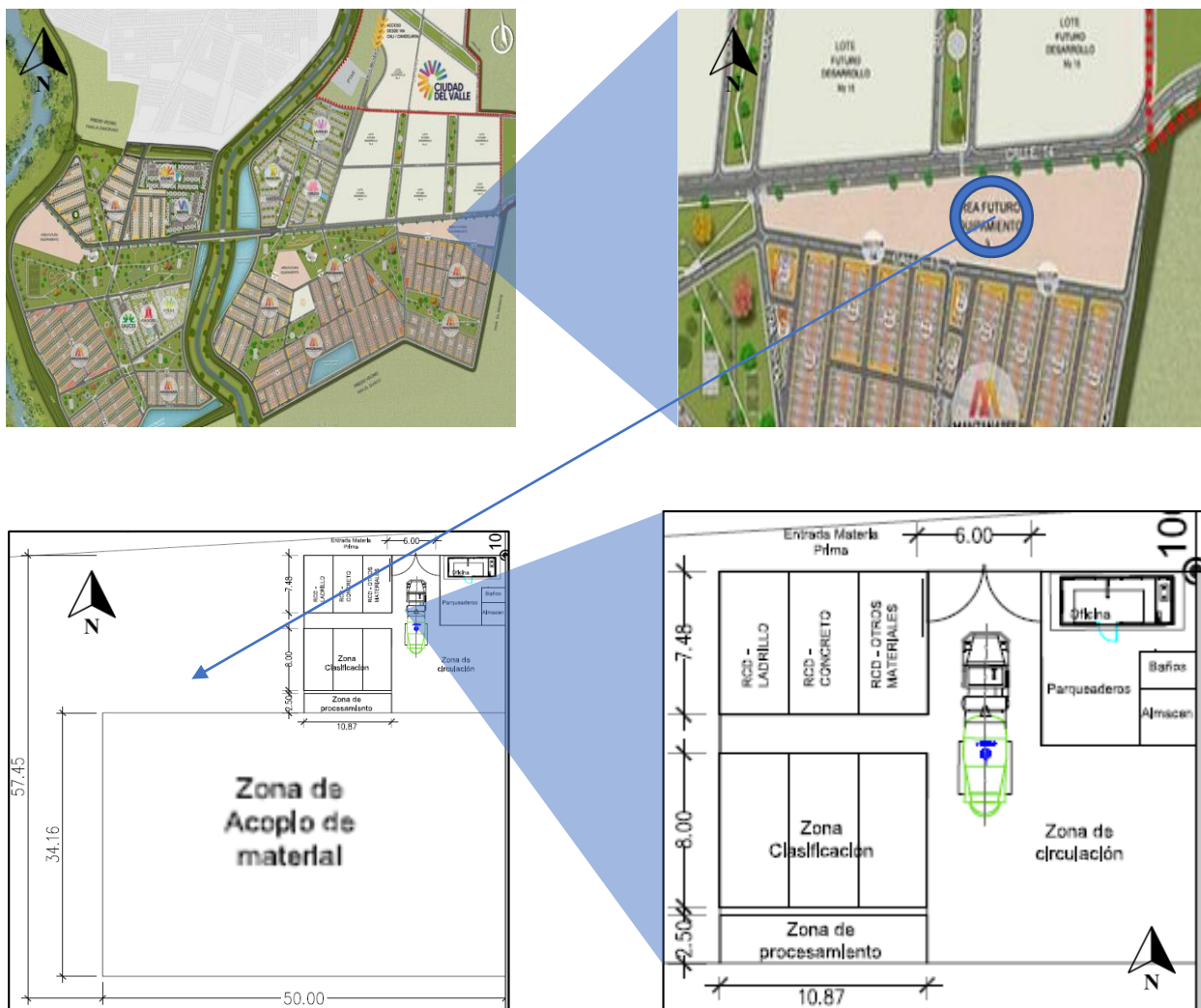


Figura 19: Ubicación planta producción RCD en planta macro proyecto Ciudad del Valle (Constructora Bolívar, 2019).

En cuanto a la distribución de la maquinaria, las etapas de producción están dadas por el siguiente orden: inicialmente, una báscula de pesaje la cual estará ubicada a la entrada del establecimiento para conocer el peso del material entrante posteriormente el material debe ser introducido en una tolva de alimentación mediante un proceso mecánico o manual, seguido de esto esta tolva alimentara dos trituradoras, una de impacto y otra de mandíbula, las cuales continuamente suministrarán los productos triturados a una banda transportadora que llevara estos elementos a través de un separador magnético que eliminara cualquier posible material ferroso contaminante, posteriormente la banda continuara transportando el material limpio a una cribadora la cual se encargara principalmente de segmentar los tamaños nominales de los productos en las tres finales bandas transportadoras, las cuales tienen la función de acopiar el material en sus respectivos sitios según sus dimensiones finales.

A continuación, se enseña un esquema en perfil de la maquinaria que estará ubicada específicamente en la zona de clasificación y la zona de procesamiento enseñada. para mayor detalle revisar anexo 1:

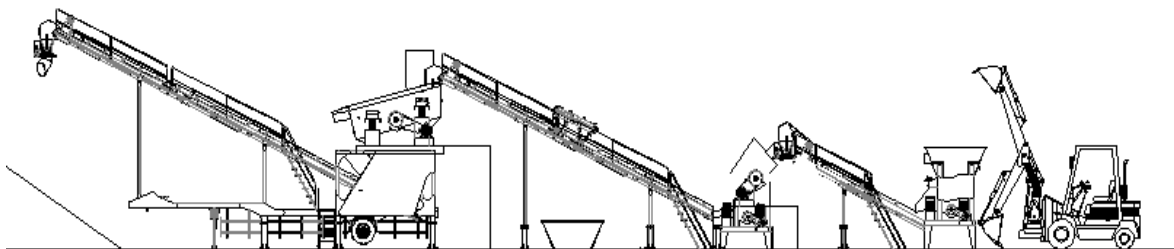


Figura 20 : Esquema en perfil, planta de maquinaria de aprovechamiento.

4.4.3 Adecuaciones, administración y acondicionamiento del proceso productivo

Por otro lado, se puede observar como en la Figura 18, la zona destinada para el proceso de producción debe incluir ciertos espacios a acondicionar, tales como espacios de trabajos, zonas de baños, instalaciones provisionales, entre otros. Esta clase de costos directos también fue evaluada con precios de mercado actuales de bases de datos pertenecientes a empresas de construcción y con precios establecidos por precios unitarios abiertos de entidades públicas y precios del presupuesto del proyecto. A continuación, se exponen los costos asociados a estos espacios de acondicionamiento del espacio de producción.

Tabla 32: Precios unitarios costos directos de adecuación de espacio de producción

Costos Directos	Unidad de Medición	Cantidad	Valor Unitario	Valor total
Cerramiento lamina	Metro lineal	429.8	\$ 33,157.00	\$ 14,250,879
Acometida energía	Unidad	2	\$ 587,994	\$ 1,175,988
Tableros energía	Unidad	2	\$ 1,001,313	\$ 2,002,626
Acometida hidrosanitaria	Unidad	2	\$ 660,895	\$ 1,321,791
Iluminación (reflector industrial)	Unidad	6	\$ 1,748,260	\$ 10,489,560
Contenedor oficina	Unidad	1	\$ 7,360,000	\$ 7,360,000
Sanitario	Unidad	2	\$ 727,194	\$ 1,454,388
Lavamanos	Unidad	1	\$ 235,863	\$ 235,863
Lavaplatos	Unidad	1	\$ 235,930	\$ 235,930
Nomenclatura de zonas	Unidad	20	\$ 50,000	\$ 1,000,000
Software	Unidad	2	\$ 799,900	\$ 1,599,800
Equipos tecnológicos	Unidad	2	\$ 3,000,000	\$ 6,000,000
Limpieza	m ²	2,220	\$ 250	\$ 555,000
Muro mampostería (incluye dovelas)	m ²	148	\$ 57,801	\$ 8,554,548
Bloque viga	Metro lineal	168	\$ 36,152	\$ 6,073,536
Puerta metálica acceso	Unidad	1	\$ 2,179,000	\$ 2,179,000
Estructura Metálica Cubierta	m ²	74	\$ 12,768	\$ 944,832
Cubierta	m ²	74	\$ 31,190	\$ 2,308,060
Pavimento en Concreto MR=36	m ³	30	\$ 406,104	\$ 11,998,042
Suministro y compactación roca muerta	m ³	333	\$ 38,365	\$ 12,775,545
M.O. instalaciones varias	Global	1	\$ 8,000,000	\$ 8,000,000
TOTAL COSTO DIRECTO				\$ 100,515,387
Administración		17%		\$ 17,087,615.87
Imprevistos		3%		\$ 3,015,461.62
Utilidad		5%		\$ 5,025,769.37
COSTOS INDIRECTOS		25%		\$ 25,128,847
TOTAL FINAL				\$ 125,644,234

Por otra parte, es de vital importancia conocer qué clase de gastos mensuales estarán involucrados durante la puesta en marcha de la planta de procesamiento de RCD. Por lo anterior, y con el objetivo de visibilizar en los flujos de caja la totalidad de los egresos implicados en la propuesta de aprovechamiento, a continuación, se enseñan los gastos mensuales asociados a la logística de trabajo mensual. Cabe aclarar que el dato de servicios públicos únicamente hace referencia al gasto mensual en acueducto y alcantarillado pues el gasto de energía ya se tuvo en cuenta previamente en el cálculo de consumo energético horario, el cual esta detallado en la Tabla 33. También, el costo de imprevistos fue tomado por un valor aproximado al 7% del total de gastos mensuales.

Tabla 33: Costos mensuales asociados al complejo de aprovechamiento de RCD

Gastos mensuales	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor total
Caja Menor	Global	1	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000
Dotación de obra	Unidad	1	\$ 75,000	\$ 75,000
Papelería	Unidad	1	\$ 110,000	\$ 110,000
Alquiler 307B + mantenimiento	Hora	168	\$ 81,944	\$ 11,736,600
Servicios públicos	Unidad	1	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000
Imprevistos	Global	1	\$ 250,000	\$ 250,000
TOTAL				\$ 15,571,600

4.4.4 Recurso Humano de producción

Para finalizar, es importante tener en cuenta que el recurso humano hace parte fundamental del programa de trabajo en la metodología de aprovechamiento debido a las necesidades logísticas en la gestión de los residuos. Por tal motivo, la mano de obra utilizada en todos los análisis técnicos y financieros fueron investigados de precios de referencia en bases de datos de construcción y también en precios establecidos por las entidades públicas gubernamentales para obras del estado. A continuación, en la Figura 21 se expone el salario mínimo y las prestaciones sociales para el año 2020 según el Ministerio de Trabajo, datos que fueron utilizados en este estudio como base para lograr los análisis de costos de recurso humano de producción:



Figura 21: Salario mínimo y Prestaciones año 2020. (Ministerio de Trabajo, 2020)

De la ilustración anterior también se puede concluir que el factor prestacional equivale al 68.6% del salario neto. Gracias a esto, se pudieron hallar los costos nominales totales que involucran al recurso humano de producción.

Para este caso y teniendo en cuenta una producción horaria de 3.1 Tn/hora, será necesario un ayudante entendido el cual realizará labores simples y variadas, como, por ejemplo, la separación manual de residuos contaminantes, orden y limpieza del lugar de trabajo, entre otros. Un técnico operativo encargado del manejo de la maquinaria y su buen funcionamiento. Y, finalmente un profesional encargado cuya responsabilidad será realizar las gestiones operativas y administrativas a nivel interno y externo de la planta de aprovechamiento.

A continuación, en las Tablas 34 y 35 se exponen los diferentes cargos que se encuentran asociados al proceso de aprovechamiento de RCD con sus respectivos costos unitarios y costos adicionales de prestaciones legales y obligatorias.

Tabla 34: Precios unitarios recurso humano de producción

Insumo	Unidad	Costo unitario nominal	Factor prestacional	Costo unitario total
Ayudante Entendido	Hora	\$ 6,771	68.6%	\$ 11,413
Técnico Operativo	Hora	\$ 9,375	68.6%	\$ 15,803
Profesional Encargado	Hora	\$ 13,750	68.6%	\$ 23,178

Tabla 35: Precios mensuales recurso humano de producción

Insumo	Días laborales mensuales	Horas de trabajo diarias	Salario nominal mensual (pesos)	Salario nominal mensual + factor prestacional (pesos)
Ayudante Entendido	24	8	\$ 1,300,000	\$ 2,191,368
Técnico Operativo	24	8	\$ 1,800,000	\$ 3,034,202
Profesional Encargado	24	8	\$ 2,640,000	\$ 4,450,162

4.4.5 *Productos RCD producidos*

Los productos fabricados por la planta de agregados se distribuyeron principalmente en 4 debido a que siguiendo la normativa colombiana es necesario cumplir con ciertas características específicas para los productos, sin embargo, existen diversas de aplicaciones de los RCD en la construcción en términos de aprovechamiento, pero estos no cumplen a nivel normativo, por tanto, no serán objeto de análisis de resultados. A continuación, en las Tablas 36, 37, 38, 39 y 40 se exponen los posibles productos resultado del procesamiento de los residuos provenientes del proyecto Manzanares 4 y 5, que además cumplen con las características técnicas y normativas establecidas para el territorio nacional.

Tabla 36: Ficha técnica Producto 1 – Agregado fino cerámico



Ficha técnica del producto	
Aspecto físico	
Características físicas	Composición de cascajos de ladrillos, ladrillos triturados, muretes de ladrillo, muros de mampostería o una combinación de ellos.
Usos	Morteros, rellenos
Nombre genérico	Agregado cerámico fino Reciclado
Nombre comercial	Arena de ladrillo
Tamaño	entre 0mm y 4.76mm
Requisitos generales	La proporción de reemplazo del RCBA tiene poca influencia en la resistencia del mortero. Debido a la puzolánica del RCBA, el efecto beneficioso del RCBA sobre la fuerza aumenta gradualmente con el aumento de la edad. Dado que el polvo de ladrillo de arcilla residual puede desempeñar un papel de micro relleno, la resistencia de la distribución del tamaño de partícula de 0–5 mm del mortero reciclado es óptima. (Dang, 2018).
Normas técnicas y ensayos del producto	NTC-77 Análisis granulométrico del agregado grueso, NTC-98 Dureza, NTC-176 Densidad y Absorción, NTC-92 Masas Unitarias, INV-E-218 Desgaste los ángeles, INV-E-220 Durabilidad, INV-E 221/211 Limpieza, INV-E 227/230 Geometría de partículas, INV-E-233 Características químicas.
Norma técnica de referencia para mezclas	NTC - 174 Concretos, especificaciones de los agregados para concreto.

Tabla 37: Ficha Técnica producto 2 – Agregado grueso cerámico

Ficha técnica del producto	
Aspecto físico	
Características físicas	Composición de cascajos de ladrillos, ladrillos triturados, muretes de ladrillo, muros de mampostería o una combinación de ellos.
Usos	Concretos no estructurales, rellenos.
Nombre genérico	Agregado grueso cerámico reciclado
Nombre comercial	Agregado de ladrillo
Tamaño	entre 4.76mm y 19.1mm
Requisitos generales (Norma IDU)	Se denominará agregado grueso la porción del agregado retenida mayoritariamente en el tamiz de 4.75 mm (No.4). Dicho agregado deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o

Ficha técnica del producto	
	deleznables. Estará exento de tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan afectar adversamente la calidad de la mezcla. No se permitirá la utilización de agregado grueso proveniente de escorias de alto horno.
Normas técnicas y ensayos del producto	NTC-77 Análisis granulométrico del agregado grueso, NTC-98 Dureza, NTC-176 Densidad y Absorción, NTC-92 Masas Unitarias, INV-E-218 Desgaste los ángeles, INV-E-220 Durabilidad, INV-E 221/211 Limpieza, INV-E 227/230 Geometría de partículas, INV-E-233 Características químicas.
Norma técnica de referencia para mezclas	NTC - 174 Concretos, especificaciones de los agregados para concreto.

Tabla 38: Ficha Técnica producto 2 – Gravilla reciclada


Ficha técnica del producto	
Aspecto físico	
Características físicas	Composición de gravas recicladas, grava trituradas, roca triturada y concreto triturado fabricado con cemento hidráulico o una combinación de ellos.
Usos	Concretos no estructurales, bases granulares, rellenos, filtros
Nombre genérico	Agregado grueso Reciclado
Nombre comercial	Gravilla Reciclada
Tamaño	entre 4.76mm y 19.1mm
Requisitos generales (Norma IDU)	Se denominará agregado grueso la porción del agregado retenida mayoritariamente en el tamiz de 4.75 mm (No.4). Dicho agregado deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o deleznables. Estará exento de tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan afectar adversamente la calidad de la mezcla. No se permitirá la utilización de agregado grueso proveniente de escorias de alto horno.
Normas técnicas y ensayos del producto	NTC-77 Análisis granulométrico del agregado grueso, NTC-98 Dureza, NTC-176 Densidad y Absorción, NTC-92 Masas Unitarias, INV-E-218 Desgaste los ángeles, INV-E-220 Durabilidad, INV-E 221/211 Limpieza, INV-E 227/230 Geometría de partículas, INV-E-233 Características químicas.
Norma técnica de referencia para mezclas	NTC - 174 Concretos, especificaciones de los agregados para concreto.

Tabla 39: Ficha Técnica producto 3 – Grava Reciclada

Ficha técnica del producto	
-----------------------------------	--



Aspecto físico	
Características físicas	Composición de gravas recicladas, grava trituradas, roca triturada, bloques cerámicos y concreto triturado fabricado con cemento hidráulico o una combinación de ellos.
Usos	Concretos no estructurales, bases granulares, rellenos, filtros
Nombre genérico	Agregado Grueso Reciclado
Nombre comercial	Grava Reciclada
Tamaño	entre 19.1mm y 50.8mm
Requisitos generales (Norma IDU)	Se denominará agregado grueso la porción del agregado retenida mayoritariamente en el tamiz de 4.75 mm (No.4). Dicho agregado deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o deleznales. Estará exento de tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan afectar adversamente la calidad de la mezcla. No se permitirá la utilización de agregado grueso proveniente de escorias de alto horno.
Normas técnicas y ensayos del producto	NTC-77 Análisis granulométrico del agregado grueso, NTC-98 Dureza, NTC-176 Densidad y Absorción, NTC-92 Masas Unitarias, INV-E-218 Desgaste los ángeles, INV-E-220 Durabilidad, INV-E 221/211 Limpieza, INV-E 227/230 Geometría de partículas, INV-E-233 Características químicas.
Norma técnica de referencia para mezclas	NTC - 174 Concretos, especificaciones de los agregados para concreto.

Tabla 40: Ficha Técnica producto 4 – Arena Reciclada

Ficha técnica del producto	
Aspecto físico	
Características físicas	El agregado fino debe estar compuesto de arena natural, arena triturada o morteros reciclados o una combinación de estas.
Usos	Elaboración de morteros, solados o sustitución parcial en concretos de bajas resistencias (no estructurales)
Nombre genérico	Agregado fino Reciclado
Nombre comercial	Arena Reciclada
Tamaño	entre 0,074 mm y 4,76 mm
Requisitos generales (Norma IDU)	Se denominará agregado fino la porción del agregado que paso mayoritariamente por el tamiz de 4.75 mm (No.4). Dicho producto provendrá de arenas naturales o de la trituración de rocas, gravas, escorias siderúrgicas u otro producto similar que cumpla con características similares.

Ficha técnica del producto

**Normas técnicas y ensayos
del producto**

NTC-77/78 Análisis granulométrico del agregado grueso, NTC-127/78 Contenido de materia orgánica, NTC-237 Densidad y Absorción, NTC-92 Masas Unitarias, INV-E-218 Desgaste los ángeles, INV-E-220 Durabilidad, INV-E-128/126/133/235/211/221/214 Limpieza, INV-E-233 Características químicas, INV-E-222 Absorción.

**Norma técnica de
referencia para mezclas**

NTC - 174 Concretos, especificaciones de los agregados para concreto.

4.5 Formulación y Evaluación financiera de los modelos de negocio

En este proyecto se logró evaluar financieramente tres tipos de modelos de negocio, el actual, que fue presentado en el sub índice anterior; el de reincorporación de los RCD procesados por la planta de aprovechamiento fija de RCD seleccionada y el de venta de los mismos RCD a externos.

Cabe aclarar que, todos los modelos son mutuamente excluyentes. Por otro lado, para los casos presentes en esta investigación, no se contempló el pago de obligaciones tributarias, a excepción del escenario de ventas donde se utilizaron precios de mercado actual de venta incluyendo el impuesto al valor agregado (IVA) como referencia para los análisis.

4.5.1 Modelo de negocio de disposición de RCD

Este modelo, busca representar la situación actual de la empresa con respecto a la disposición de los RCD que producen en la obra Manzanares 4 y 5. El proceso es simple, los residuos se generan a medida que avanza la obra y estos son dispuestos ante una empresa externa gestora de residuos. El costo de disposición es de \$28,100 (incluido transporte) por cada m³.

Por otro lado, para esta modelación se toma un tiempo total de evaluación de 9 periodos (meses) pues este es el lapso de tiempo en el cual se realizó la construcción. Además, con el objetivo de tener un punto de comparación, estos periodos son los mismos 9 evaluados para los modelos de negocio siguientes.

- Escenario más probable

Para modelar este escenario se utilizó el histórico de los pagos de disposición de RCD producidos en obra. A continuación, en la Tabla 41 y la Figura 22, se expone el flujo de egresos y que es resultado de la disposición periódica mensual de RCD durante los periodos de construcción.

Tabla 41: Costo periódico de disposición constructora – modelo de negocio actual escenario más probable

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mes	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Toneladas de residuos (m³)	\$0	\$0	6,237	5,930	3,999	312	2,631	5,013	2,097	279
Egreso (\$)	\$0	\$0	-\$ 160,492,625	-\$ 152,579,946	-\$ 102,899,761	-\$ 8,022,621	-\$ 67,701,796	-\$ 128,996,237	-\$ 53,960,724	-\$ 7,179,324

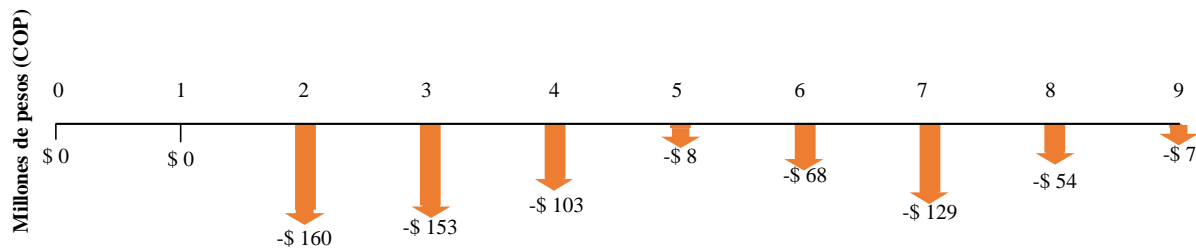


Figura 22: Cash flow – modelo de negocio actual

Como se puede observar, en el escenario más probable todo el proceso de disposición de residuos actual tiene un valor presente neto (VPN) de -\$655,101,507 con un costo de oportunidad del 11.44% E.A.

- Escenario pesimista

Por otro lado, si tenemos en cuenta un escenario pesimista, en el cual se aumentan los costos de disposición en un 30% obtendríamos un resultado de un VPN de -\$851,631,959.

- Escenario optimista

En un escenario optimista donde los valores de disposición se redujeran 30% obtendríamos un resultado de un valor presente neto de -\$458,571,055.

Tabla 42: Egresos modelo de negocio actual – comparativo de escenarios

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mes	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
E. Pesimista (\$)	\$0	\$0	-\$ 208,642,291	-\$ 198,355,716	-\$ 133,770,894	-\$ 10,429,501	-\$ 88,013,126	-\$ 167,696,618	-\$ 70,149,573	-\$ 9,333,205
E. Más probable (\$)	\$0	\$0	-\$ 160,492,625	-\$ 152,579,946	-\$ 102,899,761	-\$ 8,022,621	-\$ 67,701,796	-\$ 128,996,237	-\$ 53,960,724	-\$ 7,179,324
E. Optimista (\$)	\$0	\$0	-\$ 112,345,849	-\$ 106,806,924	-\$ 72,030,481	-\$ 5,615,885	-\$ 47,391,683	-\$ 90,298,179	-\$ 37,772,847	-\$ 5,025,572

4.5.2 Modelo de negocio de reincorporación interna

Este sub índice se centra en describir cómo la metodología de aprovechamiento seleccionada, impacta económicamente el proyecto bajo un modelo de negocio en el cual la constructora reincorpora los materiales reciclados procesados.

El comportamiento del ejercicio estará reflejado por la venta interna de los agregados reciclados reemplazándolos por cantidades de materiales que generalmente son compradas en el mercado y utilizadas para actividades de obra civil.

Por ejemplo, la empresa produce agregados reciclados mediante la planta de trituración fija y emplea estos mismos materiales reciclados para actividades de mejoramiento de suelo, mezclas de concreto, lechos de tuberías, etc.

El análisis inicialmente se planteó bajo el escenario más probable en el cual la empresa procesa los RCD en un periodo y en el siguiente, tiene disponibles los agregados reciclados para ser reincorporados al interior de la obra en lugar de materiales como grava, gravilla y arena.

Siendo esta la premisa, con el objetivo de visualizar todo ese proceso desde un punto de vista financiero, inicialmente se realizó una estimación de los agregados reciclados basándose en la Figura 11 expuesta en la metodología; pues estos, después de procesados serán vendidos internamente.

Continuando con dicha estimación, para visualizar los ingresos por venta interna de los materiales producidos se utilizó como base 1 m³ de RCD donde el 38% equivale a pétreos de ladrillos, donde ese 38% subdivide así mismo en 50% pétreos finos, 25% gravas de ladrillo y 25% gravillas de ladrillo, porcentajes tomados de Gonzalez (2021) quien obtuvo esos resultados del aprovechamiento o de esta clase de RCD en laboratorio. Continuando, para el 62% restante este subdividió en 10% arenas, 55% gravas y 35% gravillas, porcentaje que se tomó de Guzmán & Soler (2019) quien realizó un análisis similar al anterior.

Estos porcentajes mencionados anteriormente, fueron multiplicados por sus respectivos valores comerciales con lo cual se obtuvo el comportamiento financiero del modelo.

4.5.2.1 Egresos

Inicialmente, es importante conocer los costos asociados al modelo de negocio en cuestión, por tanto, al seguir los costos enseñados en los numerales 4.4.1, 4.4.2, 4.4.3 y 4.4.4 se procede a distribuir los valores de costos directos, otros costos mensuales y costos indirectos en los respectivos periodos de trabajo.

En el caso de los costos directos como la adquisición de la maquinaria y el valor del lote se ubicarán en el periodo cero dado que están implicados únicamente al inicio del proyecto. Por otro lado, los costos directos de adecuación del complejo se modelarán en el periodo 1 pues estos se verán efectivos un periodo después de su inicio debido a que el tiempo de adecuación será de 1 mes. Para finalizar con los costos directos de operación, el pago de nómina se verá reflejado en el periodo 1, pues es un pago vencido del inicio de labores en el periodo 0.

Cabe recalcar que, debido a que el 25% del RCD es no aprovechable, este tendrá que ser manejada por una empresa externa, y los pagos de esta disposición (\$28.100 por cada m³ incluye cargue y transporte) se verán reflejados en cada corte de periodo de producción.

Por otro lado, para el caso de los otros costos mensuales, estos, se distribuirán mes a mes en los periodos evaluados a partir del periodo 0, pues se trata del dinero necesario para la operación del complejo en aspectos menores e inmediatos, como lo son la caja menor, los imprevistos, papelería, dotación, etc. (Ver Tabla 33).

Cabe aclarar que sólo para el periodo 0 se tiene en cuenta el costo asociado al Lote como una venta interna a la constructora. Para esta modelación el valor del terreno será de \$1,110,000,000, el cual, es resultado de un precio de metro cuadrado de \$500,000 multiplicado por el metraje cuadrado de la zona a utilizar enseñada en el Anexo 1.

Así mismo, los costos indirectos se asumieron porcentualmente sobre la suma de los costos directos mensuales (CDM) y los costos mensuales (CM) de la siguiente forma: Seguros (1.1% de la sumatoria de CDM y CM del periodo), Gastos oficina central (1.1% de la sumatoria de CDM y CM del periodo), Honorarios y reembolsables de gerencia (2% de la sumatoria de CDM y CM del periodo) y contabilidad/control de costos (0.3% de la sumatoria de CDM y CM del periodo). Todos estos valores, iniciaran a partir del periodo 1 siendo costos administrativos que normalmente se ven reflejados desde el inicio de las actividades.

A continuación, se enseña el resultado de los egresos durante los 9 periodos de evaluación en la Tabla 42:

Tabla 43: Egresos modelo de negocio reincorporación.

Periodo	Mes	Costos operación	Otros Costos mensuales	Costos indirectos	Total
0	Diciembre	\$ 1,336,329,245	\$ 1,360,000	\$ 0	\$ 1,337,689,245
1	Enero	\$ 130,094,397	\$ 1,360,000	\$ 4,827,005	\$ 136,281,402
2	Febrero	\$ 63,827,293	\$ 15,171,600	\$ 1,817,808	\$ 80,816,701
3	Marzo	\$ 68,454,316	\$ 15,171,600	\$ 1,895,172	\$ 85,521,088
4	Abril	\$ 51,691,804	\$ 15,171,600	\$ 1,614,903	\$ 68,478,307
5	Mayo	\$ 19,679,459	\$ 15,171,600	\$ 1,079,656	\$ 35,930,715
6	Junio	\$ 39,815,714	\$ 15,171,600	\$ 1,416,335	\$ 56,403,649
7	Julio	\$ 60,496,974	\$ 15,171,600	\$ 1,762,125	\$ 77,430,700
8	Agosto	\$ 35,179,361	\$ 15,171,600	\$ 1,338,815	\$ 51,689,776
9	Septiembre	\$ 19,394,923	\$ 15,061,600	\$ 1,070,860	\$ 35,527,383

4.5.2.2 Ingresos

Es importante recordar que esta evaluación se realizará para 9 periodos y cada periodo posee una producción de agregados reciclados diferente, la cual será catalogada como la materia prima que se está modelando a cero costos. Es decir que, cada mes la producción equivalente de RCD será transformada en agregados reciclados en un 75 % y estos, serán reincorporados en el siguiente periodo por la empresa como venta interna.

Siendo este el panorama, por parte de la constructora se obtuvo el valor del costo de los materiales que se reutilizarían, roca muerta \$23,000. Grava \$56,940 y Arena \$41,000 (todos incluyen cargue y transporte). Y, se estableció que, para la venta interna, los agregados reciclados con los que se reemplazarían tendrían un costo 10% menor que los materiales pétreos convencionales.

En adición, para el caso del agregado de ladrillo se promedió el valor entre grava y roca muerta al no haber encontrado un valor de referencia en el mercado.

Con valores monetarios de los materiales reincorporados, con la cantidad de agregados reciclados generados y con la proporción de materiales que cada uno representa en un 1 m³, es posible conocer el flujo de ingresos por reincorporación.

Cabe aclarar que existen otros ingresos en el flujo, los cuales consisten en el valor de salvamento de la maquinaria y del lote utilizado más su respectiva valorización (IPC del 3%). Los cuales,

(colocar que serán vendidos al final del proyecto e ingresarán al flujo de caja)

una vez sea finalizado el proyecto deben ingresar al flujo de caja pues no son activos que se pierden en el proyecto, sino por el contrario, estos son transferidos a otro proyecto con condiciones diferentes y por tanto el costo se traslada y entra al flujo de este proyecto como un ingreso.

A continuación, en la Tabla 44 se enseña el flujo de ingresos para los 9 periodos de estudio más 1 periodo final que representa el mes adicional necesario para reincorporar los materiales en el último periodo (8 meses del año 2020 + 1).

Tabla 44: Ingresos proyectados – modelo de negocio de reincorporación.

Periodo	Mes	Venta interna	Valor de salvamento maquinaria	Lote + Valorización	Total
0	Diciembre	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
1	Enero	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
2	Febrero	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
3	Marzo	\$ 162,454,685	\$ 0	\$ 0	\$ 162,454,685
4	Abril	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
5	Mayo	\$ 258,603,006	\$ 0	\$ 0	\$ 258,603,006
6	Junio	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
7	Julio	\$ 76,650,164	\$ 0	\$ 0	\$ 76,650,164
8	Agosto	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
9	Septiembre	\$ 192,460,745	\$ 195,133,621	\$ 1,143,300,000	\$ 1,530,894,366

4.5.2.3 Flujo de caja

Para finalizar, con el objetivo de comprender de manera sencilla el comportamiento de los egresos y los ingresos. En la figura 23 se presenta de manera visual los mencionados anteriormente.

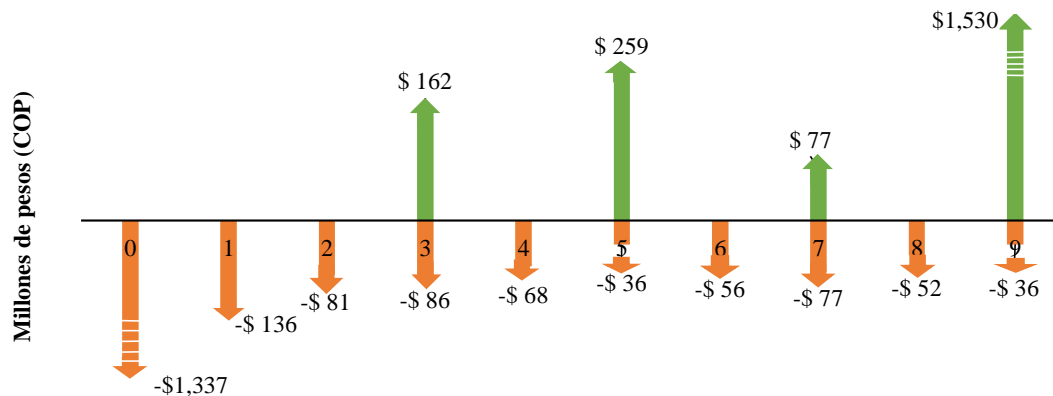


Figura 23 : Cash flow – modelo de negocio de reincorporación más probable.

Teniendo los valores asociados a ingresos y egresos en los periodos de estudio es posible generar un flujo de caja neto. Posteriormente, este flujo enseñará el comportamiento financiero a lo largo de todos los periodos. Después de realizar el ejercicio, se presenta la Tabla 45, en la cual, se muestran los valores de los flujos netos para los periodos de estudio.

Tabla 45: Flujo de caja neto - modelo de negocio reincorporación más probable

Periodo	Mes	Total
0	Diciembre	-\$ 1,337,689,245
1	Enero	-\$ 136,281,402
2	Febrero	-\$ 80,816,701
3	Marzo	\$ 76,933,597
4	Abril	-\$ 68,478,307
5	Mayo	\$ 222,672,291
6	Junio	-\$ 56,403,649
7	Julio	-\$ 780,535
8	Agosto	-\$ 51,689,776
9	Septiembre	\$ 1,495,366,983

4.5.2.4 Indicadores de bondad económica

Con el flujo de caja y el costo de oportunidad del proyecto (11.44% E.A.) es posible estimar los indicadores propuestos en la metodología incluyendo dos escenarios nuevos (pesimista y optimista). Lo anterior, con el objetivo de evaluar la inversión desde diferentes perspectivas.

-Escenario pesimista

Para el caso pesimista se busca reflejar un escenario en el cual los agregados reciclados no se podrían incorporar en la misma obra, sino que es necesario trasladarlos a otra diferente. Por lo tanto, se agregó un precio adicional por transporte de 5 km y cada km con valor de \$832 (precios referencia de la constructora) y un valor 30% menor de los materiales con respecto a valores del mercado.

-Escenario optimista

En contra posición, para el caso optimista se decide un valor de los materiales con un 0% de afectación con respecto al mercado.

Con todos los escenarios claros y utilizando un costo de oportunidad de referencia para el proyecto de 11.44% E.A. En la Tabla 46 se presentan los indicadores financieros hallados para todos los escenarios.

Tabla 46: Indicadores financieros porcentuales – modelo de negocio de reincorporación.

Descripción	Pesimista	Más probable	Optimista
Tasa interna de retorno mod. (TIRM) (E.A.)	-2.72%	6.08%	10.91%
Retorno sobre la inversión (ROI)	-13.08%	-6.73%	-4.10%
Valor presente neto (VPN)	-\$ 164,268,924	-\$ 54,003,152	-\$ 6,228,009

4.5.2.5 Análisis de Sensibilidad

El último paso a seguir en la evaluación financiera, consistió en alterar el costo de oportunidad utilizado para el proyecto y analizar el comportamiento del Valor Presente Neto cuando se presentan estas variaciones. Lo anterior, con el objetivo de evaluar las diferentes posibilidades que se pueden presentar al cambiar esta variable. Ver Figura 24.

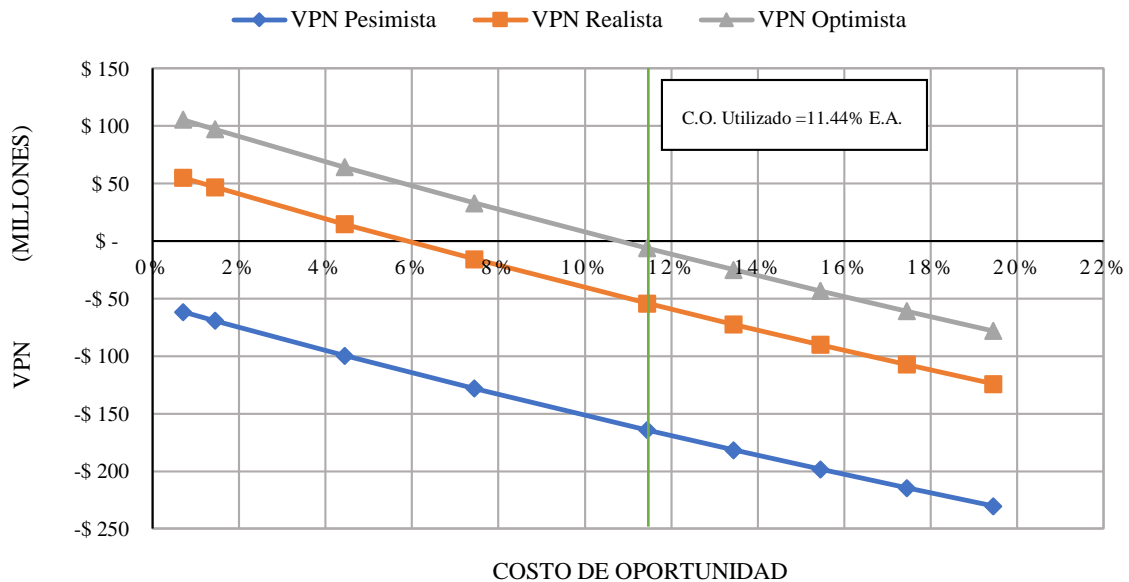


Figura 24: Análisis de sensibilidad de VPN en escenarios de reincorporación.

4.5.3 Modelo de negocio de ventas

Este sub índice se centra en describir cómo la metodología de aprovechamiento seleccionada, impacta económicamente el proyecto bajo un modelo de negocio en el cual la empresa produce agregados reciclados mediante la planta de trituración fija y posteriormente vende dichos materiales en el mercado.

También, el análisis inicialmente se planteó bajo un escenario más probable, en el cual, la empresa procesa el 75% de RCD producido un periodo, en el siguiente periodo tiene disponibles los agregados reciclados para venta, y en el siguiente logra vender los agregados reciclados producidos en su totalidad.

Para visualizar este modelo de negocio desde un punto de vista financiero también se tomó como base de proporción 1 m³ de RCD donde el 38% equivale a pétreos de ladrillos, donde ese 38% subdivide así mismo en 50% pétreos finos, 25% gravas de ladrillo y 25% gravillas y ladrillo. Continuando, para el 62% restante este subdividió en 10% arenas, 55% gravas y 35% gravillas.

Estos porcentajes mencionados anteriormente, fueron multiplicados por sus respectivos valores comerciales y proporcionalmente enseñaron un panorama aproximado del valor de venta comercial. Cabe aclarar, que para este caso el impuesto al valor agregado (IVA) se tuvo en cuenta en los valores comerciales de venta de RCD los cuales se encuentran expuestos en el literal 4.6.2.2 de ingresos.

4.5.3.1 Egresos

Inicialmente, es importante conocer los costos asociados al modelo de negocio en cuestión, por tanto, al seguir los costos enseñados en los numerales 4.4.1, 4.4.2, 4.4.3 y 4.4.4 se procede a distribuir los valores de costos directos, otros costos mensuales y costos indirectos en los respectivos periodos de trabajo.

En el caso de los costos directos de operación, la adquisición de la maquinaria y el valor del lote se ubicarán en el periodo cero, al ser costos que están implicados únicamente al inicio del proyecto. Por otro lado, los costos directos de adecuación del complejo se modelarán en el periodo 1 pues estos se verán efectivos un periodo después de su inicio y el tiempo de adecuación será de 1 mes. Para finalizar con los costos directos de operación, el pago de nómina se verá reflejado en el periodo 1, pues es un pago vencido del inicio de labores en el periodo 0.

Cabe recalcar que, debido a que el 25% del RCD es no aprovechable, este tendrá que ser manejada por una empresa externa, y los pagos de esta disposición (\$28.100 por cada m³ incluye cargue y transporte) se verán reflejados en cada corte de periodo de producción.

Por otro lado, para el caso de los otros costos mensuales, estos, se distribuirán mes a mes en los periodos evaluados a partir del periodo 1, pues se trata del dinero necesario para la operación

del complejo en aspectos menores e inmediatos, como lo son la caja menor, los imprevistos, papelería, dotación, etc. (Ver Tabla 33)

Cabe aclarar que solo para el periodo 0 se tiene en cuenta el costo asociado al lote como una venta interna a la constructora. Para esta modelación el valor del terreno será de \$1,110,000,000, el cual, es resultado de un precio de metro cuadrado de \$500,000 multiplicado por el metraje cuadrado de la zona a utilizar (para mayor detalle revisar capítulo 4.4.2 y Anexo 1).

Continuando, los costos indirectos se asumieron porcentualmente sobre la suma de los costos directos mensuales (CDM) y los gastos mensuales (GM) de la siguiente forma: Seguros (1.1% de la sumatoria de CDM y GM del periodo), Gastos oficina central (1.1% de la sumatoria de CDM y GM del periodo), Honorarios y reembolsables de gerencia (2% de la sumatoria de CDM y GM del periodo) y contabilidad/control de costos (0.3% de la sumatoria de CDM y GM del periodo). A continuación, se enseña el resultado de los egresos durante los 9 periodos de evaluación en la Tablas 47:

Tabla 47: Egresos proyectados modelo de negocio de ventas

Periodo	Mes	Costos directos	Costos mensuales	Costos indirectos	Total
0	Diciembre	\$ 1,336,329,245	\$ 1,360,000	\$ 0	\$ 1,337,689,245
1	Enero	\$ 130,094,397	\$ 1,360,000	\$ 4,827,005	\$ 136,281,402
2	Febrero	\$ 55,746,533	\$ 15,171,600	\$ 1,682,698	\$ 72,600,831
3	Marzo	\$ 60,771,957	\$ 15,171,600	\$ 1,766,723	\$ 77,710,280
4	Abril	\$ 46,510,829	\$ 15,171,600	\$ 1,528,277	\$ 63,210,706
5	Mayo	\$ 19,275,522	\$ 15,171,600	\$ 1,072,903	\$ 35,520,024
6	Junio	\$ 36,406,947	\$ 15,171,600	\$ 1,359,340	\$ 52,937,887
7	Julio	\$ 54,002,049	\$ 15,171,600	\$ 1,653,530	\$ 70,827,179
8	Agosto	\$ 32,462,453	\$ 15,171,600	\$ 1,293,388	\$ 48,927,441
9	Septiembre	\$ 19,033,446	\$ 15,061,600	\$ 1,064,816	\$ 35,159,862

4.5.3.2 Ingresos

Es importante recordar que esta evaluación se realizará para los primeros 8 meses del año 2020 y cada periodo posee una producción de RCD diferente la cual será catalogada como la materia prima para vender. Es decir que, cada mes la producción equivalente de RCD será transformada en agregados reciclados y estos a su vez serán vendidos por la empresa. Con este panorama, el ingreso por ventas estará reflejado dos periodos después.

A continuación, en la Tabla 48 se exponen los precios de referencia que se tomaron para cada uno de los productos de la planta, los cuales fueron extraídos de precios unitarios de mercado.

Tabla 48: Precios de mercado – productos RCD

Material	Material de referencia	Unidad	Valor unitario
Grava reciclada granular	Grava Natural + Cargue y Transporte	m ³	\$ 52,377
Gravilla reciclada	Gravilla Natural + Cargue y Transporte	m ³	\$ 58,000
Agregado fino de Ladrillo	Gravilla Natural + Cargue y Transporte	m ³	\$ 58,000
Arena reciclada	Arena Natural + Cargue y Transporte	m ³	\$ 35,500

Sin embargo, con el objetivo impactar en el mercado con el lanzamiento de los productos se redujo el valor de venta un 30%. Por tanto, a continuación, en la Tabla 49 se enseñan los precios finales utilizados para realizar el análisis de las ventas.

Tabla 49: Precios de modelo de negocio utilizados

Material	Unidad	Valor total
Grava reciclada granular	m ³	\$ 30,810
Gravilla reciclada	m ³	\$ 34,118
Agregado fino de Ladrillo	m ³	\$ 34,118
Arena reciclada	m ³	\$ 20,882

Cabe aclarar que en este modelo de negocio existen ingresos similares a los del modelo de negocio anterior, tales como el valor de salvamento de la maquinaria y el valor del lote valorizado (IPC del 3%). Los cuales, una vez finalice el proyecto deben ingresar al flujo de caja pues son activos que no se pierden en el proyecto, sino por el contrario, estos son transferidos a otro proyecto con condiciones diferentes y por tanto su costo de traslado y entra al flujo de este proyecto como ingreso.

A continuación, se enseña el flujo de ingresos para los 9 periodos donde el ultimo (1 periodo) representa al mes adicional necesario para vender los materiales. en la Tabla 50.

Tabla 50: Ingresos proyectados – modelo de negocio de ventas

Periodo	Mes	RCD ahorrado	Valor de salvamento maquinaria	Lote + Valorización	Total
0	Diciembre	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
1	Enero	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
2	Febrero	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
3	Marzo	\$ 138,212,404	\$ 0	\$ 0	\$ 138,212,404
4	Abril	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
5	Mayo	\$ 220,013,003	\$ 0	\$ 0	\$ 220,013,003
6	Junio	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0

Periodo	Mes	RCD ahorrado	Valor de salvamento maquinaria	Lote + Valorización	Total
7	Julio	\$ 65,212,053	\$ 0	\$ 0	\$ 65,212,053
8	Agosto	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
9	Septiembre	\$ 163,740,813	\$ 195,133,621	\$ 1,143,300,000	\$ 1,502,174,434

Para finalizar, con el objetivo de comprender de manera sencilla el comportamiento de los egresos y los ingresos en la Figura 25 se presenta de manera visual los mencionados anteriormente.

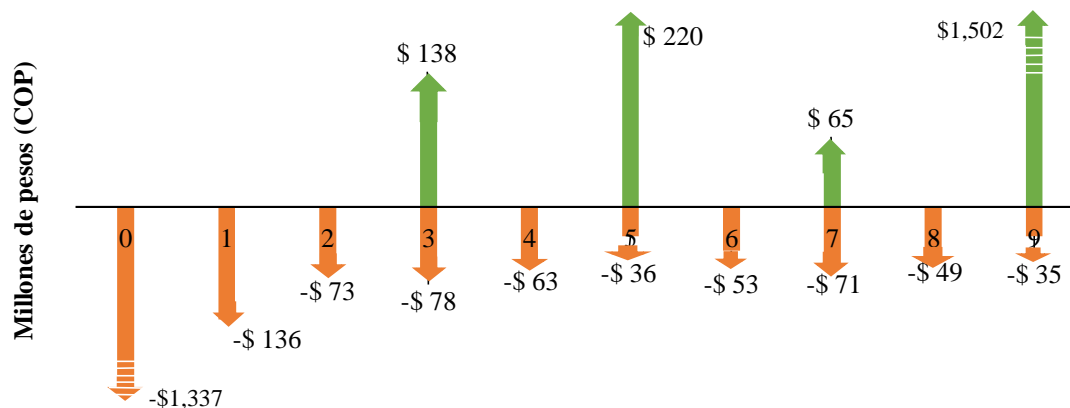


Figura 25: Cash flow – modelo de negocio de ventas.

4.5.3.3 Flujo de caja

Teniendo los valores asociados a ingresos y egresos en los periodos de estudio es posible generar un flujo de caja neto. Posteriormente, este flujo enseñará el comportamiento financiero a lo largo de todos los periodos. Después de realizar el ejercicio, a continuación, se presenta la Tabla 51, en la cual, se presentan los valores de los flujos netos para los periodos de estudio.

Tabla 51: Flujo de caja - modelo de negocio reincorporación

Periodo	Mes	Total
0	Diciembre	-\$ 1,337,689,245
1	Enero	-\$ 136,281,402
2	Febrero	-\$ 72,600,831
3	Marzo	\$ 60,502,124
4	Abril	-\$ 63,210,706
5	Mayo	\$ 184,492,978
6	Junio	-\$ 52,937,887
7	Julio	-\$ 5,615,126
8	Agosto	-\$ 48,927,441
9	Septiembre	\$ 1,467,014,572

4.5.3.4 Indicadores de bondad económica.

Con los valores de ingresos, egresos y flujo de caja es posible estimar los indicadores financieros propuestos en la metodología y de este modo concluir la viabilidad financiera del proyecto bajo el modelo de negocio de ventas.

Además, se propuso establecer dos escenarios nuevos (pesimista y optimista). Lo anterior, con el objetivo de evaluar que tan factible puede llegar a ser la inversión económicamente para la empresa en desde diferentes perspectivas.

Para el caso pesimista se disminuyó el precio de entrada de los agregados reciclados producidos, al agregar un 10% adicional de recorte en precio. Además, se supuso un panorama en el cual las ventas tuviesen un retraso del doble de lo planeado, por tanto, los ingresos de ventas no se verán reflejados cada mes de por medio sino cada tres meses.

En contra posición, Para el caso optimista se decide un valor de venta con un 20% por debajo del escenario más probable, con lo cual se favorece los precios de venta final. También, se establece un supuesto de que las ventas se realizaran cada mes sin ninguna interrupción, siendo constantes y completas las ventas.

Teniendo claros los valores de ingresos, egresos, flujo de caja y el costo de oportunidad de referencia para el proyecto (11.44% E.A.) es posible estimar los indicadores financieros propuestos en la metodología para los tres casos y de este modo concluir la viabilidad financiera del proyecto bajo estos criterios resultado. Estos indicadores se enseñan a continuación en la Tabla 52.

Tabla 52: Indicadores financieros porcentuales

Descripción	Pesimista	Más probable	Optimista
Tasa interna de retorno mod. (TIRM) (E.A.)	-3.13%	1.27%	10.27%
Retorno sobre la inversión (ROI)	-13.45%	-10.38%	-4.50%
Valor presente neto (VPN)	-\$ 172,834,028	-\$ 118,166,314	-\$ 13,648,276

Para finalizar, en el modelo de negocio de venta, se evidencia para los tres escenarios pesimista, más probable y optimista valores presentes netos (VPN) negativos. Lo cual, indica que ningún escenario es favorable según el costo de oportunidad establecido.

Como refuerzo al argumento anterior, las tasas internas de retorno (TIR) de -3.13% E.A., 1.27% E.A. y 10.27% E.A. respectivamente también presentan un panorama similar al del VPN,

puesto que ningún escenario alcanza superar o igualar el costo de oportunidad mínimo aceptado de 11.4% E.A.

4.5.3.5 Análisis de Sensibilidad

El último paso a seguir en la evaluación financiera y económica, consistió en alterar el costo de oportunidad utilizado para este caso y analizar el comportamiento del Valor Presente Neto cuando se presentan estas variaciones en el costo de oportunidad como se muestra en la Figura 26.

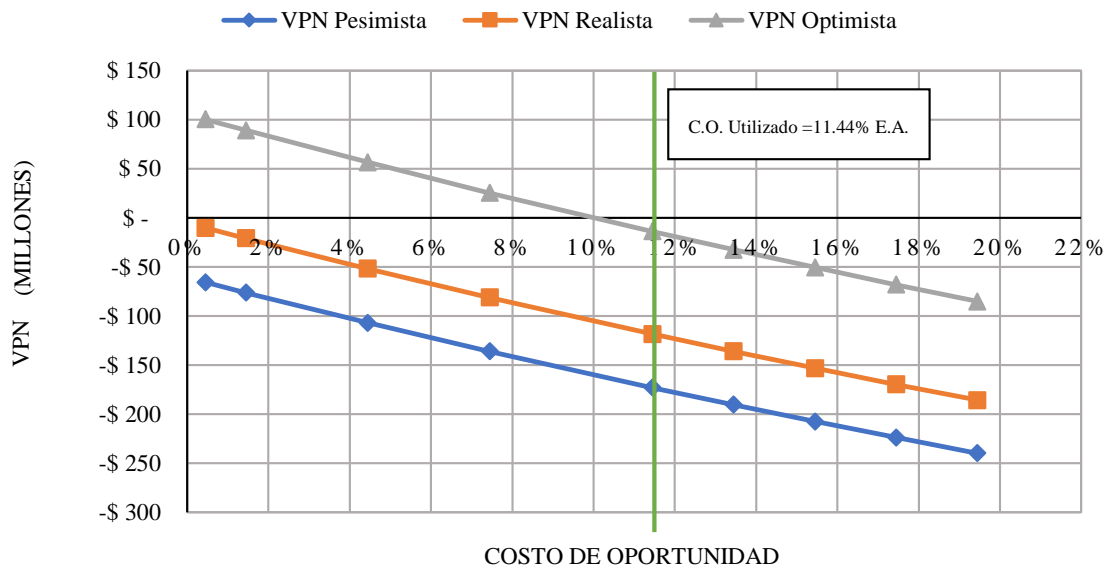


Figura 26: Análisis de sensibilidad de VPN en escenarios de reincorporación.

4.5.4 Selección de alternativa

Para finalizar, fue importante realizar un comparativo de las alternativas de modelo de negocio propuestas (Reincorporación=RE, Ventas=VE, Actual=AC) en sus diferentes escenarios (pesimista=PE, Más probable=MP, Optimista=OP), de modo que para la empresa se tenga un panorama simplificado de todos los resultados. Cabe aclarar que este análisis de selección se realiza a partir de la comparación de los escenarios, pero partiendo bajo la premisa de que son alternativas mutuamente excluyentes.

Siendo esta la premisa, para iniciar con la comparación en la Tabla 53 se presenta un mapa de calor con los resultados obtenidos de los análisis de sensibilidad con respecto al VPN.

Como se puede observar, los resultados del modelo AC no lo favorecen siquiera en un costo de oportunidad bajo con respecto a los demás, pues hasta en su escenario OP presenta resultados

de hasta el doble de los casos PE de los modelos RE y VE. Además, sus valores varían en un 60% entre el escenario PE y OP, variabilidad que representa una incertidumbre alta para la empresa dado el evento de un imprevisto. No siendo más, se concluye entonces que el modelo RE supera a los modelos VE y AC al presentar un mejor comportamiento del indicador en todos los escenarios propuestos.

Tabla 53: Mapa de calor – comparativo de VPN en modelos de negocio propuestos

	Reincorporación			Ventas			Actual		
	Pesimista	Más probable	Optimista	Pesimista	Más probable	Optimista	Pesimista	Más probable	Optimista
Costo de oportunidad (E.A.)	VPN								
0.44%	-\$ 58,813,855	\$ 57,911,960	\$ 108,486,063	-\$ 65,434,099	-\$ 10,010,272	\$ 100,631,071	-\$ 884,948,410	-\$ 680,730,227	-\$ 476,510,682
1.44%	-\$ 69,226,728	\$ 46,865,869	\$ 97,165,617	-\$ 76,042,631	-\$ 20,687,896	\$ 89,353,237	-\$ 881,703,949	-\$ 678,234,485	-\$ 474,763,665
4.44%	-\$ 99,413,136	\$ 14,838,157	\$ 64,340,119	-\$ 106,791,882	-\$ 51,644,162	\$ 56,651,648	-\$ 872,243,722	-\$ 670,957,381	-\$ 469,669,697
7.44%	-\$ 128,115,855	-\$ 15,623,334	\$ 33,116,599	-\$ 136,023,589	-\$ 81,082,231	\$ 25,546,484	-\$ 863,171,044	-\$ 663,978,390	-\$ 464,784,408
11.44%	-\$ 164,268,924	-\$ 54,003,152	-\$ 6,228,009	-\$ 172,834,028	-\$ 118,166,314	-\$ 13,648,276	-\$ 851,631,959	-\$ 655,102,162	-\$ 458,571,055
13.44%	-\$ 181,504,324	-\$ 72,304,757	-\$ 24,991,570	-\$ 190,379,196	-\$ 135,847,499	-\$ 32,340,088	-\$ 846,085,726	-\$ 650,835,825	-\$ 455,584,622
15.44%	-\$ 198,214,709	-\$ 90,051,804	-\$ 43,187,775	-\$ 207,387,611	-\$ 152,991,317	-\$ 50,466,531	-\$ 840,679,809	-\$ 646,677,423	-\$ 452,673,744
17.44%	-\$ 214,424,737	-\$ 107,270,271	-\$ 60,843,171	-\$ 223,884,534	-\$ 169,622,978	-\$ 68,054,065	-\$ 835,408,269	-\$ 642,622,388	-\$ 449,835,222
19.44%	-\$ 230,157,516	-\$ 123,984,504	-\$ 77,982,642	-\$ 239,893,633	-\$ 185,766,107	-\$ 85,127,489	-\$ 830,265,514	-\$ 638,666,419	-\$ 447,066,046

De la tabla 53, también se puede concluir que, en los escenarios OP para los modelos de negocio RE y VE se muestra un mejor comportamiento a partir de un costo de oportunidad por debajo de 11.44% E.A. (para el caso del modelo RE), y por debajo de 7.44% E.A. (para el caso del modelo VE). Lo anterior, se debe a que hay un cambio de signo para el valor del VPN de negativo a positivo. Sin embargo, el modelo RE presenta condiciones más favorables al mostrar un comportamiento de 4 puntos porcentuales por encima del modelo VE.

Por otro lado, con respecto a los escenarios MP de los modelos RE y VE, dicho rango, (donde el signo cambia de positivo a negativo) presenta una diferencia significativa. Pues como se puede observar, en el modelo RE en el escenario MP se torna negativo en el rango de valores de costo de oportunidad menores a 4.44% E.A., a diferencia del modelo VE donde el VPN se mantiene constante negativo inclusive en un costo de oportunidad de 0.44% E.A. De esto, se puede concluir que el modelo RE es más viable que el modelo VE, pues al comparar sus respectivos escenarios MP, en el modelo RE presenta un mejor comportamiento al variar el costo de oportunidad, a diferencia del modelo VE la variación del costo de oportunidad afecta sustancialmente el modelo.

Para el caso de los escenarios PE de los casos, sucede lo opuesto al escenario OP, siendo estos, escenarios donde el VPN siempre es negativo tanto para el modelo RE como para el modelo VE. Con esta premisa clara, se puede concluir que la incertidumbre de ambos modelos es latente en este escenario (PE) y debe tenerse en cuenta para cualquier toma de decisiones, pues un evento que genere un escenario pesimista podría generar pérdidas dependiendo del costo de oportunidad que se decida manejar para este proyecto.

Para finalizar, también se decidió realizar un análisis comparativo de los resultados de la TIRM (tasa interna de retorno modificada) con respecto a la variación del valor del costo de oportunidad, siendo la última la variable independiente. En la Tabla 54 se observan los resultados obtenidos de este análisis comparativo, enseñando en color verde los casos en los que se supera el costo de oportunidad y en rojo los casos en los que no se logra superar el valor de referencia de costo de oportunidad.

Tabla 54: Mapa de calor – comparativo de TIRM en modelos de negocio propuestos

Modelo de negocio	Reincorporación			Ventas			Actual			
	Escenario	Pesimista	Más probable	Optimista	Pesimista	Más probable	Optimista	Pesimista	Más probable	Optimista
Costo de oportunidad	TIRM									
0.44%	-4.13%	4.97%	8.88%	-4.53%	-0.32%	8.27%	n.a	n.a	n.a	n.a
1.44%	-2.98%	5.20%	9.14%	-4.35%	-0.11%	8.53%	n.a	n.a	n.a	n.a
4.44%	-2.57%	5.90%	9.90%	-3.82%	0.49%	9.28%	n.a	n.a	n.a	n.a
7.44%	-2.18%	6.57%	10.65%	-3.30%	1.07%	10.02%	n.a	n.a	n.a	n.a
11.44%	-1.67%	7.45%	11.63%	-2.64%	1.83%	10.98%	n.a	n.a	n.a	n.a
13.44%	-1.42%	7.88%	12.11%	-2.31%	2.20%	11.45%	n.a	n.a	n.a	n.a
15.44%	-1.17%	8.31%	12.58%	-1.99%	2.57%	11.92%	n.a	n.a	n.a	n.a
17.44%	-0.93%	8.73%	13.05%	-1.68%	2.93%	12.38%	n.a	n.a	n.a	n.a
19.44%	-0.70%	9.14%	13.51%	-1.37%	3.29%	12.83%	n.a	n.a	n.a	n.a

Como se puede observar, en el modelo AC los valores de TIRM presentan un comportamiento muy desfavorable con respecto a los modelos RE y VE al tratarse de flujos únicamente de egresos. De estos datos se obvia que, el modelo AC tiene el peor de los resultados, al tratarse de un modelo donde el indicador no aplica pues únicamente se presentan egresos.

Continuando, al analizar el comportamiento de los modelos que sí tienen ingresos en su flujo, (RE y VE), se puede evidenciar que para los escenarios OP de ambos modelos se alcanzan TIRM con valores favorables. Además, para ambos escenarios se supera en exactamente los mismos

casos el costo de oportunidad propuesto (casos por debajo de $CO=7.44\%$). Lo anterior indica que, los modelos RE y VE, son viables financieramente bajo este indicador de bondad en el escenario OP. Sin embargo, se puede observar como el escenario RE es más favorable que el modelo VE, pues sus resultados siempre se encuentran por encima en aproximadamente 1 punto porcentual.

De manera opuesta, para los casos PE de los modelos RE y VE, se tiene un comportamiento desfavorable para ambos casos, pues se presentan valores de TIRM que no favorecen a ninguno de los dos modelos sin importar variaciones del costo de oportunidad. De esto, se puede concluir que existe una incertidumbre latente con respecto a la aparición de un escenario PE en los modelos RE y VE. Por otro lado, bajo este escenario PE, se presenta un comportamiento similar al escenario OP con respecto a las diferencias entre un modelo y el otro, pues entre un modelo y el otro hay una diferencia aproximada de 1 punto porcentual, siendo el modelo RE el que mejor comportamiento tiene

La incertidumbre mencionada anteriormente, radica principalmente en las variaciones que puedan llegar a tener los precios de los materiales RCD y los precios de los materiales de construcción en el mercado, pues estos, afectan sustancialmente los resultados. Tanta es la importancia de estos precios que, al observar con detalle, entre un escenario y otro, hay aproximadamente diferencias entre el 8% y el 4% para el modelo RE y entre el 12% y el 4%; diferencias que, presentan un panorama de latencia de estos precios, pues generalmente los costos de oportunidad del sector de la construcción son superiores al 11.44% E.A. y una diferencia de las mencionadas anteriormente podría representar entre el 40% y más del 100% del costo de oportunidad si se llegase a presentar una situación que genere un cambio de escenario.

Por otro lado, los escenarios MP, el modelo RE presenta un comportamiento mucho mejor que el modelo VE, pues el primero supera en 4 puntos porcentuales al segundo en cualquiera de las variaciones. Además, para el modelo RE, se alcanzan siempre valores son positivos, a diferencia del modelo VE, donde existe un valor en el intervalo entre 4.44% E.A. y 1.44% E.A. de costo de oportunidad, en el cual, la TIRM se vuelve inviable financieramente.

Como complemento a lo anterior, si comparamos los resultados de ambos modelos RE y VE, para el escenario MP, únicamente en el modelo RE se logra superar el costo de oportunidad en algunos casos (por debajo de $CO=7.44\%$ E.A.), siendo esto, una desventaja evidente para el

modelo VE, pues sus TIRM siempre se encuentran por debajo del costo de oportunidad mínimo aceptado.

De manera detallada, para el caso de la TIRM para el modelo VE se tienen indicadores de bondad que para ningún escenario alcanzan el mínimo aceptado seleccionado de costo de oportunidad. Además, en términos de VPN el modelo VE solo es viable en un escenario OP con costos de oportunidad menores a 7.44% E.A.

Para el caso detallado del modelo RE, los indicadores de bondad presentaron un mejor comportamiento en comparación con los otros dos modelos. Lo anterior se argumenta en los resultados que siempre fueron mayores para todos los casos de variación y todos los escenarios propuestos. A pesar de esto, solo en el escenario OP se superaron los valores de costo de oportunidad (CO menor a 13.44%).

Para finalizar, la comparación de los diferentes escenarios en conjunto con las variaciones de los costos de oportunidad y los indicadores de bondad permiten concluir que el modelo con mejor comportamiento es el modelo RE (reincorporación de agregados reciclados) y por tanto se elige como el modelo de negocio ideal para la propuesta de aprovechamiento de RCD.

5 CONCLUSIONES

- El proyecto Manzanares 4 y 5 genera una gran cantidad de RCD pétreos susceptibles de aprovechamiento, los cuales pueden incorporarse a la cadena de valor del proyecto y generar resultados en términos de reincorporación y uso de materiales alternativos que cumplan con la normativa colombiana actual. Según las cantidades y los tipos de RCD generados, dichos materiales son: la Grava reciclada, la Gravilla reciclada, el agregado de ladrillo y Arena reciclada.
- Según el índice promedio que relaciona la producción de RCD con respecto a la relación área/peso construido, $W_{gr}=0.170$, los residuos generados por la obra tienen las características y las cantidades necesarias para dar cabal cumplimiento a la meta del 6% exigida por la Resolución 0472 para el año 2020.
- Según el método cualitativo AHP, aplicado con el criterio del autor, la propuesta de aprovechamiento ideal para Manzanares 4 y 5 es una planta de aprovechamiento de RCD fija. Sumado a esto, después de realizar el análisis financiero comparativo de los modelos de negocio para la planta de aprovechamiento de RCD fija, se concluye que, utilizar el modelo de reincorporación tiene mejores resultados a nivel general en comparación con los otros dos modelos.
- Después de realizar el diseño de la planta de aprovechamiento y en función de la capacidad de procesamiento que esta tiene, se encontró que la cantidad de RCD producida por la obra es una variable determinante en los indicadores de bondad. Lo anterior despliega un panorama de opciones y soluciones que podrían mejorar sustancialmente los resultados. Por ejemplo, al recibir RCD proveniente de varias obras de forma simultánea tendría como consecuencia una mayor cantidad de agregados reciclados, esto a su vez, mejoraría los ingresos proporcionalmente afectando a los indicadores de bondad positivamente.
- La sumatoria de los costos de maquinaria (\$226,329,245) y los costos de adecuaciones (\$125,644,234) con respecto al costo directo total del proyecto (\$41,048,472,572) representa un 0.86% del valor total. Esto, presenta un escenario donde una inversión poco representativa puede llegar a generar beneficios no solo a nivel ambiental, sino también desde a nivel tributario (reducción de impuestos), comercial (valor agregado) y de diseño arquitectónico (certificaciones ambientales o de sostenibilidad).

- Los costos asociados al procesamiento de los RCD requieren de una alta y constante generación de residuos que produzca suficientes activos vendibles o re incorporables para compensar los costos de operación. Esto anterior, reta al mercado actual exigiendo propuestas, metodologías y modelos de negocio de aprovechamiento de RCD, pues en la ciudad de Cali el gremio de la construcción ha dejado en manos de las empresas de disposición de residuos la responsabilidad del procesamiento de RCD.

5.1 Recomendaciones para trabajos futuros

- Analizar a detalle el comportamiento de los diferentes índices de generación en todas las etapas constructivas y según los rendimientos de obra, pues al realizarse este trabajo de grado, se encontró que en el tiempo estos pueden variar sustancialmente. Una evidencia de lo anterior, son los índices promedio obtenidos, los cuales, difieren con respecto a un estudio realizado para la misma constructora en un mismo sistema estructural.
- Se recomienda, para esta clase de proyectos (plantas de trituración fija), hacer énfasis y análisis a detallado del comportamiento y las condiciones de mercado, pues la conducta de los indicadores de bondad económica se perturba mucho según el precio y las cantidades de los RCD producidos.
- La selección de la propuesta de la planta de trituración fija por el método cualitativo AHP, tuvo resultados que fueron consecuencia de priorizar al valor ganado, seguido del control de calidad y productos, luego la inversión inicial y por último el valor de salvamento. Sin embargo, se recomienda para trabajos futuros, analizar a detalle, el posible impacto de las metodologías propuestas restantes (Tercerización con gestor, Planta de trituración móvil, Sociedad con empresa de RCD) y establecer que tan contraproducentes pueden ser en aspectos como el económico y el técnico.
- En concordancia con la estrategia medio ambiental de la empresa se recomienda utilizar esta clase de investigaciones para mejorar y apoyar los desarrollos académicos e investigativos que se encuentren orientados a aspectos medioambientales o de sostenibilidad, pero sin dejar atrás los aspectos reales de implementación y obra civil donde realmente se exteriorizan y materializan todas las ideas.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abouhamad, M., & Abu-hamd, M. (2019). Framework for construction system selection based on life cycle cost and sustainability assessment. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118397. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118397>
- Akhtar, A., & Sarmah, A. K. (2018). Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete : A global perspective. *Journal of Cleaner Production*, 186, 262–281. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.085>
- Alcaldía de Santiago de Cali. (2015). *Plan De Gestión Integral De Santiago De Cali*.
- Alcaldía de Santiago de Cali. (2018). *Decreto 0771 del 20 de Diciembre de 2018*. <https://camacolvalle.org.co/wp-content/uploads/2020/01/Decreto-0771-de-2018-RCD-Cali.pdf>
- Alcaldía de Santiago de Cali. (2020). *Manual de construcción sostenible de Cali (En aprobación por el Concejo de Santiago de Cali)*.
- Armijos, J. V. (2019). *Caracterizacion de la Generacion de Residuos de Construccion en Sistemas Industrializados Para Viviendas de Interes Social, en la Ciudad de Santiago de Cali* [Pontificia Universidad Javeriana Cali]. http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/12202/Caracterización_generación_residuos.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bravo, F. N. (2010). *Reciclado y reutilizo de Residuos de Construcción y Demolición , una herramienta para el desarrollo económico local*. <http://www.ideassonline.org/public/pdf/RCDDocumentEsp.pdf>
- Brick, K. (2008). Barriers for implementation of the Environmental Load Profile and other LCA-based tools. *Department of Industrial Ecology*. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:13950/FULLTEXT01.pdf>
- Buss Tessaro, A., Sá, J. S. de, & Scremin, L. B. (2012). Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS Quantification and classification of construction and demolition waste in the municipality of Pelotas, RS. *Ambiente Construído*, 12(2), 121–130.

- Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción. (2013). Plan de manejo de residuos de la construcción y la demolición. In *Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción* (Vol. 4). http://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Flayer/PM_RCD_Completo.pdf
- Chica, L. M., & Beltrán, J. M. (2018). Demolition and construction waste characterization for potential reuse identification. *DYNA (Colombia)*, 85(206), 338–347. <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v85n206/0012-7353-dyna-85-206-00338.pdf>
- Crippa, M., Oreggioni, G., D. G., Muntean, M., Schaaf, E., Lo Vullo, E., Solazzo, E., Monforti-Ferrario, F., Olivier, J. G. ., & Vignati, E. (2019). Fossil CO2 and GHG emissions of all world countries. In *European Commission*. <https://doi.org/10.2760/687800>
- CVC. (2021). *Listado De Gestores De Residuos De Construcción Y Demolición - Rcd Inscritos En La Corporación Autónoma Regional Del Valle Del Cauca* (Issue 9). https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2018-12/Consolidado_Gestores_RCD_Diciembre_28_2018.pdf
- DANE. (2020). *Boletín Técnico PIB (III Trimestre 2020)*. 1–47. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bol_PIB_IIItrim20_produccion_y_gasto.pdf
- El País. (2019, October 17). *El Dane Rectifico Cifras de Poblacion Pero Quedo Faltando*. <https://www.elpais.com.co/cal/el-dane-rectifico-cifras-de-poblacion-de-cali-pero-queda-faltando.html>
- Eurostat. (2019). *Waste Statistics*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics#Total_waste_generation
- GEAR. (2011). *Guía Española de áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición (RCD)*. [http://www.rcdasociacion.es/images/documents/guia\(1\).pdf](http://www.rcdasociacion.es/images/documents/guia(1).pdf)
- Gomes, P. C. C., Ulsen, C., Pereira, F. A., Quattrone, M., & Angulo, S. C. (2015). Comminution and sizing processes of concrete block waste as recycled aggregates. *Waste Management*, 45, 171–179. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.07.008>
- Gonzalez, R. (2021). *Análisis para la Gestión de Residuos de Construcción y Demolición del*

Sector Vivienda en Santiago de Cali: Estudio de Caso [Pontificia Universidad Javeriana Cali].

http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/14621/Analisis_gestion_residuospdf?sequence=1&isAllowed=y

Guzmán, M. C., & Soler, A. F. (2019). *Estudio de factibilidad para la creación de una planta para el aprovechamiento de los residuos de la construcción y demolición (RCD) en Bogotá* [Universidad de la Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_industrial/117/

Hao, J., Yuan, H., Liu, J., Chin, C. S., & Lu, W. (2019). A model for assessing the economic performance of construction waste reduction. *Journal of Cleaner Production*, 232, 427–440. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.348>

Hernandez, A. (2019). Guia De Alternativas De Manejo De RCD en la construccion de edificaciones residenciales. *Alternativas De Manejo De Rcd*, 1–27. https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/31986/HERNANDEZSALINA_SALBERGIOVANNY2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Herrera, F. (2018). ODS en Colombia: Los retos para 2030. In *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. https://www.undp.org/content/dam/colombia/docs/ODS/undp_co_PUBL_julio_ODS_en_Colombia_los_retos_para_2030_ONU.pdf

Hincapié Henao, Á. M., & Aguja López, E. A. (2003). Agregado reciclado. *Revista Universidad EAFIT*, 39(132), 76–89.

Instituto de Estudios Ambientales. (2017). Residuos de Construccion y Demolicion RCD. In *Consultoría para el análisis y evaluación de la situación actual de la internalización de costos ambientales y en salud por la gestión de residuos sólidos en Colombia*. (Vol. 1, Issue 2). http://www.idea.unal.edu.co/proy_idea/proy-residuos479_productos.html

Jalaei, F., Zoghi, M., & Khoshand, A. (2019). Life cycle environmental impact assessment to manage and optimize construction waste using Building Information Modeling (BIM). *International Journal of Construction Management*, 0(0), 1–18. <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1583850>

Kien, T. T., Thanh, L. T., & Lu, P. V. (2013). Recycling construction demolition waste in the world and in Vietnam. *The International Conference on Sustainable Built Environment for*

- Now and Future, Hanoi, March, 10.*
https://www.researchgate.net/publication/256492915_Recycling_construction_demolition_waste_in_the_world_and_in_Vietnam-_SBE2013
- Klee, H. (2004). Briefing: The cement sustainability initiative. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Engineering Sustainability* (Vol. 157, Issue 1).
<https://doi.org/10.1680/ensu.2004.157.1.9>
- Llatas, C. (2011). A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list. *Waste Management, 31*(6), 1261–1276.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.01.023>
- Lozano, R. J. (2019). *Nueva cultura y nuevos modelos de negocio, transformación productiva y cierre de ciclos de materiales.* [https://camacol.co/sites/default/files/LA ECONOMÍA CIRCULAR EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN.pdf](https://camacol.co/sites/default/files/LA_ECONOMÍA_CIRCULAR_EN_EL_SECTOR_DE_LA_CONSTRUCCIÓN.pdf)
- Marin, J. A. (2019). *Análisis de la Generación de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en un Proyecto Institucional: Estudio de Caso* [Pontificia Universidad Javeriana Cali].
<http://vitela.javerianacali.edu.co/handle/11522/12383>
- Martínez, L. E. (2018). *Manejo de escombros en construcción , algunas alternativas de reincorporación.* 1–8. [https://repository.usc.edu.co/bitstream/20.500.12421/680/1/MANEJO DE ESCOMBROS.pdf](https://repository.usc.edu.co/bitstream/20.500.12421/680/1/MANEJO_DE_ESCOMBROS.pdf)
- Mattey Centeno, P. E., Robayo Salazar, R. A., Silva Urrego, Y. F., Burgos Galindo, D. M., & Delvasto Arjona, S. (2015). Los residuos de la construcción y demolición en la ciudad de Cali: un análisis hacia su gestión, manejo y aprovechamiento. *Revista Tecnura, 19*(44), 157.
<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.2.a12>
- Medina, C., Sánchez De Rojas, M. I., & Frías, M. (2012). Reuse of sanitary ceramic wastes as coarse aggregate in eco-efficient concretes. *Cement and Concrete Composites, 34*(1), 48–54.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.08.015>
- Mercante, I., Bovea, M., Arena, P., & Martinengo, P. (2009). Propuesta De Una Metodología Para La Disposición Final Sostenible De Los Residuos Sólidos De Construcción Y Demolición Generados En El Distrito De Huaraz, 2016. *Universitat Politècnica de Catalunya, 2*, 11.
<https://doi.org/10.1016/j.jns.2003.09.014>

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Resolución No. 0472 del 28 de Febrero de 2017*. <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/3a-RESOLUCION-472-DE-2017.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Minambiente reglamenta manejo y disposición de residuos de construcción y escombros*. <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2681-minambiente-reglamenta-%7C%09manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros>
- Mueller, A., Schnell, A., & Ruebner, K. (2015). The manufacture of lightweight aggregates from recycled masonry rubble. *Construction and Building Materials*, 98, 376–387. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.027>
- Organizacion de Naciones Unidas. (2015). *Nueva Agenda De Desarrollo Sostenible 2030*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- Ortega, Aida Inírida; Casas, Helber Leonardo; Figueroa, Y. X. (2015). *Guía Para La Elaboración Del Plan De Gestión De Residuos De Construcción Y Demolición - Rcd En La Obra*. <http://www.ambientebogota.gov.co/web/publicaciones-sda/cartilla-rcd>
- Padmini, A. K., Ramamurthy, K., & Mathews, M. S. (2009). Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 23(2), 829–836. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.03.006>
- Parra, M. P. (2015). Estimación de rentabilidad de referencia para el sector construcción. *Bogotá Mejor Para Todos*, 1, 1–47. http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/OrdenamientoTerritorial/EconomiaUrbana/Estudios/rentabilidad_07-03-2017.pdf
- Poon, C. S., & Chan, D. (2006). Paving blocks made with recycled concrete aggregate and crushed clay brick. *Construction and Building Materials*, 20(8), 569–577. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.01.044>
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, 1(1), 83–98.

- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2012). Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. In *Journal of the Operational Research Society* (Vol. 175, Issue 3). Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6>
- Saiz Martínez, P., González Cortina, M., Fernández Martínez, F., & Rodríguez Sánchez, A. (2016). Comparative study of three types of fine recycled aggregates from construction and demolition waste (CDW), and their use in masonry mortar fabrication. *Journal of Cleaner Production*, *118*, 162–169. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.059>
- Salazar, R., Centeno, P., & Silva, Y. (2015). *Residuos de construcción y demolición: Análisis hacia su gestión, manejo y aprovechamiento*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.2.a12>
- Sanchez, D., Ortiz, H., & Silva, M. (2013, June 24). *Infografía: ¿De dónde vienen y dónde van a parar los escombros de Cali?* <https://www.elpais.com.co/mundo/infografia-de-donde-vienen-y-a-donde-van-a-parar-los-escombros-de-cali.html>
- Sekhar, D., & Nayak, S. (2018). Utilization of granulated blast furnace slag and cement in the manufacture of compressed stabilized earth blocks. *Construction and Building Materials*, *166*, 531–536. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.125>
- Shafica Cadavid, A. (2015). *Evaluación del manejo de (RCD) en seis proyectos de viviendas de interés prioritario en la ciudad de Medellín*. 13. <https://docplayer.es/28366119-Por-i-a-alma-shafica-cadavid-1-tutor-tematico-olga-nallive-yepes-2-tutor-metodologico-ivan-sylva-3-olga-nallive-yepes.html>
- Silva, R. V., de Brito, J., & Dhir, R. K. (2019). Use of recycled aggregates arising from construction and demolition waste in new construction applications. *Journal of Cleaner Production*, *236*, 117629. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117629>
- Tam, V. W. Y., Soomro, M., & Evangelista, A. C. J. (2018). A review of recycled aggregate in concrete applications (2000–2017). *Construction and Building Materials*, *172*, 272–292. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.240>
- Wu, H., Zuo, J., Zillante, G., Wang, J., & Yuan, H. (2019). Status quo and future directions of construction and demolition waste research: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, *240*, 118163. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118163>

Yuan, F., Shen, L. yin, & Li, Q. ming. (2011). Emergy analysis of the recycling options for construction and demolition waste. *Waste Management*, 31(12), 2503–2511. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.07.001>

Zhang, J., Gu, F., & Zhang, Y. (2019). Use of building-related construction and demolition wastes in highway embankment: Laboratory and field evaluations. *Journal of Cleaner Production*, 230, 1051–1060. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.182>

7 GLOSARIO DE TERMINOS ESPECIALES

Escombros: Residuo resultante de las actividades de construcción, reparación, demolición y/o mejoras locativas de las obras civiles o de otras actividades conexas.

Gestor de RCD: Persona natural o jurídica que podría realizar una o todas las actividades de recolección, transporte, almacenamiento, aprovechamiento y/o disposición final de RCD.

Gran generador de RCD: Constructor que cumple con las siguientes condiciones: 1) requiere la expedición de licencia de construcción en cualquiera de sus modalidades y/o licencia de intervención y ocupación del espacio público y 2) la obra tenga un área construida igual o superior a 2000 m².

Pequeño generador de RCD: Es el generador de RCD que cumple con las siguientes condiciones: 1) no requiere la expedición de licencia de construcción en cualquiera de sus modalidades y/o licencia de intervención y ocupación del espacio público. 2) la obra tenga un área construida inferior a 2.000 m². (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución 472 de 2017).

Impacto ambiental: Cualquier alteración en el sistema ambiental biótico, abiótico y socioeconómico, que sea adverso o beneficioso, total o parcial, que pueda ser atraído al proyecto.

Plan de Gestión de Residuos: Instrumento de gestión que contiene la información de la obra y de las actividades que se deben realizar para garantizar a gestión de los RCD generados.

Residuos de Construcción y Demolición (RCD): Residuos sólitos provenientes de las actividades de excavación, construcción, demolición, reparaciones o mejoras locativas de obras civiles o de otras actividades conexas.

Plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS): Es el instrumento de planeación municipal o regional que contiene un conjunto ordenado de objetivos, metas, programas, proyectos, actividades y recursos definidos por uno o más entes territoriales para el manejo de los residuos sólidos, basado en la política de gestión integral de los mismos, el cual se ejecutará durante un período determinado, basándose en un diagnóstico inicial, en su proyección hacia el futuro y en un plan financiero viable que permita garantizar el mejoramiento continuo del manejo de residuos y la prestación del servicio de aseo a nivel municipal o regional, evaluado a través de

la medición de resultados. Corresponde a la entidad territorial la formulación, implementación, evaluación, seguimiento y control y actualización del PGIRS (Alcaldía de Santiago de Cali, 2015)

Reciclaje: Proceso realizado por gestores especiales sobre los residuos generados, cuyo objeto es la transformación de estos en insumos para el sector de la construcción (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013).

Aprovechamiento: Es la actividad complementaria del servicio público de aseo que comprende la recolección de residuos aprovechables separados en la fuente por los usuarios, el transporte selectivo hasta la estación de clasificación y aprovechamiento o hasta la planta de aprovechamiento, así como su clasificación y pesaje (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013).

Tratamiento: Es el conjunto de operaciones, procesos o técnicas mediante los cuales se modifican las características de los residuos de construcción y demolición, incrementando sus posibilidades de reutilización o y se minimizan los impactos ambientales y los riesgos para la salud humana.

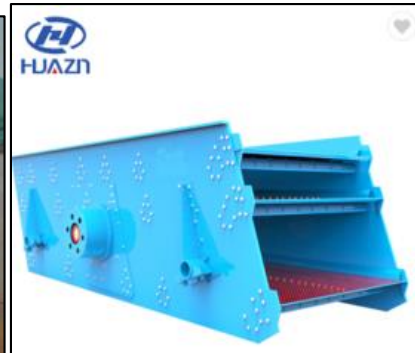
8 ANEXO 1: DETALLE DATOS DE INDICES DE GENERACIÓN

	Mes	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto
RCD generado	m3	5,712	5,430	3,662	286	2,409	4,591	1,920	255
	ton	6,237	5,930	3,999	312	2,631	5,013	2,097	279
Cantidad unidades construidas	und	160	160	127	0	200	160	160	160
Área construida	m2	13,149	13,149	10,437	0	16,436	13,149	13,149	13,149
Área construida promedio	m2/mes					8,420			
Área total del proyecto	m2					92,616			
Peso total del proyecto	tn					139,090			
Wgr		0.316	0.300	0.255	0.000	0.107	0.254	0.106	0.014
IGRw		0.474	0.451	0.383	0.000	0.160	0.381	0.159	0.021
IGRv		0.434	0.413	0.351	0.000	0.147	0.349	0.146	0.019

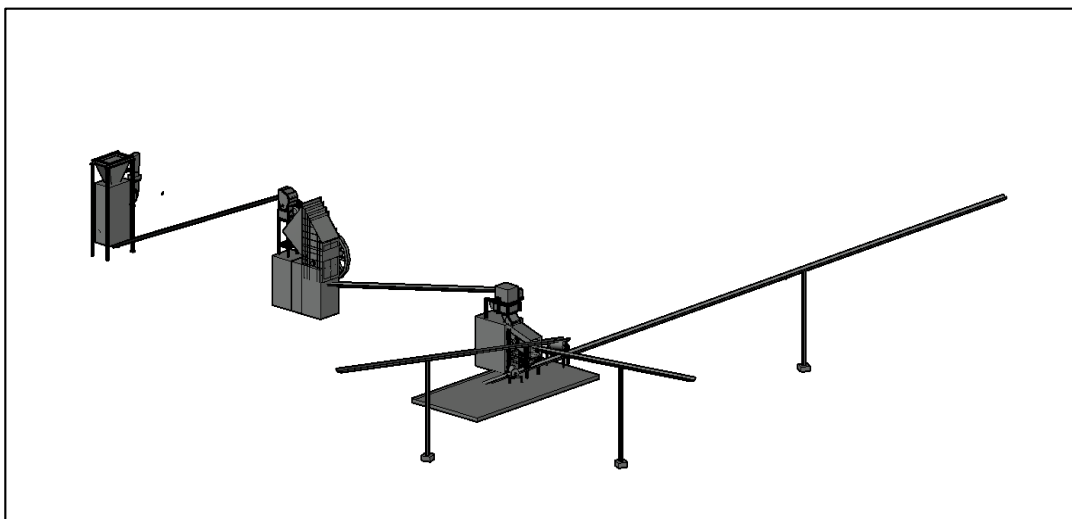
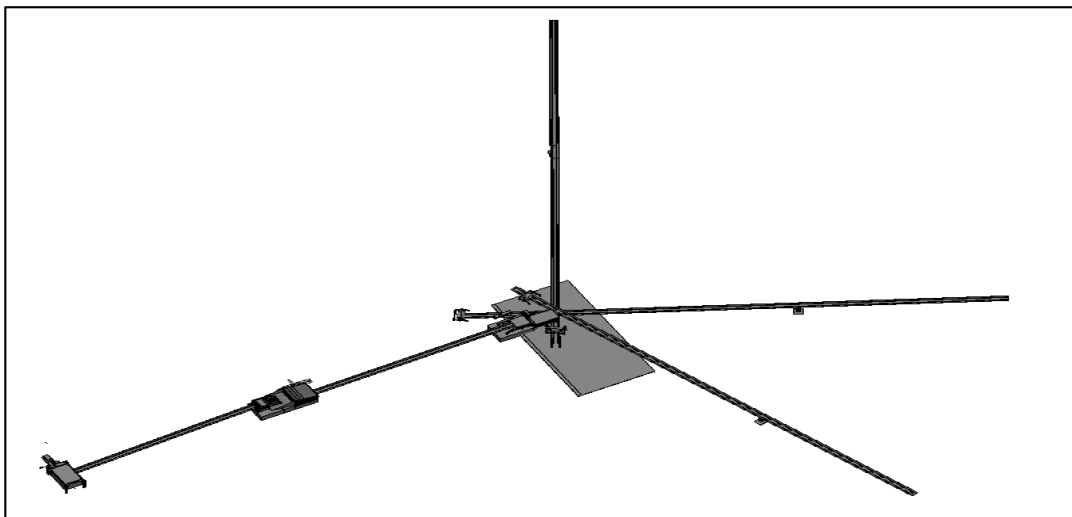
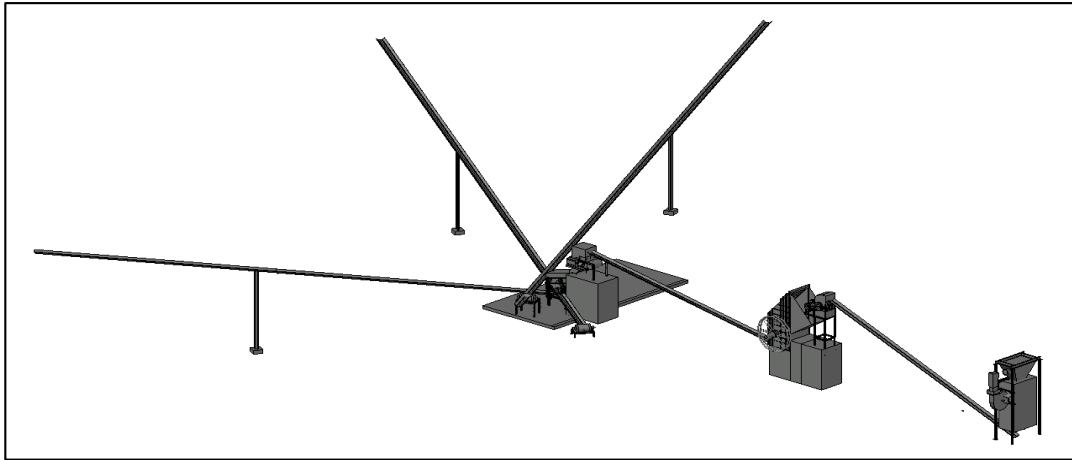
9 ANEXO 2: DETALLE DE PLANTA DE APROVECHAMIENTO

Maquinaria de Producción Utilizada

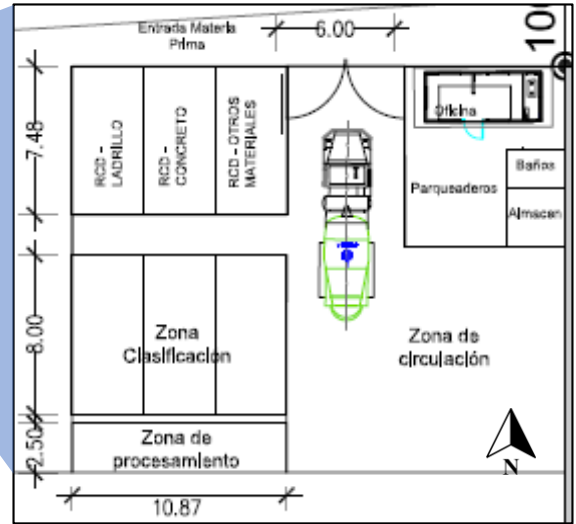
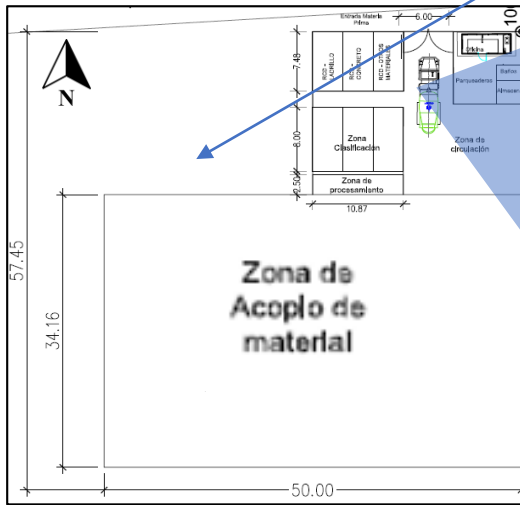
Maquinaria	Origen	Marca	Valor (COP)
Bascula	China	Huaxinsc	\$ 23,505,100
Tolva de alimentación	China	Huazn	\$ 27,745,125
Trituradora de impacto	China	Honji	\$ 26,480,100
Trituradora de mandíbula	China	Yuxiang	\$ 35,306,800
Banda transportadora	China	Biachy	\$ 13,255,055
Separador magnético	China	YH	\$ 12,900,045
Cribadora	China	Huazn	\$ 34,116,800



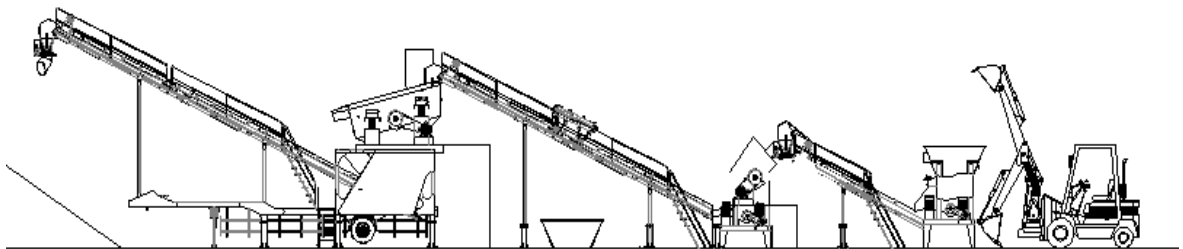
Detalle en 3D - Maquinaria de Producción



Vista en planta – Ubicación de planta de aprovechamiento



Vista en perfil – zona de clasificación y procesamiento



10 ANEXO 3: DETALLES INGRESOS Y EGRESOS MODELOS DE NEGOCIO

Escenario más probable (Modelo de disposición)

DETALLE INGRESOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Material proyecto manzanares										
Salvamento Lote										
Maquinaria										
Total Individual	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Total Acumulado	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
DETALLE EGRESOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
COSTOS DIRECTOS										
Maquinaria de Produccion										
Lote										
Material excedente			\$ 160,494,231	\$ 152,581,472	\$ 102,900,790	\$ 8,022,701	\$ 67,702,473	\$ 128,997,527	\$ 53,961,264	\$ 7,179,396
Mano de obra planta										
Cerramiento lamina										
Acometida energia										
Tableros energia										
Acometidal hidrosanitaria										
Iluminacion (reflector industrial)										
Contenedor oficina										
Sanitario										
Lavamanos										
Lavaplatos										
Nomenclatura de zonas										
Software										
Equipos tecnologicos										
Limpieza										
Muro mamposteria (incluye dovelas)										
Bloque viga										
Puerta metalica acceso										
Estructura Metalica Cubierta										
Cubierta										
Pavimento en Concreto MR=36										
Suministro y compactacion roca muerta										
M.O. instalaciones varias										
AIU actividades de adecuacion										
GASTOS MENSUALES										
Caja menor										
Dotacion de obra										
Papeleria										
Retro y Mant.										
Servicios publicos										
Imprevistos										
COSTOS INDIRECTOS										
Seguros (1.1%)										
Gastos oficina central (0.25%)										
Honorarios y reembolsables de gerencia (2%)										
Contabilidad y control de costos (0.3%)										
Total Individual	\$ 0	\$ 0	\$ 160,494,231	\$ 152,581,472	\$ 102,900,790	\$ 8,022,701	\$ 67,702,473	\$ 128,997,527	\$ 53,961,264	\$ 7,179,396
Total Acumulado	\$ 0	\$ 0	\$ 160,494,231	\$ 313,075,703	\$ 415,976,493	\$ 423,999,194	\$ 491,701,667	\$ 620,699,194	\$ 674,660,458	\$ 681,839,854

Escenario optimista (Modelo de negocio de disposición)

DETALLE INGRESOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Material proyecto manzanas										
Salvamento Lote										
Maquinaria										
Total Individual	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Total Acumulado	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
DETALLE EGRESOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
COSTOS DIRECTOS										
Maquinaria de Produccion										
Lote										
Material excedente			\$ 112,345,849	\$ 106,806,924	\$ 72,030,481	\$ 5,615,885	\$ 47,391,683	\$ 90,298,179	\$ 37,772,847	\$ 5,025,572
Mano de obra planta										
Cerramiento lamina										
Acometida energia										
Tableros energia										
Acometida hidrosanitaria										
Iluminacion (reflector industrial)										
Contenedor oficina										
Sanitario										
Lavamanos										
Lavaplatos										
Nomenclatura de zonas										
Software										
Equipos tecnologicos										
Limpieza										
Muro mamposteria (incluye dovelas)										
Bloque viga										
Puerta metalica acceso										
Estructura Metalica Cubierta										
Cubierta										
Pavimento en Concreto MR=36										
Suministro y compactacion roca muerta										
M.O. instalaciones varias										
AIU actividades de adecuacion										
GASTOS MENSUALES										
Caja menor										
Dotacion de obra										
Papeeria										
Retro y Mant.										
Servicios publicos										
Imprevistos										
COSTOS INDIRECTOS										
Seguros (1.1%)										
Gastos oficina central (0.25%)										
Honorarios y reembolsables de gerencia (2%)										
Contabilidad y control de costos (0.3%)										
Total Individual	\$ 0	\$ 0	\$ 112,345,849	\$ 106,806,924	\$ 72,030,481	\$ 5,615,885	\$ 47,391,683	\$ 90,298,179	\$ 37,772,847	\$ 5,025,572
Total Acumulado	\$ 0	\$ 0	\$ 112,345,849	\$ 219,152,773	\$ 291,183,254	\$ 296,799,139	\$ 344,190,823	\$ 434,489,001	\$ 472,261,848	\$ 477,287,420

Escenario pesimista (Modelo de negocio de disposición)

DETALLE INGRESOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Material proyecto manzanas										
Salvamento Lote										
Maquinaria										
Total Individual	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Total Acumulado	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
DETALLE EGRESOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
COSTOS DIRECTOS										
Maquinaria de Produccion										
Lote										
Material excedente			\$ 208,642,291	\$ 198,355,716	\$ 133,770,894	\$ 10,429,501	\$ 88,013,126	\$ 167,696,618	\$ 70,149,573	\$ 9,333,205
Mano de obra planta										
Cerramiento lamina										
Acometida energia										
Tableros energia										
Acometida hidrosanitaria										
Iluminacion (reflector industrial)										
Contenedor oficina										
Sanitario										
Lavamanos										
Lavaplatos										
Nomenclatura de zonas										
Software										
Equipos tecnologicos										
Limpieza										
Muro mamposteria (incluye dovelas)										
Bloque viga										
Puerta metalica acceso										
Estructura Metalica Cubierta										
Cubierta										
Pavimento en Concreto MR=36										
Suministro y compactacion roca muerta										
M.O. instalaciones varias										
AIU actividades de adecuacion										
GASTOS MENSUALES										
Caja menor										
Dotacion de obra										
Papeleria										
Retro y Mant.										
Servicios publicos										
Imprevistos										
COSTOS INDIRECTOS										
Seguros (1.1%)										
Gastos oficina central (0.25%)										
Honorarios y reembolsables de gerencia (2%)										
Contabilidad y control de costos (0.3%)										
Total Individual	\$ 0	\$ 0	\$ 208,642,291	\$ 198,355,716	\$ 133,770,894	\$ 10,429,501	\$ 88,013,126	\$ 167,696,618	\$ 70,149,573	\$ 9,333,205
Total Acumulado	\$ 0	\$ 0	\$ 208,642,291	\$ 406,998,007	\$ 540,768,901	\$ 551,198,401	\$ 639,211,528	\$ 806,908,146	\$ 877,057,718	\$ 886,390,923

Escenario más probable (Modelo de negocio de reincorporación)

DETALLE INGRESOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Material proyecto manzanas				\$ 162,454,685		\$ 258,603,006		\$ 76,650,164		\$ 192,460,745
Salvamento Lote										\$ 1,143,300,000
Salvamento Maquinaria										\$ 195,133,621
Total Individual	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 162,454,685	\$ 0	\$ 258,603,006	\$ 0	\$ 76,650,164	\$ 0	\$ 1,530,894,366
Total Acumulado	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 162,454,685	\$ 162,454,685	\$ 421,057,691	\$ 421,057,691	\$ 497,707,855	\$ 497,707,855	\$ 2,028,602,221
DETALLE EGRESOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
COSTOS DIRECTOS										
Maquinaria de Produccion	\$ 226,329,245			\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827
Lote	\$ 1,110,000,000									
Material excedente			\$ 54,151,562	\$ 51,481,757	\$ 34,719,245	\$ 2,706,900	\$ 22,843,155	\$ 43,524,415	\$ 18,206,802	\$ 2,422,364
Mano de obra planta		\$ 4,450,162	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732
Cerramiento lamina		\$ 14,250,879								
Acometida energia		\$ 1,175,988								
Tableros energia		\$ 2,002,626								
Acometidal hidrosanitaria		\$ 1,321,791								
Iluminacion (reflector industrial)		\$ 10,489,560								
Contenedor oficina		\$ 7,360,000								
Sanitario		\$ 1,454,388								
Lavamanos		\$ 235,863								
Lavaplatos		\$ 235,930								
Nomenclatura de zonas		\$ 1,000,000								
Software		\$ 1,599,800								
Equipos tecnologicos		\$ 6,000,000								
Limpieza		\$ 555,000								
Muro mamposteria (incluye dovelas)		\$ 8,554,548								
Bloque viga		\$ 6,073,536								
Puerta metalica acceso		\$ 2,179,000								
Estructura Metalica Cubierta		\$ 944,832								
Cubierta		\$ 2,308,060								
Pavimento en Concreto MR=36		\$ 11,998,042								
Suministro y compactacion roca muerta		\$ 12,775,545								
M.O. instalaciones varias		\$ 8,000,000								
AIU actividades de adecuacion		\$ 25,128,847								
COSTOS MENSUALES										
Caja menor	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000
Dotacion de obra			\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000
Papeleria	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000
Retro y Mant.			\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600
Servicios publicos			\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000
Imprevistos	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000
COSTOS INDIRECTOS										
Seguros (1.1%)		\$ 1,445,998	\$ 868,988	\$ 919,885	\$ 735,497	\$ 383,362	\$ 604,860	\$ 832,354	\$ 553,861	\$ 379,022
Gastos oficina central (0.25%)		\$ 328,636	\$ 197,497	\$ 209,065	\$ 167,159	\$ 87,128	\$ 137,468	\$ 189,171	\$ 125,877	\$ 86,141
Honorarios y reembolsables de gerencia (2%)		\$ 2,658,008	\$ 514,326	\$ 515,344	\$ 511,657	\$ 504,614	\$ 509,044	\$ 513,594	\$ 508,024	\$ 502,327
Contabilidad y control de costos (0.3%)		\$ 394,363	\$ 236,997	\$ 250,878	\$ 200,590	\$ 104,553	\$ 164,962	\$ 227,006	\$ 151,053	\$ 103,370
Total Individual	\$ 1,337,689,245	\$ 136,281,402	\$ 80,816,701	\$ 85,521,088	\$ 68,478,307	\$ 35,930,715	\$ 56,403,649	\$ 77,430,700	\$ 51,689,776	\$ 35,527,383
Total Acumulado	\$ 1,337,689,245	\$ 1,473,970,647	\$ 1,554,787,348	\$ 1,640,308,436	\$ 1,708,786,743	\$ 1,744,717,458	\$ 1,801,121,107	\$ 1,878,551,806	\$ 1,930,241,582	\$ 1,965,768,965

Escenario optimista (Modelo de negocio de reincorporación)

DETALLE INGRESOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Material proyecto manzanas				\$ 180,505,205		\$ 287,336,673		\$ 85,166,849		\$ 213,845,272
Salvamento Lote										\$ 1,143,300,000
Maquinaria										\$ 195,133,621
Total Individual	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 180,505,205	\$ 0	\$ 287,336,673	\$ 0	\$ 85,166,849	\$ 0	\$ 1,552,278,893
Total Acumulado	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 180,505,205	\$ 180,505,205	\$ 467,841,879	\$ 467,841,879	\$ 553,008,728	\$ 553,008,728	\$ 2,105,287,621
DETALLE EGRESOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
COSTOS DIRECTOS										
Maquinaria de Produccion	\$ 226,329,245			\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827
Lote	\$ 1,110,000,000									
Material excedente			\$ 60,168,402	\$ 57,201,952	\$ 38,576,939	\$ 3,007,666	\$ 25,381,284	\$ 48,360,461	\$ 20,229,780	\$ 2,691,516
Mano de obra planta		\$ 4,450,162	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732
Cerramiento lamina		\$ 14,250,879								
Acometida energia		\$ 1,175,988								
Tableros energia		\$ 2,002,626								
Acometida hidrosanitaria		\$ 1,321,791								
Iluminacion (reflector industrial)		\$ 10,489,560								
Contenedor oficina		\$ 7,360,000								
Sanitario		\$ 1,454,388								
Lavamanos		\$ 235,863								
Lavaplatos		\$ 235,930								
Nomenclatura de zonas		\$ 1,000,000								
Software		\$ 1,599,800								
Equipos tecnologicos		\$ 6,000,000								
Limpieza		\$ 555,000								
Muro mamposteria (incluye dovelas)		\$ 8,554,548								
Bloque viga		\$ 6,073,536								
Puerta metalica acceso		\$ 2,179,000								
Estructura Metalica Cubierta		\$ 944,832								
Cubierta		\$ 2,308,060								
Pavimento en Concreto MR=36		\$ 11,998,042								
Suministro y compactacion roca muerta		\$ 12,775,545								
M.O. instalaciones varias		\$ 8,000,000								
AIU actividades de adecuacion		\$ 25,128,847								
GASTOS MENSUALES										
Caja menor	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000
Dotacion de obra		\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000
Papeleria	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000
Retro y Mant.		\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600
Servicios publicos		\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000
Imprevistos	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000
COSTOS INDIRECTOS										
Seguros (1.1%)		\$ 1,445,998	\$ 935,173	\$ 982,807	\$ 777,932	\$ 386,670	\$ 632,780	\$ 885,551	\$ 576,113	\$ 381,982
Gastos oficina central (0.25%)		\$ 328,636	\$ 212,539	\$ 223,365	\$ 176,803	\$ 87,880	\$ 143,814	\$ 201,262	\$ 130,935	\$ 86,814
Honorarios y reembolsables de gerencia (2%)		\$ 2,658,008	\$ 515,650	\$ 516,603	\$ 512,505	\$ 504,680	\$ 509,602	\$ 514,658	\$ 508,469	\$ 502,386
Contabilidad y control de costos (0.3%)		\$ 394,363	\$ 255,047	\$ 268,038	\$ 212,163	\$ 105,455	\$ 172,576	\$ 241,514	\$ 157,122	\$ 104,177
Total Individual	\$ 1,337,689,245	\$ 136,281,402	\$ 86,934,143	\$ 91,336,925	\$ 72,400,501	\$ 36,236,510	\$ 58,984,215	\$ 82,347,604	\$ 53,746,578	\$ 35,801,035
Total Acumulado	\$ 1,337,689,245	\$ 1,473,970,647	\$ 1,560,904,790	\$ 1,652,241,715	\$ 1,724,642,216	\$ 1,760,878,727	\$ 1,819,862,941	\$ 1,902,210,545	\$ 1,955,957,123	\$ 1,991,758,158

Escenario Pesimista (Modelo de negocio de reincorporación)

DETALLE INGRESOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Material proyecto manzanas				\$ 120,793,804		\$ 192,285,256		\$ 56,993,524		\$ 143,104,925
Salvamento Lote										\$ 1,143,300,000
Maquinaria										\$ 195,133,621
Total Individual	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 120,793,804	\$ 0	\$ 192,285,256	\$ 0	\$ 56,993,524	\$ 0	\$ 1,481,538,545
Total Acumulado	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 120,793,804	\$ 120,793,804	\$ 313,079,060	\$ 313,079,060	\$ 370,072,584	\$ 370,072,584	\$ 1,851,611,129
DETALLE EGRESOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
COSTOS DIRECTOS										
Maquinaria de Produccion	\$ 226,329,245			\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827
Lote	\$ 1,110,000,000									
Material excedente			\$ 40,264,601	\$ 38,279,458	\$ 25,815,628	\$ 2,012,726	\$ 16,985,116	\$ 32,362,746	\$ 13,537,738	\$ 1,801,158
Mano de obra planta		\$ 4,450,162	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732
Cerramiento lamina		\$ 14,250,879								
Acometida energia		\$ 1,175,988								
Tableros energia		\$ 2,002,626								
Acometidal hidrosanitaria		\$ 1,321,791								
Iluminacion (reflector industrial)		\$ 10,489,560								
Contenedor oficina		\$ 7,360,000								
Sanitario		\$ 1,454,388								
Lavamanos		\$ 235,863								
Lavaplatos		\$ 235,930								
Nomenclatura de zonas		\$ 1,000,000								
Software		\$ 1,599,800								
Equipos tecnologicos		\$ 6,000,000								
Limpieza		\$ 555,000								
Muro mamposteria (incluye dovelas)		\$ 8,554,548								
Bloque viga		\$ 6,073,536								
Puerta metalica acceso		\$ 2,179,000								
Estructura Metalica Cubierta		\$ 944,832								
Cubierta		\$ 2,308,060								
Pavimento en Concreto MR=36		\$ 11,998,042								
Suministro y compactacion roca muerta		\$ 12,775,545								
M.O. instalaciones varias		\$ 8,000,000								
AJU actividades de adecuacion		\$ 25,128,847								
GASTOS MENSUALES										
Caja menor	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000
Dotacion de obra			\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000
Papeleria	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000
Retro y Mant.			\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600
Servicios publicos			\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000
Imprevistos	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000
COSTOS INDIRECTOS										
Seguros (1.1%)		\$ 1,445,998	\$ 716,231	\$ 774,660	\$ 637,558	\$ 375,726	\$ 540,422	\$ 709,576	\$ 502,501	\$ 372,188
Gastos oficina central (0.25%)		\$ 328,636	\$ 162,780	\$ 176,059	\$ 144,899	\$ 85,392	\$ 122,823	\$ 161,267	\$ 114,205	\$ 84,588
Honorarios y reembolsables de gerencia (2%)		\$ 2,658,008	\$ 511,271	\$ 512,440	\$ 509,698	\$ 504,461	\$ 507,755	\$ 511,138	\$ 506,997	\$ 502,190
Contabilidad y control de costos (0.3%)		\$ 394,363	\$ 195,336	\$ 211,271	\$ 173,879	\$ 102,471	\$ 147,388	\$ 193,521	\$ 137,046	\$ 101,506
Total Individual	\$ 1,337,689,245	\$ 136,281,402	\$ 66,697,551	\$ 72,098,046	\$ 59,425,821	\$ 35,224,934	\$ 50,447,663	\$ 66,082,407	\$ 46,942,644	\$ 34,895,790
Total Acumulado	\$ 1,337,689,245	\$ 1,473,970,647	\$ 1,540,668,198	\$ 1,612,766,244	\$ 1,672,192,065	\$ 1,707,417,000	\$ 1,757,864,662	\$ 1,823,947,069	\$ 1,870,889,714	\$ 1,905,785,504

Escenario más probable (Modelo de negocio de ventas)

DETALLE INGRESOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Material proyecto manzanas				\$ 138,212,404		\$ 220,013,003		\$ 65,212,053		\$ 163,740,813
Salvamento Lote										\$ 1,143,300,000
Maquinaria										\$ 195,133,621
Total Individual	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 138,212,404	\$ 0	\$ 220,013,003	\$ 0	\$ 65,212,053	\$ 0	\$ 1,502,174,434
Total Acumulado	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 138,212,404	\$ 138,212,404	\$ 358,225,407	\$ 358,225,407	\$ 423,437,459	\$ 423,437,459	\$ 1,925,611,893
DETALLE EGRESOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
COSTOS DIRECTOS										
Maquinaria de Produccion	\$ 226,329,245			\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827
Lote	\$ 1,110,000,000									
Material excedente			\$ 46,070,801	\$ 43,799,398	\$ 29,538,270	\$ 2,302,963	\$ 19,434,388	\$ 37,029,490	\$ 15,489,894	\$ 2,060,887
Mano de obra planta		\$ 4,450,162	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732
Cerramiento lamina		\$ 14,250,879								
Acometida energia		\$ 1,175,988								
Tableros energia		\$ 2,002,626								
Acometidal hidrosanitaria		\$ 1,321,791								
Iluminacion (reflector industrial)		\$ 10,489,560								
Contenedor oficina		\$ 7,360,000								
Sanitario		\$ 1,454,388								
Lavamanos		\$ 235,863								
Lavaplatos		\$ 235,930								
Nomenclatura de zonas		\$ 1,000,000								
Software		\$ 1,599,800								
Equipos tecnologicos		\$ 6,000,000								
Limpieza		\$ 555,000								
Muro mamposteria (incluye dovelas)		\$ 8,554,548								
Bloque viga		\$ 6,073,536								
Puerta metalica acceso		\$ 2,179,000								
Estructura Metalica Cubierta		\$ 944,832								
Cubierta		\$ 2,308,060								
Pavimento en Concreto MR=36		\$ 11,998,042								
Suministro y compactacion roca muerta		\$ 12,775,545								
M.O. instalaciones varias		\$ 8,000,000								
AIU actividades de adecuacion		\$ 25,128,847								
GASTOS MENSUALES										
Caja menor	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000
Dotacion de obra			\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000
Papeleria	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000
Retro y Mant.		\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600
Servicios publicos		\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000
Imprevistos	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000
COSTOS INDIRECTOS										
Seguros (1.1%)		\$ 1,445,998	\$ 780,099	\$ 835,379	\$ 678,507	\$ 378,918	\$ 567,364	\$ 760,910	\$ 523,975	\$ 375,046
Costos oficina central (0.25%)		\$ 328,636	\$ 177,295	\$ 189,859	\$ 154,206	\$ 86,118	\$ 128,946	\$ 172,934	\$ 119,085	\$ 85,238
Honorarios y reembolsables de gerencia (2%)		\$ 2,658,008	\$ 512,549	\$ 513,654	\$ 510,517	\$ 504,525	\$ 508,294	\$ 512,165	\$ 507,426	\$ 502,248
Contabilidad y control de costos (0.3%)		\$ 394,363	\$ 212,754	\$ 227,831	\$ 185,047	\$ 103,341	\$ 154,736	\$ 207,521	\$ 142,902	\$ 102,285
Total Individual	\$ 1,337,689,245	\$ 136,281,402	\$ 72,600,831	\$ 77,710,280	\$ 63,210,706	\$ 35,520,024	\$ 52,937,887	\$ 70,827,179	\$ 48,927,441	\$ 35,159,862
Total Acumulado	\$ 1,337,689,245	\$ 1,473,970,647	\$ 1,546,571,478	\$ 1,624,281,757	\$ 1,687,492,463	\$ 1,723,012,487	\$ 1,775,950,374	\$ 1,846,777,553	\$ 1,895,704,994	\$ 1,930,864,856

Escenario optimista (Modelo de negocio de ventas)

DETALLE INGRESOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Material proyecto manzanas				\$ 177,701,662		\$ 282,873,861		\$ 83,844,068		\$ 210,523,903
Salvamento Lote										\$ 1,143,300,000
Maquinaria										\$ 195,133,621
Total Individual	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 177,701,662	\$ 0	\$ 282,873,861	\$ 0	\$ 83,844,068	\$ 0	\$ 1,548,957,523
Total Acumulado	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 177,701,662	\$ 177,701,662	\$ 460,575,523	\$ 460,575,523	\$ 544,419,591	\$ 544,419,591	\$ 2,093,377,114
DETALLE EGRESOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
COSTOS DIRECTOS										
Maquinaria de Produccion	\$ 226,329,245			\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827
Lote	\$ 1,110,000,000									
Material excedente			\$ 59,233,887	\$ 56,313,512	\$ 37,977,775	\$ 2,960,952	\$ 24,987,070	\$ 47,609,344	\$ 19,915,578	\$ 2,649,712
Mano de obra planta		\$ 4,450,162	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732
Cerramiento lamina		\$ 14,250,879								
Acometida energia		\$ 1,175,988								
Tableros energia		\$ 2,002,626								
Acometida hidrosanitaria		\$ 1,321,791								
Iluminacion (reflector industrial)		\$ 10,489,560								
Contenedor oficina		\$ 7,360,000								
Sanitario		\$ 1,454,388								
Lavamanos		\$ 235,863								
Lavaplatos		\$ 235,930								
Nomenclatura de zonas		\$ 1,000,000								
Software		\$ 1,599,800								
Equipos tecnologicos		\$ 6,000,000								
Limpieza		\$ 555,000								
Muro mamposteria (incluye dovelas)		\$ 8,554,548								
Bloque viga		\$ 6,073,536								
Puerta metalica acceso		\$ 2,179,000								
Estructura Metalica Cubierta		\$ 944,832								
Cubierta		\$ 2,308,060								
Pavimento en Concreto MR=36		\$ 11,998,042								
Suministro y compactacion roca muerta		\$ 12,775,545								
M.O. instalaciones varias		\$ 8,000,000								
AIU actividades de adecuacion		\$ 25,128,847								
GASTOS MENSUALES										
Caja menor	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000
Dotacion de obra			\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000
Papeleria	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000
Retro y Mant.			\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600
Servicios publicos			\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000
Imprevistos	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000
COSTOS INDIRECTOS										
Seguros (1.1%)		\$ 1,445,998	\$ 924,893	\$ 973,034	\$ 771,341	\$ 386,156	\$ 628,444	\$ 877,289	\$ 572,657	\$ 381,523
Gastos oficina central (0.25%)		\$ 328,636	\$ 210,203	\$ 221,144	\$ 175,305	\$ 87,763	\$ 142,828	\$ 199,384	\$ 130,149	\$ 86,710
Honorarios y reembolsables de gerencia (2%)		\$ 2,658,008	\$ 515,444	\$ 516,407	\$ 512,373	\$ 504,670	\$ 509,516	\$ 514,492	\$ 508,400	\$ 502,377
Contabilidad y control de costos (0.3%)		\$ 394,363	\$ 252,244	\$ 265,373	\$ 210,366	\$ 105,315	\$ 171,394	\$ 239,261	\$ 156,179	\$ 104,052
Total Individual	\$ 1,337,689,245	\$ 1,362,814,402	\$ 85,984,003	\$ 90,433,630	\$ 71,791,320	\$ 36,189,015	\$ 58,583,410	\$ 81,583,928	\$ 53,427,123	\$ 35,758,532
Total Acumulado	\$ 1,337,689,245	\$ 1,473,970,647	\$ 1,559,954,650	\$ 1,650,388,280	\$ 1,722,179,600	\$ 1,758,368,615	\$ 1,816,952,025	\$ 1,898,535,953	\$ 1,951,963,076	\$ 1,987,721,608

Escenario pesimista (Modelo de negocio de ventas)

DETALLE INGRESOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Material proyecto manzanas				\$ 118,467,775			\$ 194,504,478			\$ 190,323,409
Salvamento Lote										\$ 1,143,300,000
Maquinaria										\$ 195,133,621
Total Individual	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 118,467,775	\$ 0	\$ 0	\$ 194,504,478	\$ 0	\$ 0	\$ 1,528,757,030
Total Acumulado	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 118,467,775	\$ 118,467,775	\$ 118,467,775	\$ 312,972,253	\$ 312,972,253	\$ 312,972,253	\$ 1,841,729,283
DETALLE EGRESOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
COSTOS DIRECTOS										
Maquinaria de Produccion	\$ 226,329,245			\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827	\$ 7,296,827
Lote	\$ 1,110,000,000									
Material excedente			\$ 39,489,258	\$ 37,542,341	\$ 25,318,517	\$ 1,973,968	\$ 16,658,047	\$ 31,739,563	\$ 13,277,052	\$ 1,766,475
Mano de obra planta		\$ 4,450,162	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732	\$ 9,675,732
Ceramiento lamina		\$ 14,250,879								
Acometida energia		\$ 1,175,988								
Tableros energia		\$ 2,002,626								
Acometidal hidrosanitaria		\$ 1,321,791								
Iluminacion (reflector industrial)		\$ 10,489,560								
Contenedor oficina		\$ 7,360,000								
Sanitario		\$ 1,454,388								
Lavamanos		\$ 235,863								
Lavaplatos		\$ 235,930								
Nomenclatura de zonas		\$ 1,000,000								
Software		\$ 1,599,800								
Equipos tecnologicos		\$ 6,000,000								
Limpieza		\$ 555,000								
Muro mamposteria (incluye dovelas)		\$ 8,554,548								
Bloque viga		\$ 6,073,536								
Puerta metalica acceso		\$ 2,179,000								
Estructura Metalica Cubierta		\$ 944,832								
Cubierta		\$ 2,308,060								
Pavimento en Concreto MR=36		\$ 11,998,042								
Suministro y compactacion roca muerta		\$ 12,775,545								
M.O. instalaciones varias		\$ 8,000,000								
AIU actividades de adecuacion		\$ 25,128,847								
GASTOS MENSUALES										
Caja menor	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000
Dotacion de obra			\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000	\$ 75,000
Papeleria	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000	\$ 110,000
Retro y Mant.			\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600	\$ 11,736,600
Servicios publicos			\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000
Imprevistos	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000	\$ 250,000
COSTOS INDIRECTOS										
Seguros (1.1%)		\$ 1,445,998	\$ 707,702	\$ 766,552	\$ 632,089	\$ 375,299	\$ 536,824	\$ 702,721	\$ 499,633	\$ 371,807
Gastos oficina central (0.25%)		\$ 328,636	\$ 160,841	\$ 174,216	\$ 143,657	\$ 85,295	\$ 122,006	\$ 159,709	\$ 113,553	\$ 84,502
Honorarios y reembolsables de gerencia (2%)		\$ 2,658,008	\$ 511,101	\$ 512,278	\$ 509,588	\$ 504,453	\$ 507,683	\$ 511,001	\$ 506,939	\$ 502,183
Contabilidad y control de costos (0.3%)		\$ 394,363	\$ 193,010	\$ 209,060	\$ 172,388	\$ 102,354	\$ 146,407	\$ 191,651	\$ 136,264	\$ 101,402
Total Individual	\$ 1,337,689,245	\$ 136,281,402	\$ 65,909,244	\$ 71,348,605	\$ 58,920,398	\$ 35,185,529	\$ 50,115,125	\$ 65,448,804	\$ 46,677,600	\$ 34,860,527
Total Acumulado	\$ 1,337,689,245	\$ 1,473,970,647	\$ 1,539,879,891	\$ 1,611,228,496	\$ 1,670,148,895	\$ 1,705,334,424	\$ 1,755,449,549	\$ 1,820,898,353	\$ 1,867,575,953	\$ 1,902,436,480