

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE CICLO DE VIDA DEL PROCESO DE  
OBTENCIÓN DE BASE GRANULAR PARA VIAS A PARTIR DE RESIDUOS DE  
CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD's) Y A PARTIR DE AGREGADOS  
NATURALES PARA SU PRODUCCIÓN CONVENCIONAL.**

**TRABAJO DE GRADO – TESIS  
PREGRADO EN INGENIERÍA EN ENERGÍA**

**JULIANA ARGÜELLO DELGADO**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN ENERGÍA  
BUCARAMANGA**

**JUNIO 2018**



**ANÁLISIS COMPARATIVO DE CICLO DE VIDA DEL PROCESO DE  
OBTENCIÓN DE BASE GRANULAR PARA VIAS A PARTIR DE RESIDUOS DE  
CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD's) Y A PARTIR DE AGREGADOS  
NATURALES PARA SU PRODUCCIÓN CONVENCIONAL.**

Trabajo para optar por el título de  
**INGENIERA EN ENERGÍA**

Director de tesis  
**HENDERSON IVÁN QUINTERO PÉREZ**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN ENERGÍA  
BUCARAMANGA  
JUNIO 2018**



# Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN.....	5
LISTA DE TÉRMINOS Y DEFINICIONES .....	7
LISTA DE SIGLAS .....	12
1. OBJETIVO Y ALCANCE .....	13
1.1. OBJETIVO GENERAL:.....	13
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE .....	14
2.1. Pavimento.....	14
2.2. Residuos de Construcción y Demolición (RCD).....	21
.- PROCESAMIENTO.....	30
- <i>Demolición</i> .....	30
- <i>Reciclado</i> .....	31
2.3. Norma ISO 14040 .....	36
3. METODOLOGÍA .....	41
3.1. Definición del Objetivo .....	41
3.2. Definición de Alcance .....	42
3.3. Límites del sistema .....	42
3.4. Requisitos de calidad de los datos .....	43
3.5. Inventario.....	43
EVALUACION DE IMPACTOS DE CICLO DE VIDA.....	49
3.6. METODOLOGIA DE CALCULO - Método ReCiPe MIDPOINT - ENDPOINT .....	49
3.7. Diagrama Sankey.....	50
3.8. Material Fino Particular .....	51
3.9. Escasez de Recursos Fósiles .....	51
3.10. Eco toxicidad de agua fresca .....	52
3.11. Calentamiento Global .....	52
3.12. Sustancias Carcinogénicas al contacto humano .....	52
3.13. Sustancias no Carcinogénicas al contacto humano .....	53
3.14. Radiación ionizada.....	53
3.15. Uso de tierra .....	53
3.16. Eco toxicidad marina.....	53

3.17.	Formación de ozono, salud humana .....	54
3.18.	Eco toxicidad terrestre .....	54
3.19.	Consumo de agua.....	54
4.	RESULTADOS.....	55
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	63
6.	BIBLIOGRAFÍA .....	65

## INTRODUCCIÓN

Los residuos de construcción y demolición (RCD) son materiales de desecho, generados en las actividades de construcción, demolición y reforma, de edificaciones, obra civil y espacio público. Estos son considerados inertes -no peligrosos- y poseen alta susceptibilidad de ser aprovechados mediante transformación y reincorporación como materia prima de agregados en la fabricación de nuevos productos como las bases y sub-bases usadas en la construcción de vías. Este proyecto propone el análisis comparativo de ciclo de vida del proceso de obtención de una base granular para vías que incluyen a partir de componentes que provienen del aprovechamiento y reciclaje de RCD's (Residuos de Construcción y Demolición) contra el proceso de obtención a partir de agregados naturales que se realiza convencionalmente. Para el desarrollo del proyecto se contó con el respaldo del consorcio SINESCO S.A.S/CONESCO S.A.S, el cual suministró la información necesaria para construir los inventarios de ciclo de vida en la etapa de producción. Los RCD son recolectados por la empresa SINESCO S.A.S y posteriormente almacenados y gestionados teniendo en cuenta que se realizará el reciclaje y aprovechamiento de una parte de ellos, cerrando el ciclo sostenible de los materiales para construcción mediante la empresa CONESCO S.A.S, prolongando la vida útil del material inicialmente depositado convirtiéndolo en agregados de tamaño granular adecuado para ser usado en bases granulares para vías entre otros productos.

Este estudio planteó un análisis de ciclo de vida comparativo estableciendo un caso base en donde se produce una BGPV (Base granular para vías) conformada 100% de agregados naturales (Arena Gruesa, Lodo, Grava 1" NTC – 57, Grava ¾" NTC – 17-6, Grava 3/8" NTC – 8, Arenas /16 SECO y Arena Fina) sin incorporación de RCD's reciclados el cual fue comparado con el ACV de la producción de agregados para conformar BGPV a partir de RCD realizado por la empresa CONESCO S.A.

Se realizaron las correspondientes caracterizaciones del proceso de tal manera que se evaluó el impacto ambiental generado por los procesos de producción y materias primas anteriormente mencionadas, es decir, material reciclado proveniente de RCD y materiales primarios con contenido 100% extraído directamente de la naturaleza de forma convencional.

Teniendo en cuenta la nueva Resolución 0472 de Febrero 28 de 2017 que entra en vigor para las nuevas construcciones y proyectos de infraestructura a realizar a partir del año 2018, aplicando a todas las personas naturales y jurídicas, en función de generar, recolectar, transportar, almacenar, aprovechar y disponer de los RCD, en todo el territorio nacional; buscando garantizar un incremento del 2% anual en peso de carga neta total, para en el año 2032 obtener un mínimo de 30% de materiales reciclados usados en los proyectos y obras.

Los escenarios planteados se evaluaron con el objetivo de generar perfiles de impacto ambiental que sirvan como instrumento de decisión para aquellas personas, compañías y constructoras interesadas en la innovación de construcción sostenible con materiales reciclables; además de ello se pretende demostrar el por qué el uso de dichos materiales provenientes de RCD's es ambientalmente eficiente, teniendo en cuenta el costo, su tiempo de vida útil y el impacto ambiental que se genera en su proceso de obtención y producción; todo esto se realizó con la ayuda del software "SIMAPRO versión 8.4.0" el cual se usó para el tratamiento de los datos inventariados y suministrados previamente por el consorcio SINESCO S.A.S/ CONESCO S.A.S.

## LISTA DE TÉRMINOS Y DEFINICIONES

■ **Acidificación terrestre:** Fenómeno correspondiente a un aumento de la concentración de protones ( $H^+$ ) en el agua, causando una disminución de pH. Estos protones suplementarios son provenientes esencialmente del ácido nítrico ( $HNO_3$ ) o ácido sulfúrico  $H_2SO_4$ , derivados de gas tales como  $NO_x$  y  $SO_2$ . La acidificación de aguas también implica una disolución de ciertos metales tóxicos como el aluminio.

■ **ACV (Análisis de Ciclo de Vida):** El análisis de ciclo de vida evalúa el impacto ambiental de un producto, de un sistema o de un servicio en relación a una función en particular, donde todas las etapas son consideradas parte del ciclo de vida. Permite identificar los puntos en que un producto puede mejorar contribuyendo a un desarrollo novedoso de los productos. Esta herramienta esta herramienta permite comparar los cargos ambientales de diferentes productos, procesos o sistemas entre ellos, así como las diferentes etapas del ciclo de vida de un mismo producto.

■ **Aprovechamiento:** Uso útil de algo, obteniendo todo lo posible de su rendimiento.

■ **BGPV (Base Granular para Vías):** Es la capa que se encuentra bajo la capa de rodadura de un pavimento asfáltico y la Sub Base. Debido a su proximidad con la superficie, posee alta resistencia a la deformación, para soportar las altas presiones que recibe. Se construye con materiales granulares procesados o estabilizados y, eventualmente, con algunos materiales marginales. Se utiliza para la conformación de las estructuras de pavimentos.

■ **Cambio climático:** Modificación del equilibrio climático, apareciendo de tal forma el fenómeno natural de efecto invernadero; esto se debe al aumento antropogénico de ciertos gases que van directo a la atmósfera.

■ **Cerámicos:** es aquel constituido por sólidos inorgánicos metálicos o no metálicos que ha sido fabricado mediante tratamiento térmico.

■ **Ciclo de Vida:** aparición, desarrollo y finalización de la funcionalidad de un determinado elemento.

■ **Construcción:** Es el arte o técnica de fabricar edificios e infraestructuras. En un sentido más amplio, se denomina construcción a todo aquello que exige, antes de hacerse, disponer de un proyecto y una planificación predeterminada.

■ **Co-Producto:** Producto secundario generado desde el mismo proceso de producción además del producto principal. Este producto tiene un valor en el mercado, pero no corresponde a la función estudiada o se usa fuera del sistema estudiado.

■ **Demolición:** La demolición es lo contrario de construcción: el derribe de edificios y otras estructuras.

■ **Desmantelamiento:** en su diccionario alude a la destrucción de las fortificaciones existentes en torno a una plaza.

■ **Eficiencia ecológica:** Relación entre la reducción del impacto ambiental y el aumento de ganancias.

■ **Energía final:** Energía disponible para usar al final del proceso.

■ **Energía primaria no renovable:** energía contenida en los vectores energéticos y su extracción en el ambiente que no puede ser reemplazada o se reemplaza lentamente por procesos naturales.

■ **Energía útil:** Energía efectiva utilizada para el consumo, teniendo en cuenta su eficiencia energética.

■ **Entrada (Input):** Flujo de entrada de energía al sistema.

■ **Etapa de ciclo de vida:** Uno de los pasos siguientes: extracción y preparación de las materias primas y de la energía, infraestructura de entrada, transporte, fabricación, utilización y mantenimiento de los productos, tratamiento y posterior valorización de los desechos.

■ **Gases de Efecto Invernadero:** compuestos químicos en estado gaseoso que se acumulan en la atmósfera de la Tierra y que son capaces de absorber la radiación infrarroja del Sol, aumentando y reteniendo el calor allí mismo, en la atmósfera.

■ **Gestión ambiental:** proceso que está orientado a resolver, mitigar y/o prevenir los problemas de carácter ambiental, con el propósito de lograr un desarrollo sostenible, entendido éste como aquel que le permite al hombre el desenvolvimiento de sus potencialidades y su patrimonio biofísico y cultural y, garantizando su permanencia en el tiempo y en el espacio.

■ **Hormigón:** Es un material compuesto empleado en construcción, formado esencialmente por un aglomerante al que se añade áridos (agregado), agua y aditivos específicos.

■ **Huella de Carbono:** A huella de carbono es un indicador que mide el impacto sobre el calentamiento global. Este indicador ambiental es la suma absoluta de todas las emisiones de GEI causadas directa o indirectamente por un individuo, organización, evento o producto.

■ **Impacto Ambiental:** El concepto de Impacto Ambiental refiere al efecto que produce una determinada acción humana sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos, en términos más técnicos, podríamos decir que el impacto ambiental es aquella alteración de la línea de base como consecuencia de la acción antrópica o de eventos de tipo natural.

■ **Inventario de Ciclo de Vida:** Cuantifica los consumos de materias primas y energía junto con todos los residuos sólidos, emisiones a la atmósfera y vertidos al agua (las cargas medioambientales) derivados de todos los procesos que están dentro de los límites del sistema.

■ **Obra Civil:** El concepto de obra civil se utiliza para designar a aquellas obras que son el resultado de la ingeniería civil y que son desarrolladas para beneficio de la población de una nación porque algunos de los objetivos de las mismas son la organización territorial y el aprovechamiento al máximo del territorio.

■ **Pavimento:** En arquitectura, es la base horizontal de una determinada construcción (o las diferentes bases de cada nivel de un edificio) que sirve de apoyo a las personas, animales o cualquier pieza de mobiliario. Un pavimento puede tener diversos tipos de revestimiento (madera, cerámica, etc.). También se denomina pavimento a los conectores de vías de comunicación con asfaltos combinados naturales.

■ **Pétreos:** Está constituido o recubierto por rocas o piedras.

■ **Simapro:** Es una herramienta para realizar estudios de Análisis del Ciclo de Vida (ACV), que permite realizar Estudios de: Huella de Carbono, Huella de Agua y Huella Hídrica, Declaración Ambiental de Producto, Huella Ambiental de la Unión Europea, Ecodiseño, etc.

■ **Software:** Al soporte lógico de un sistema informático, que comprende el conjunto de los componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas.

## LISTA DE SIGLAS

- ACV – Análisis de Ciclo de Vida
- BGPV – Base granular para vías
- CB – Bloque de Concreto
- CH<sub>4</sub> – Metano
- CO – Óxido de Carbono
- CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono
- E – Energía
- ECO-T – Eco toxicidad terrestre
- EIA – Estudio de Impacto Ambiental
- ERF – Escasez de Recursos Fósiles
- ERM – Escasez de Recursos Minerales
- ISO – International Organization for Standardization
- NH<sub>3</sub> – Óxido de Nitrato
- NO<sub>x</sub> – Óxido de nitrógeno
- SO<sub>2</sub> – Dióxido de Azufre
- SO<sub>x</sub> – Óxido de Azufre
- RCD – Residuos de Construcción y Demolición

## **1. OBJETIVO Y ALCANCE**

Se espera que los resultados de esta tesis reflejen los perfiles de comportamiento ambientales de los procesos de producción de BGPV comparados y se conviertan en un instrumento de soporte y decisión para las empresas del sector de aprovechamiento de RCD's.

### **a) OBJETIVO GENERAL:**

Analizar y comparar el proceso de producción de BGPV con incorporación de componentes provenientes del aprovechamiento de los RCD y con agregados naturales provenientes de extracción convencional y obtener los perfiles de impacto ambiental en diferentes categorías, estableciendo la mejor opción ambiental al momento de realizar un nuevo proyecto vial.

### **b) OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Generar y analizar el perfil de impactos ambientales del proceso de producción convencional de la base granular para vías de acuerdo a la normatividad del INVIAS Artículo 330-07.
- Generar y analizar el proceso de producción de base granular para vías a partir del aprovechamiento del concreto reducido como residuo de construcción y demolición (RCD).
- Analizar y comparar la producción de la base granular para vías convencional y a partir del aprovechamiento de RCD.
- Generar y comparar los perfiles de impacto ambiental a través de la metodología ReCIPE en el software SIMAPRO 8.4.0 para los dos procesos de generación de base granular para vías.

## 2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

### a) *Pavimento*

#### **Pavimento y sus componentes.**

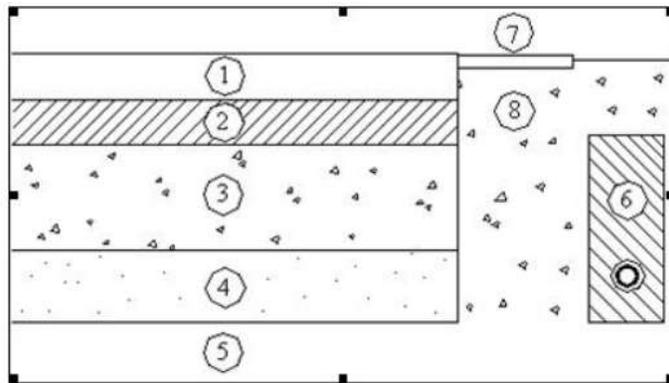
El pavimento suele describirse como un conjunto de capas de materiales acomodados, que se comprende desde el nivel superficial de la terracería y la zona de rodamiento, cuyo principal objetivo es cumplir con una superficie uniforme para rodamiento, con color y textura apropiados para realizar dichas acciones, resistente a la demanda transitoria necesaria, a condiciones ambientales extremas, como también transmitir los esfuerzos ejercidos a la zona de rodamiento, de modo que esta no sufra deformaciones. <sup>[1]</sup>

Normalmente la clasificación de los pavimentos se compone de dos categorías, los pavimentos rígidos y los pavimentos flexibles.

Los pavimentos flexibles se distinguen por tener una superficie de desgaste delgada, construida sobre capas, donde los principales componentes estructurales son la base, sub-base, y superficie de desgaste. Mientras que los pavimentos rígidos consisten en una losa de concreto hidráulico.

#### **Elementos que componen el pavimento**

Los componentes principales de un pavimento. Se puede considerar que la estructura de un pavimento está formada por una superestructura encima de una fundación, esta última debe ser el resultado de un estudio geotécnico adecuado. En los pavimentos camineros, la superestructura está constituida por la capa de revestimiento y la capa base; la fundación está formada por las capas de sub-base y suelo compactado. <sup>[2]</sup>



**Imagen 1. Sección típica de un pavimento**

Fuente Norma INVIAS Artículo 330.7

En donde están definidos de la siguiente manera:

- |                       |                               |
|-----------------------|-------------------------------|
| 1. Capa de rodadura   | 5. Subrasante                 |
| 2. Capa base granular | 6. Sub-drenaje longitudinal   |
| 3. Capa sub-base      | 7. Revestimiento de hombreras |
| 4. Suelo compactado   | 8. Sub-base de hombreras      |

La capa de rodadura o revestimiento asfáltico tiene las siguientes funciones:

- Impermeabilizar el pavimento, para que las capas subyacentes puedan mantener su capacidad de soporte.
- Proveer una superficie resistente al deslizamiento, incluso en una pista húmeda.
- Reducir las tensiones verticales que la carga por eje ejerce sobre la capa base, para poder controlar la acumulación de deformaciones plásticas en dicha capa.

La capa base tiene las siguientes funciones:

- Reducir las tensiones verticales que las cargas por eje ejercen sobre las capas sub-base y suelo natural.
- Reducir las deformaciones de tracción que las cargas por eje ejercen a la capa de revestimiento asfáltico.

- Permitir el drenaje del agua que se infiltra en el pavimento, a través de drenajes laterales longitudinales.

La capa sub-base está constituida por un material de capacidad de soporte superior a la del suelo compactado y se utiliza para permitir la reducción del espesor de la capa base.

La capa de suelo reforzado, puede estar presente en una estructura de pavimento, para poder reducir el espesor de la capa sub-base.

### ***Base granular para vías- BGPV***

La base granular es una capa de material selecto y procesado que se coloca entre la parte superior de una sub-base y la capa de rodadura. Esta capa puede ser también de mezcla asfáltica o con tratamientos según diseños. La base es parte de la estructura de un pavimento. La colocación de esta capa parte en colocar, extender, batir y compactar las capas de materiales compuestos por grava o piedra fracturada, sobre la sub-base debidamente preparada, en conformidad con los alineamientos, niveles y secciones transversales típicas indicadas en los planos. <sup>[3]</sup>

### ***Análisis granulométrico en base a INV E-123-07 – NORMA TÉCNICA DEL INSITUTO NACIONAL DE VÍAS – INVIAS***

Los agregados para la construcción de la base granular deberán satisfacer los requisitos indicados en el numeral 330.2 del Artículo 300 para dichos materiales. Además, se deberán ajustar a alguna de las franjas granulométricas que se indican en la siguiente tabla (Tabla 1). Los documentos del proyecto indicarán la franja por utilizar.

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA	
NORMAL	ALTERNO	BG-1	BG-2
37.5 mm	1 1/2"	100	-
25.0 mm	1	70   100	100
19.0 mm	3/4"	60   90	70 100
9.5 mm	3/8"	45   75	50 80
4.75 mm	No. 4	30   60	35 65
2.0 mm	No. 10	20   45	20 45
425 um	No. 40	10   30	10 30
75 um	No. 200	5   15	5'15

**Tabla 1 Franjas Granulométricas del material de Base Granular**

**Fuente Artículo 330.7 INVÍAS**

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el Constructor deberá dar lugar a una curva granulométrica uniforme y sensiblemente paralela a los límites de la franja, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior de un tamiz adyacente y viceversa. Dentro de la franja elegida, el Constructor propondrá al Interventor una "Fórmula de Trabajo" a la cual se deberá ajustar durante la construcción de la capa, con las tolerancias que se indican en la Tabla 2, pero sin permitir que la curva se salga de la franja adoptada.

TAMIZ	TOLERANCIA EN PUNTOS DE PORCENTAJE SOBRE EL PESO SECO DE LOS AGREGADOS
% pasa tamiz de 9.5 m.m (3/8") y mayores	(+ - ) 7%
% pasa tamices de 4.75 mm (N°4) a 425 um (N°40)	(+ - ) 6%
% pasa tamiz 75 um (No. 200)	(+ - ) 3%

**Tabla 2 Tolerancias Granulométricas**

**Fuente Artículo 330.7 INVÍAS**

Además, la relación entre el porcentaje que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200) y el porcentaje que pasa el tamiz de 425 µm (No. 40), no deberá exceder de 2/3 y el tamaño máximo nominal no deberá exceder de 1/3 del espesor de la capa compactada. [4]

## **Base granular a partir de RCD**

Con el fin de tener opciones viables para la utilización de RCD en obras de ingeniería, en el mundo se ha estudiado la posibilidad de utilizar estos residuos como parte de las múltiples capas que componen un pavimento, más específicamente como bases y subbases (*Cement Concrete & Agregates Australia, 2008*).

La utilización de materiales RCD reciclados como bases y sub-bases para pavimentos depende directamente de características del material puesto a prueba como granulometría, peso unitario, resistencia al corte no drenado, California Bearing Ratio (CBR), durabilidad por resistencia a ataques por sustancias químicas, módulo de elasticidad y número de golpes del ensayo de penetración dinámico de cono entre otros (*Aiassa & Arrúa, 2007*). Aunque internacionalmente no se han puesto a prueba todas estas características, en varios estudios realizados por (*Barbudo, Agrela, Ayuso, Jiménez, & Poon, 2011*) (*Poon & Chan, Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base, 2006*) (*Leite, Motta, Vasconcelos, & Bernucci, 2010*) para determinar la aplicabilidad de los RCD para este tipo de aplicación, se han encontrado resultados satisfactorios para la implementación de estos materiales reciclados de RCD en bases y sub-bases para pavimentos basándose en características como la granulometría, la durabilidad por ataque de sulfatos, el California Bearing Ratio (CBR), el peso específico y la humedad óptima de compactación.

De acuerdo a los estudios realizados por los autores previamente citados, los desempeños y recomendaciones para la utilización de materiales como concreto, ladrillos y materiales cerámicos triturados como bases y sub-bases varían significativamente según los materiales que se decida incorporar, y la variación de los porcentajes de estos en la mezcla (*Poon & Chan, Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base, 2006*). Se han realizado muchos tipos de mezcla en los que se varía el porcentaje de agregados reciclados gruesos reciclados de concreto y de ladrillo al igual que el porcentaje de los agregados finos reciclados tanto de concreto como de ladrillos y

otros materiales cerámicos. De acuerdo con esto se han encontrado los siguientes comportamientos:

- Inicialmente se establece que las diferentes propiedades mecánicas a considerar dependen directamente de propiedades físicas como el peso específico, la tasa de absorción y la resistencia de los agregados que componen la mezcla ya sean naturales o reciclados (*Leite, Motta, Vasconcelos, & Bernucci, 2010*). Como se ha establecido anteriormente para los agregados reciclados de concreto y de ladrillos de arcilla, en general son materiales porosos, con pesos específicos bajos y tasas de absorción altas debido al contenido de mortero que permanece en las partículas de agregado después del proceso de trituración al que son sometidos por lo tanto se asumen resultados técnicamente inferiores pero igualmente aplicables.

- En orden para determinar la compactación óptima de bases y sub-bases, se determina la relación entre la humedad óptima y la densidad seca del material, se ha establecido que esta relación es afectada críticamente por el porcentaje de agregados reciclados de ladrillo y materiales cerámicos que se incluyan en la mezcla (*Barbudo, Agrela, Ayuso, Jiménez, & Poon, 2011*). Por lo tanto entre más sea el porcentaje tanto de agregados gruesos como finos reciclados de ladrillo y materiales cerámicos que se incluyan, la humedad óptima puede aumentarse hasta en un 200% para sustituciones del 50% de este tipo de agregados y la densidad seca puede bajar hasta un 19%. Lo anterior debido al bajo peso específico y las tasas de absorción tan altas que poseen este tipo de agregados reciclados (*Poon & Chan, Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base, 2006*). Cabe agregar que esta relación en porcentajes altos de inclusión de agregados reciclados de ladrillo y materiales cerámicos genera una curva más abierta que hace que la mezcla sea menos susceptible a la exactitud de la humedad óptima para lograr un buen grado de compactación.

- En cuanto al California Bearing Ratio (CBR), se encontró que un agregado natural de excelente calidad logra porcentajes de hasta el 80%, muy superiores a las requeridas por especificaciones nacionales como la INVIAS-300-07 e internacionales como la ASTM D1883, para bases y sub-bases, pero a medida que se va incorporando diferentes agregados reciclados, este puede bajar hasta un CBR

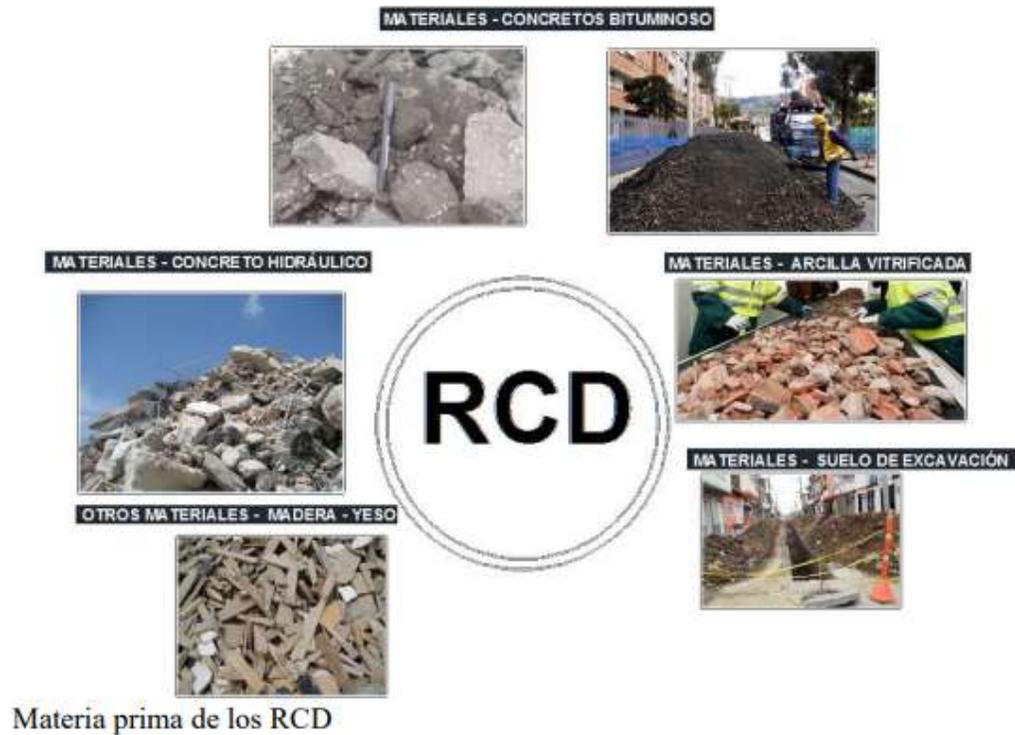
del 35% para diferentes combinaciones de agregados reciclados (*Barbudo, Agrela, Ayuso, Jiménez, & Poon, 2011*). Nuevamente la disminución en este resultado se atribuye a la porosidad y tasa de absorción de los agregados reciclados y el mortero presente en ellos, haciéndose más crítico en los agregados reciclados de ladrillo y materiales cerámicos (*Poon & Chan, Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base, 2006*).

- En cuanto a propiedades relacionadas con durabilidad como la resistencia a ataques de sulfatos de sodio, se ha establecido que los agregados reciclados de concreto son 90% más susceptibles a deterioro en presencia de esta sustancia, mientras que los agregados reciclados de ladrillo y cerámicos se deterioran un 70% en mezclas 50-50 con agregados reciclados de concreto ya que el solo ladrillo o material cerámico se deteriora un 100% en presencia de esta sustancia química (*Poon & Chan, Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base, 2006*).

De lo anterior se concluye que se tiene un gran porcentaje de factibilidad para aprovechar estos materiales RCD en bases y sub-bases granulares como medio de disminución de residuos que se llevan a escombreras y rellenos. Solo se deben ajustar los porcentajes adecuados de agregado reciclado para obtener los resultados deseados. Incluso los finos reciclados de RCD que poseen altas restricciones en otras aplicaciones, son aprovechables no solo como parte de las mezclas para bases y subbases, sino que también han sido utilizados exitosamente como estabilizantes de suelos arcillosos por autores como (*Cement Concrete & Agregates Australia, 2008*) 65 | (*Poon & Chan, Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base, 2006*).<sup>[5]</sup>

## **b) Residuos de Construcción y Demolición (RCD)**

**¿Qué son?**



**Imagen 2. Materiales de los RCD**

Fuente <http://www.icce.es/icce/articulo29.htm>.

Los residuos de construcción y demolición (RCD) son cualquier sustancia u objeto generado en una obra de construcción o demolición y que su poseedor desee o tenga la intención o la obligación de desechar. La mayoría son considerados inertes, o no peligrosos, compuestos principalmente por hormigón, cerámicos, pétreos, asfalto y en algunos casos tierras de excavación. Estos pueden tener un mayor o menor grado de impurezas como yesos, maderas, papel y cartón, plásticos, vidrios y otros. También forman parte de los RCD los restos de obra, los envases y

embalajes de los materiales de construcción empleados, residuos asimilables a urbanos, los elementos desmantelados de la obra (puertas, ventanas, perfiles metálicos, instalaciones), incluso algunos residuos peligrosos. <sup>[6]</sup>

Aunque se generaliza el concepto de los residuos de construcción y demolición, se hace aclaración que abarca diferentes actividades entre estas de construcción, reparación, reforma o demolición de un bien inmueble clasificándose de forma extensa ya sea edificio, carretera, puerto, aeropuerto, ferrocarril, canal, presa, instalación deportiva o de ocio, u otro análogo de la ingeniería civil.

Según estudios realizados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en el 2011 se produjeron en las ciudades de Bogotá, Medellín, Santiago de Cali, Manizales, Cartagena, Pereira, Ibagué, Pasto, Barranquilla, Neiva, Valledupar y San Andrés 22.270.338 toneladas de Residuos de Construcción y Demolición - RCD.

La Resolución 0472 del 28 de febrero de 2017 aplica a todas las personas naturales y jurídicas que generen, recolecten, transporten, almacenen, aprovechen y dispongan RCD de las obras civiles o de otras actividades conexas en el territorio nacional.

“Adicionalmente, esta norma brinda lineamientos para el aprovechamiento y disposición final de los RCD, mediante la implementación de instrumentos y reglas para las instalaciones de gestión de RCD 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 de RCD”, explicó el jefe de la cartera ambiental, Luis Gilberto Murillo.

La norma establece un instrumento denominado Programa de manejo ambiental de RCD para seguimiento al cumplimiento por parte de las autoridades ambientales, el cual instaura obligaciones específicas para el gran generador de estos residuos que contempla acciones orientadas a la prevención de la generación de RCD, el aprovechamiento y disposición final,

Otro de los avances de la Resolución, es el establecimiento de metas de incorporación de RCD aprovechables en las obras ejecutadas por los grandes generadores de RCD. 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 aprovechables de construcción y demolición utilicen un porcentaje no inferior al 2% del peso total de los materiales usados en una obra.

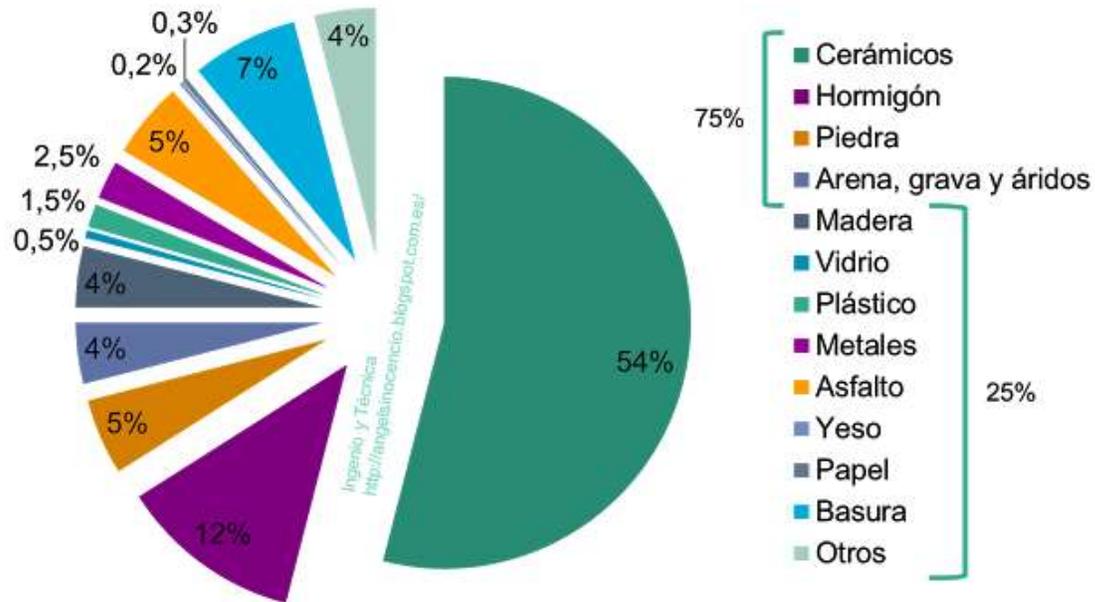
Con el instrumento se busca garantizar un incremento anual del 2% en peso, hasta alcanzar como mínimo un 30% de materiales aprovechables. Los municipios de categoría especial, 1, 2, y 3 así como los proyectos, obras o actividades generadoras de RCD sujetos a licenciamiento ambiental, deberán dar cumplimiento a las metas a partir del 1 de enero de 2018.

En Colombia, la industria de la construcción consume el 40% de la energía, genera el 30% del CO<sub>2</sub> y el 40% de los residuos. Consume el 60% de los materiales extraídos de la tierra. Adicionalmente, en la construcción se desperdicia el 20% de todos los materiales empleados en la obra.

Con esta resolución se hace posible disminuir la demanda de materias primas, además fomentar la generación de empresas gestoras de materiales de construcción y demolición. “Con lo cual nos permite avanzar en nuestras metas de desarrollo sostenible, así como consolidar una alternativa productiva para nuestras comunidades en un escenario de paz”, concluyó el Ministro Murillo. <sup>[7]</sup>

Así como anteriormente se ha mencionado un poco acerca de la normatividad nacional y local que rigen a los RCD's, además se habla de la composición general del volumen total de los Residuos de Construcción y Demolición donde se clasifican en dos grandes grupos; escombros, que suponen el 75% en peso de los RCD y envases y otros, con el 25% restante. Su composición en peso sería la siguiente:

### Composición de los RCD (% en peso)



**Imagen 3. Composición de los RCD**

Fuente *Ingenio y Técnica*

<http://angelsinocencio.blogspot.com.es/>

Se tiene en cuenta que dicha composición de los RCD es general, podría tener diferentes variantes según la actividad realizada al momento de recolectarlos ya sea proveniente de una demolición, obra nueva o rehabilitación; como podemos observar en la siguiente imagen:

## Composición de RCD por actividades

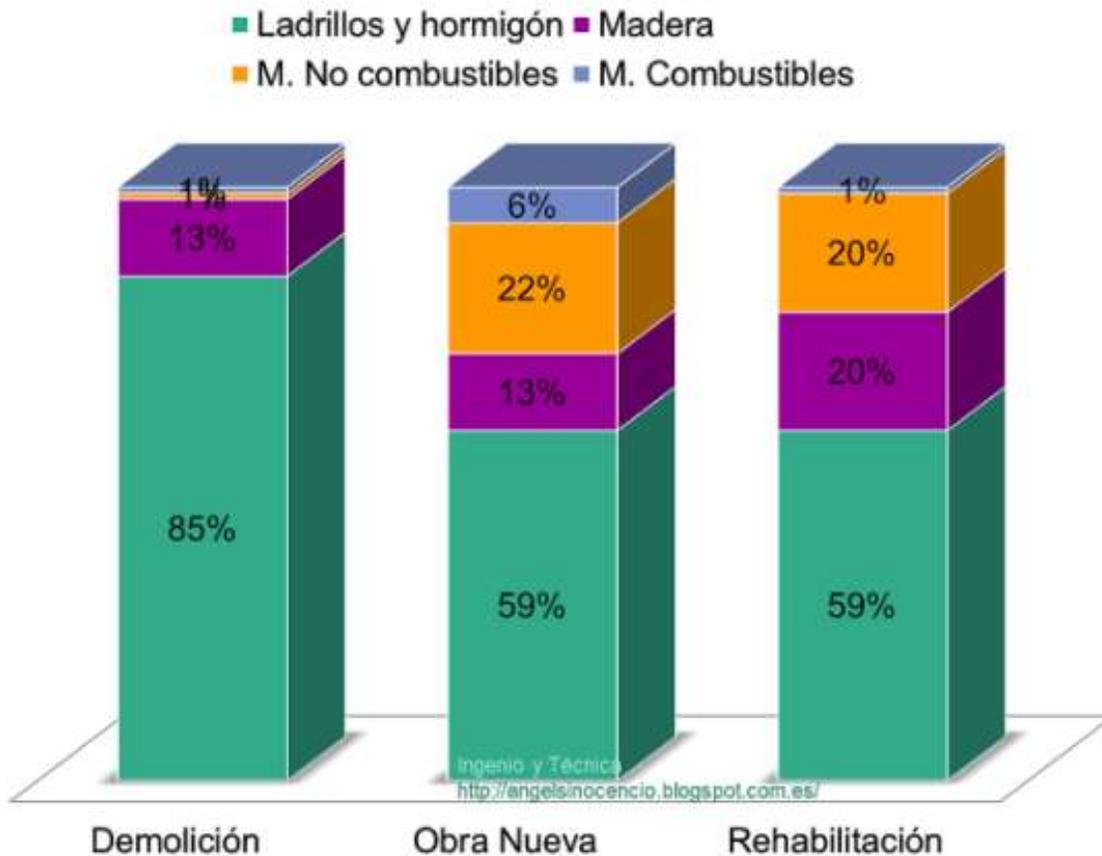


Imagen 4. Composición de RCD por actividades

Fuente *Ingenio y Técnica*

<http://angelsinocencio.blogspot.com.es/>

La empresa CONESCO S.A.S se convierte en un aliado esencial brindando la información de forma precisa para poder realizar con mayor veracidad el análisis de ciclo de vida desde la recolección de los residuos de construcción y demolición hasta la disposición final en escombrera o en el nuevo uso que se le puede dar a dichos residuos como es en la producción de Base Granular para Vías.

CONESCO S.A.S es una empresa innovadora de soluciones ambientales que produce agregados pétreos y materias primas a partir del aprovechamiento integral de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) garantizando el ciclo sostenible de los materiales de construcción, mitigando el impacto ambiental asociado a la

explotación para extracción de materias primas y el que se produce con la disposición final de RCD.

CONESCO S.A.S se encarga de realizar una clasificación de tres (3) formas diferentes, la actividad desarrollada y el contenido de RCD, RCD susceptibles de aprovechamiento y los NO susceptibles de aprovechamiento; a continuación se observa detalladamente dicha clasificación.

Las propiedades de los residuos de construcción y demolición varían notablemente en función de origen y composición, en nuestro caso nos adentramos a especificar y clarificar lo que CONESCO S.A se encarga de recoger en el Valle de Aburrá.

Es conveniente diferenciar entre los materiales que tienen en su origen la construcción y demolición de edificación y estructuras, de los que proceden de capas de firmes, normalmente se encuentra la mayor parte del recibimiento de RCD'S por parte de las edificaciones, en este caso composición una amplia variedad de residuos, algunos incluso peligrosos, que pueden contaminar otros valorizables y que en cualquier caso deben separarse, preferiblemente en la propia obra; dado el caso que se necesita informar a las personas encargadas del desmantelamiento y la demolición, CONESCO S.A con ayuda del consorcio SINESCO S.A se encarga de la capacitación del personal al momento de decidir cuales residuos podrían ir o no a escombrera y cuales a tratamiento de residuos. Los segundos provenientes de las estructuras, suelen presentar una mayor homogeneidad, menor presencia de posibles productos contaminantes especificados en la parte de edificación que es donde principalmente nos enfocamos.

## Propiedades físicas de los residuos provenientes de edificaciones

El tamaño de los escombros es muy heterogéneo depende del tipo de técnica de demolición utilizada.

Estos residuos pueden tener impurezas y contaminantes como metales, vidrio, betún, materia orgánica y eso.

Aquí identificamos como lo tiene clasificado CONESCO S.A de acuerdo a la caracterización y proveniencia:

### **a. Construcción**

Concreto	Cerámica	Drywall
Ladrillo	Tierra,	Aislantes
Metales	agregados	Vidrio
Plástico	Mortero seco	
Cartón	PVC	

### **b. Remodelación**

Concreto	Plástico	Mortero Seco
Ladrillo	Cartón	Drywall
Metales	Cerámica	Vidrio

### **c. Demoliciones**

Concreto  
Ladrillo  
Metales  
Plástico  
Cartón  
Cerámica  
Mortero Seco  
Drywall  
PVC

**d. Obras Viales**

Concreto

Asfalto

Metales

Materia orgánica

Plástico

**RCD susceptible de Aprovechamiento**

**a. TIPO 1.1 PÉTREOS**

Hormigón

Arenas

Gravas

Gravillas

Ladrillos

Cerámicas

Morteros

Concretos

**b. TIPO 1.2 NO PÉTREOS**

Vidrio

Acero

Hierro

Madera

Plástico

Metal

Cartón

**c. TIPO 1.3 SOBRENTE DE  
EXCAVACIÓN**

Tierra

Materiales Pétreos NO

CONTAMINADOS

**d. TIPO 1. 4 MATERIALES  
CIMENTACIÓN**

Arcilla

Bentonita

## **RCD NO susceptible de Aprovechamiento**

- a. TIPO 2.1. RCD contaminado con residuos peligrosos**
- b. TIPO 2.3 Residuos Peligrosos**
- c. TIPO 2.2 Los que por su estado no pueden ser aprovechados tales como: Asbesto, Cemento, Electrónicos, Biosanitarios.**

## **Propiedades químicas**

La composición química de los **escombros de hormigón** depende de la composición del árido utilizado en su producción, puesto que más del 75% total del hormigón lo constituye el árido (visto en la torta de clasificación de los RCD), siendo el resto de los componentes de hidratación del cemento, silicatos y aluminatos cálcicos hidratados o hidróxidos cálcicos. En función del árido utilizado (Calizo o silíceo) se pueden distinguir las siguientes composiciones químicas.

<b>Compuestos</b>	<b>Escombros silíceo (%)</b>	<b>Escombros calizo (%)</b>
SiO <sub>2</sub>	45-60	4-5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15-20	1-2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2-5	1-2
CaO	5-7	52-54
MgO	0,5-1,5	0,2-0,8

**Tabla 3 Composición química de los escombros de hormigón**

La composición química de los **escombros mayoritariamente cerámicos** es muy heterogénea, dependiendo sus propiedades del componente principal. Como datos orientativos se pueden tomar los que figuran en la siguiente tabla. <sup>[8]</sup>

	<b>Escombros cerámicos</b>
SiO <sub>2</sub>	40-50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6-8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2-4
CaO	20-28
MgO	0-1

**Tabla 4. Composición química de los escombros cerámicos**

## **- PROCESAMIENTO**

Hay que diferenciar dos fases en el procesamiento de los RCD's: la demolición y el reciclado de los materiales.

### **- Demolición**

Si los escombros van a ser reciclados, conviene utilizar métodos de demolición que reduzcan in situ los escombros a tamaños que puedan ser tratados por el triturador primario de la planta de reciclaje (menores de 1200 mm en plantas fijas y de 400-700 mm para plantas móviles). La planta que en CONESCO S.A se encarga de realizar el proceso de demolición es una Planta Fija, además de ello se realiza durante los procesos 1 a 6 que más adelante en la explicación de fases de proceso se aclarará en un diagrama de bloques cada uno de que consta. Asimismo, se tiene en cuenta el procesos de demolición selectiva son fundamentales para disminuir la presencia de impurezas en los escombros que se realiza antes de llegar a planta y el personal encargado es el cliente que entrega la materia prima limpia; si en este caso no viene de dicho modo CONESCO S.A se encarga de la separación con costos extras.

## - **Reciclado**

En este tipo de planta CONESCO S.A cumple un papel fundamental en la obtención de los RCD.

### *Plantas de valorización:*

Son instalaciones de tratamiento de los residuos de construcción y demolición en las que se depositan, seleccionan, clasifican y valorizan las diferentes fracciones que contienen estos residuos, con el objetivo de obtener productos finales aptos para su utilización; en este caso la valorización que le dan al residuo es la BGPV.

La planta de tratamiento debe asegurar unas máximas distancias de transporte, es decir, situarse lo más cerca posible del centro de la ciudad como en este caso está en una zona central del valle de Aburrá (Bello, Antioquia) con distancia promedio de 12kms donde se originan la mayoría de los residuos de la construcción y donde se da una más amplia demanda de los áridos reciclados.

CONESCO S.A pertenece a la clasificación de PLANTA FIJA, teniendo en cuenta que son instalaciones de reciclaje ubicadas en locaciones fijas, con autorización de las autoridades ambientales y administrativas para el proceso y tratamiento de RCD, cuya maquinaria de reciclaje (fundamentalmente los equipos de trituración) son fijos y no operan fuera del emplazamiento donde están ubicados. Se montan de una forma permanente y proporcionan la mayor gama de capacidad. La capacidad de procesamiento de la planta de CONESCO S.A es de 192 m<sup>3</sup> por hora un total de 5000 m<sup>3</sup> mensuales del cual su totalidad de producción es vendida a entidades solicitantes de BGPV.

### ***Características del Bloque de concreto reciclado procedente de hormigón***

El árido reciclado procedente del hormigón original tras el proceso de trituración, es una mezcla de árido grueso ( $\geq 4$  mm) y árido fino ( $< 4$  mm). El porcentaje de árido grueso que se obtiene varía del 70% al 90% de la masa total del hormigón original. Teniendo en

cuenta que del bloque de concreto que se recibe el 30% es directamente enviado a la escombrera del cual el 70% aprovechable se destina el 79% a BGPV y el 21% a escombrera o a áridos con partículas más finas que no cumplen con la norma INVIAS ART 330-07 en su estudio granulométrico como a continuación observamos:

La fracción gruesa posee una distribución granulométrica adecuada para casi todas las aplicaciones de material granular en construcciones, incluso en la producción de un nuevo hormigón, aunque suelen presentar un mayor porcentaje de desclasificados inferiores. <sup>[9]</sup>

### *Propiedades químicas*

La caracterización química de los áridos reciclados de hormigón es similar a la del residuo del que proceden (BLOQUE DE CONCRETO). Una parte de los componentes de hidratación del cemento quedan adheridos a las partículas, y se acumulan especialmente en el caso de las más finas.

Entre los principales posibles contaminantes en los áridos reciclados se pueden considerar: las arcillas y suelos en general; el betún, los polímeros y los filleres expansivos procedentes de los sellados de juntas, el yeso, los ladrillos, materiales orgánicos, metales, vidrio, áridos ligeros, partículas de hormigón dañadas en un incendio, diversas sustancias reactivas y hormigón de cemento aluminoso.

La presencia de estos contaminantes en los áridos reciclados debe evaluarse y limitarse para controlar los efectos sobre el nuevo hormigón o producto a que vayan a ser destinados.

Luego de haber analizado las propiedades de la base granular para vías se explica a continuación lo que es un estudio de granulometría, es uno de los primeros aspectos en abordarse fue el de determinar la distribución de tamaños, mediante el ensayo de análisis granulométrico, evaluar esta propiedad del material granular es de gran importancia, porque se podrán tomar medidas en caso de que no se cumpla con dicho parámetro antes de definir la fórmula de trabajo Marshall.

### **Requisitos generales de caracterización**

Las franjas de valores recomendados (porcentaje que pasa), para una mezcla de gradación continúa MCD-19 y un nivel de tránsito NT3<sup>[10]</sup>, fueron consultados de la tabla 4 del artículo 450-13 del instituto Nacional de Vías INVIAS. Con dichos valores se comparó los resultados de los ensayos aplicados al material RCD.

TIPO DE CAPA		TAMIZ (mm / U.S. Standard)								
		50.0	37.5	25.0	19.0	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
		2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
		% PASA								
Base	BG_Gr1	-	100	75-95	50-90	45-70	30-50	15-30	6-20	2-10
	BG_Gr2	-	-	100	75-95	50-80	35-60	20-40	8-22	2-10

**Tabla 4. Granulometrías admisibles para la construcción de bases**

## **PROCESO**

Teniendo en cuenta que la empresa CONESCO S.A se encarga del aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD), como anteriormente se menciona cubriendo la necesidad impuesta por el ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, la entidad se encarga de cumplir cada una de las obligaciones específicas orientadas al aprovechamiento y disposición final de los RCD generados.

Al consultar las teorías sobre granulometrías continuas ideales se encontró: la gradación de Fuller y Thompson y la gradación de Weymouth.

La última mencionada se basa en la ecuación

$$p = 100\left(\frac{d}{D}\right)^n$$

En donde:

$p$  = Porcentaje que pasa por el tamiz ( $d$ )

$D$  = Tamaño máximo del agregado (mm).

$n$  = Exponente que gobierna la distribución de las partículas y es función del agregado grueso. Se procede a determinar el porcentaje máximo que pasa en cada tamiz, de acuerdo a un tamaño máximo de agregado de 19 mm que equivale a 3/4".

Por último, se establecen los nuevos valores y gráficamente se observa el comportamiento de la curva, la cual deberá quedar dentro de la franja recomendada.

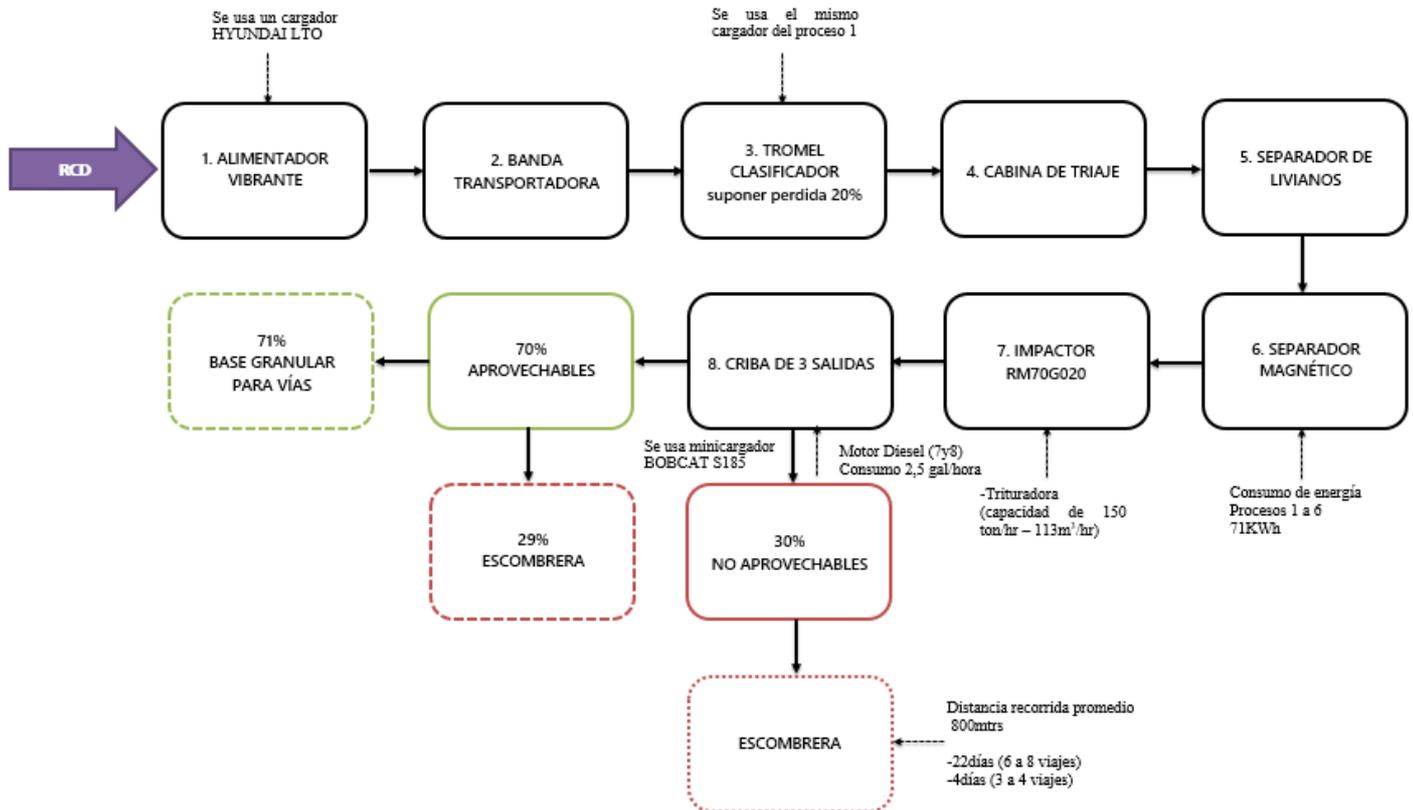
PESO RETENIDO (gr)					
SERIE TAMIZ	C.A 4.5%	C.A 5.0%	C.A 5.5%	C.A 6.0%	C.A 6.5%
3/4"	0	0	0	0	0
1/2"	156	155	155	154	153
3/8"	91	90	90	89	89
Nº 4	244	243	242	240	239
Nº 10	242	241	240	238	237
Nº 40	209	208	207	206	204
Nº 80	76	75	75	74	74
Nº 200	71	71	70	70	70
FONDO	57	57	57	56	56
	1146	1140	1134	1128	1122
<b>TOTAL</b>	1200	1200	1200	1200	1200

**Tabla 4 Pesos retenidos de la granulometría ajustada**

*Fuente: Elaboración propia*



A continuación se encuentra un diagrama de bloques donde de forma detallada se explica cada uno de los procesos mencionados anteriormente junto a los consumos extras.



**Imagen 5. Diagrama de bloques del proceso de aprovechamiento y disposición final de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD)**

*Fuente: Elaboración propia*

### c) Norma ISO 14040

La Norma Internacional ISO 14040 ha sido preparada por el Comité Técnico ISO/TC 207, Gestión ambiental, Subcomité SC 5, Análisis de Ciclo de Vida.

Esta segunda edición de la Norma ISO 14040, junto con la Norma ISO 14044:2006, anula y reemplaza a la Norma ISO 14021:1998, ISO 14042:2000 e ISO 14043:2000 que han sido revisadas técnicamente.

La creciente conciencia con respecto a la importancia de la protección ambiental, y los posibles impactos asociados con los productos, tanto manufacturados como consumidos, han aumentado el interés por el desarrollo de métodos para comprender mejor y tratar esos impactos. Una de las técnicas desarrolladas en este sentido es el análisis de ciclo de vida (ACV).

El ACV puede ayudar a:

- La identificación de oportunidades para mejorar el desempeño ambiental de productos en las distintas etapas de su ciclo de vida,
- la aportación de información a quienes toman decisiones en la industria, organizaciones gubernamentales o no gubernamentales,
- la selección de los indicadores de desempeño ambiental pertinentes, incluyendo técnicas de medición, y
- el *marketing* (implementación de esquemas de etiquetado ambiental, elaborando una reivindicación ambiental, o de una declaración ambiental de producto).

Hay herramientas de soporte orientadas al cliente, en este caso la 14040 Evaluación de ciclo de vida. Principios generales y práctica; 14041 – Análisis de inventario de ciclo de vida; 14042 – Evaluación del impacto de ciclo de vida; 14043 – Evaluación de mejoramiento de ciclo de vida.

La norma ISO 14044 detalla los requisitos para llevar a cabo un ACV.

El ACV trata los aspectos ambientales e impactos ambientales potenciales (por ejemplo, la utilización de recursos y las consecuencias ambientales de las emisiones y vertidos) a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto desde la adquisición de la materia prima, pasando por la producción, utilización, tratamiento final, reciclado, hasta su disposición final (es decir, de la cuna a la tumba).

Hay cuatro fases en un estudio de ACV:

- 1- La fase de definición del objetivo y el alcance,
- 2- La fase de análisis del inventario,
- 3- La fase de evaluación del impacto ambiental, y
- 4- La fase de interpretación.

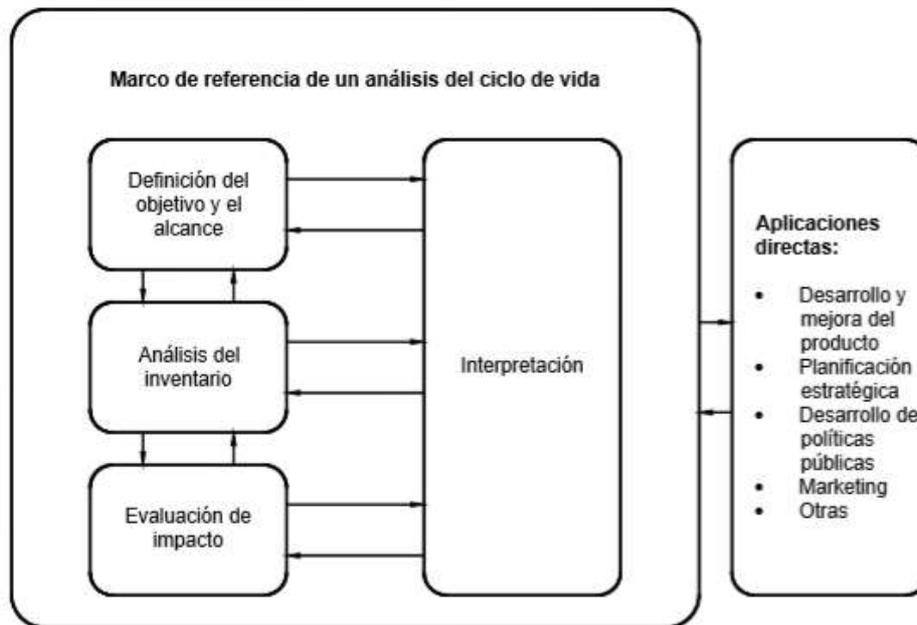
El alcance de un ACV, incluyendo los límites del sistema y el nivel de detalle, depende del tema y del uso previsto del estudio. La profundidad y amplitud del ACV puede diferir considerablemente dependiendo del objetivo de un ACV en particular.

La fase de análisis del inventario de ciclo de vida (fase ICV) es la segunda fase del ACV. Es un inventario de los datos de entrada/salida en relación con el sistema bajo estudio. Implica la recopilación de los datos necesarios para cumplir los objetivos del estudio definido.

La fase de evaluación del impacto del ciclo de vida (fase EICV) es la tercera fase del ACV. El objetivo de la EICV es proporcionar información adicional para ayudar a evaluar los resultados del inventario del ciclo de vida (ICV) de un sistema del producto a fin de comprender mejor su importancia ambiental.

La interpretación del ciclo de vida es la fase final del procedimiento de ACV, en la cual se resumen y discuten los resultados del ICD o de la EICV o de ambos como base para las conclusiones, recomendaciones y toma de decisiones de acuerdo con el objetivo y alcance definidos.

Esta Norma Internacional abarca dos tipos de estudio: análisis del ciclo de vida (estudios de ACV) y análisis del inventario del ciclo de vida (estudios de ICD). Los estudios de ICD son similares a los estudios de ACV, pero excluyen la fase EICV. No hay que confundir los estudios de ICD con la fase ICV de un estudio de ACV.

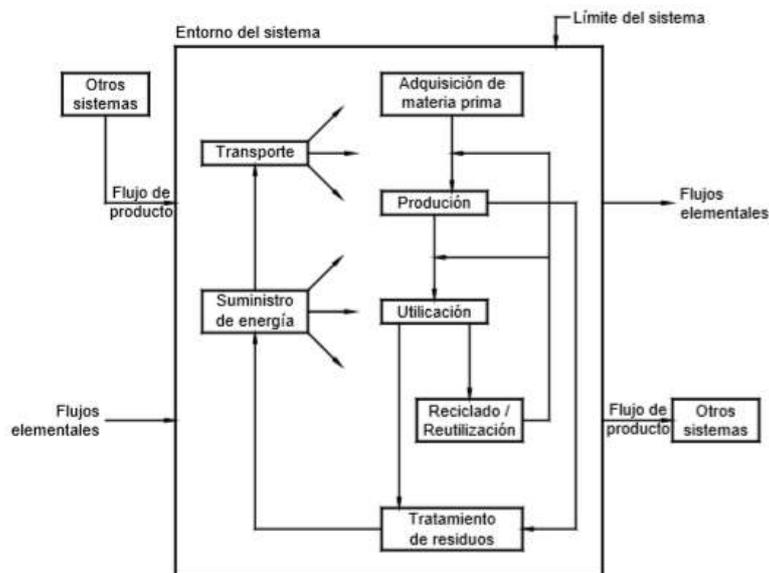


**Imagen 6. Etapas de un ACV**

*Fuente Norma ISO 14040:2007*

El ACV modela el ciclo de vida de un producto como su sistema del producto, el cual desempeña una o más de las funciones definidas. Los sistemas del producto se subdividen en un conjunto de procesos unitarios. Los procesos unitarios se vinculan entre sí mediante flujos de productos intermedios y/o residuos para tratamiento, con otros sistemas del producto, mediante flujos de producto, y con el medio ambiente mediante flujos elementales.

La división de un sistema del producto en los procesos unitarios que lo componen facilita la identificación de las entradas y salidas del sistema del producto. En muchos casos, algunas de las entradas se utilizan como un componente del producto resultante. Mientras que otras (entradas auxiliares) se utilizan dentro de un proceso unitario pero no forman parte del producto resultante. Un proceso unitario también genera otras salidas (flujos elementales y/o productos) como resultado de sus actividades. El nivel de detalle del modelado que se requiere para satisfacer el objetivo del estudio determina los límites de un proceso unitario.



**Imagen 7. Ejemplo de un conjunto de procesos unitarios dentro de un sistema del producto**

*Fuente ISO 14040:2007*

La realización de un buen inventario comprende la fase de construcción del diagrama de flujo de acuerdo con los límites del sistema establecidos en la etapa donde se definen los objetivos y el alcance de los límites del sistema. Luego de ello se pasa a la obtención de datos de todas las actividades del sistema de producción; es necesario establecer el origen de los datos si son datos de fuente primaria, secundaria, bibliográficos y/o medidas in situ; los procedimientos de cálculo deben ser asignados en los diferentes procesos multifuncionales para identificar y cuantificar todos los efectos ambientales adversos asociados a la unidad funcional, como en nuestro caso 1 Tonelada de BGPV.

### **3. METODOLOGÍA**

Este estudio de ciclo de vida se ha realizado siguiendo la metodología establecida por el estándar ISO 14040, cubriendo sus principales fase de desarrollo como se muestra a continuación.

#### **3.1. Definición del Objetivo**

Analizar y comparar el proceso de producción de BGPV con incorporación de componentes provenientes del aprovechamiento de RCD y con agregados naturales provenientes de extracción convencional y obtener los perfiles de impacto ambiental en diferentes categorías, estableciendo la mejor opción ambiental al momento de realizar un nuevo proyecto vial.

#### **JUSTIFICACIÓN:**

Este análisis de ciclo de vida se ha realizado en vista de la necesidad que existe para aprovechar y reciclar los residuos de construcción y demolición; en este caso se estudió la BGPV como el producto a generarse a partir de los RCD con el fin de comparar el impacto ambiental que genera la producción convencional de la misma base junto con el nuevo método de producción realizado por el consorcio SINESCO/CONESCO S.A.

Se espera tener una información y resultados confiables donde se evidencie el impacto ambiental generado por cada uno de los procesos de producción de BGPV comparados determinando cuál de los dos métodos es el que menor impacto ambiental genera en las diferentes categorías de impacto evaluadas. El consorcio SINESCO/CONESCO S.A busca usar los perfiles de comportamiento ambientales de los procesos de producción de BGPV generados y comparados como un instrumento de soporte y decisión para su actividad industrial.

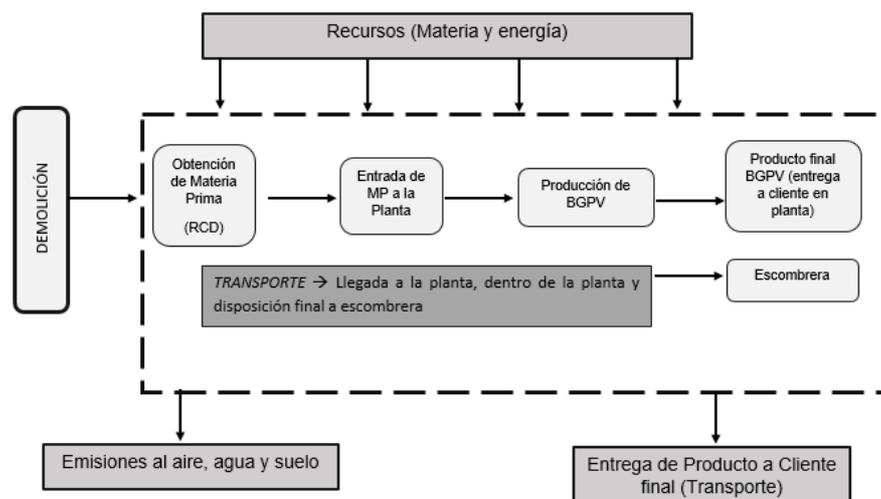
### 3.2. Definición de Alcance

El sistema a estudiar fue la producción de 1 Tonelada de BGPV cubriendo la obtención y procesamiento de las materias primas necesarias (RCD) de forma tal que únicamente un 21% de esta materia prima alimentada al proceso se genera como residuo no aprovechable y su fin de vida se dirige a la escombrera municipal.

#### **UNIDAD FUNCIONAL DEL ESTUDIO.**

La unidad funcional define la cuantificación de las funciones identificadas (características de desempeño) del producto. El propósito fundamental de una unidad funcional es proporcionar una referencia a la cual se relacionan las entradas y salidas. Se necesita esta referencia para asegurar que los resultados del ACV sean comparables, en este caso será 1 Tonelada (Ton) producida de BGPV ajustada en todos los procesos unitarios involucrados y en las entradas y salidas del sistema producto estudiado.

### 3.3. Límites del sistema



**Imagen 8. Diagrama de límites del sistema**

*Fuente Elaboración Propia*

### **3.4. Requisitos de calidad de los datos**

**Tiempo:** (Julio 2017 / Mayo 2018)

**Geografía:** Bello-Antioquia

Los residuos son recogidos en diferentes lugares y obras de demolición registradas en el Valle de Aburrá correspondientes a los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello, Medellín, Envigado, Itagüí, Sabaneta, La Estrella y Caldas. Se tiene en cuenta como distancia promedio recorrida de 12km desde el lugar de la demolición hasta la planta de tratamiento de RCD.

**Tecnología:** CONESCO S.A

**Precisión:** Datos suministrados por CONESCO S.A, registro de promedio mensual.

### **3.5. Inventario**

Existen dos diferentes tipos de datos para alimentar el ICV, en este caso tenemos:

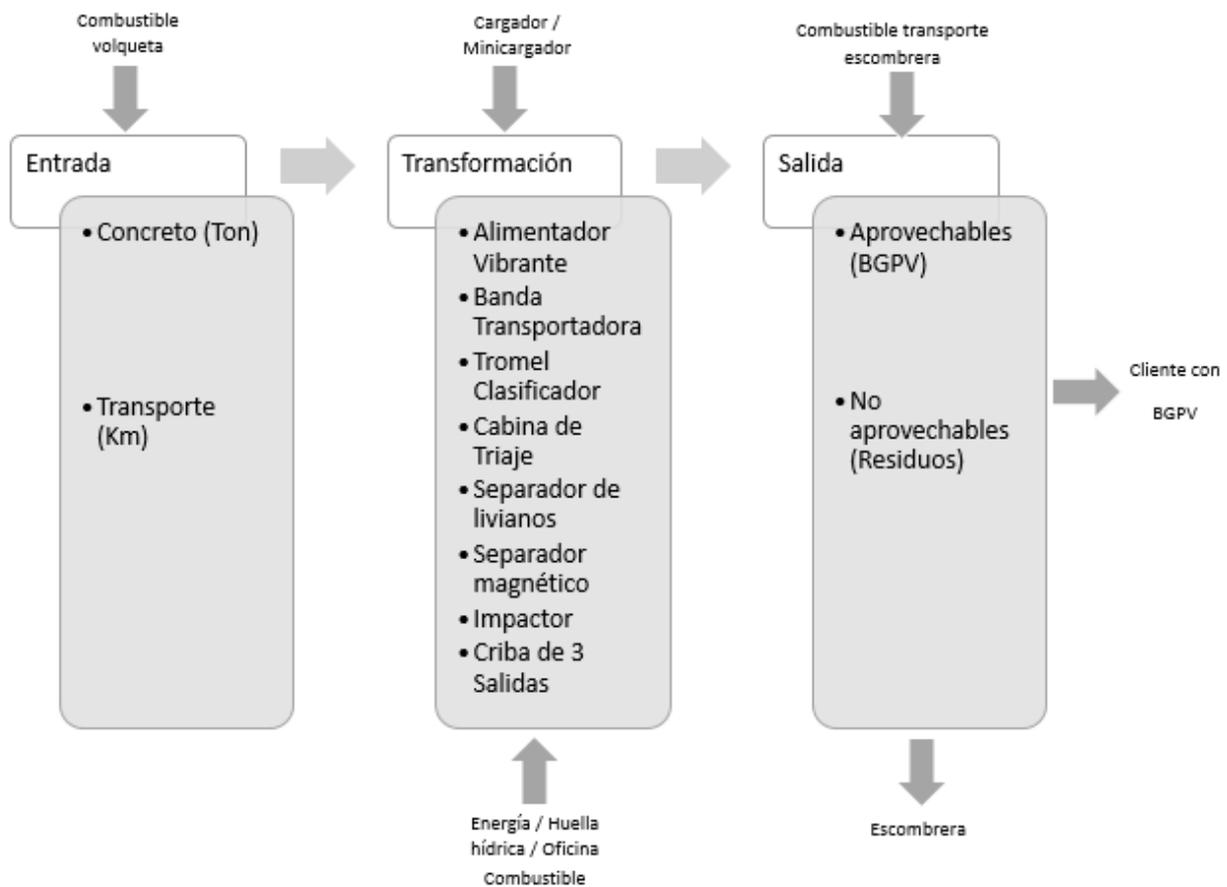
-Datos Primarios, que son datos generados en la actividad industrial y previamente registrados y analizados en la base de datos del consorcio SINESCO/CONESCO S.A;

-Datos Secundarios, que son basados en la literatura o base de datos como ECOINVENT que contiene las pautas de calidad adaptadas y extendidas para la versión de SimaPro

8.4.0

Las pautas de calidad de datos incluyen definiciones de los diferentes tipos de conjuntos de datos, el nivel de detalle, la integridad, la buena práctica para la documentación, las convenciones de nomenclatura y las reglas para informar sobre la incertidumbre. Además, este documento cubre los procedimientos para la validación, revisión e incorporación de nuevos conjuntos de datos en la base de datos y el cálculo de procedimientos para modelos consecuentes, y para llegar a los resultados acumulados para los sistemas de productos.

A continuación se evidencia el esquema general de inventario donde se irá describiendo en los procesos o conjunto de procesos las entradas, salidas y respectivos consumos de energía y combustible.



**Imagen 9. Proceso de Análisis de Ciclo de Vida en la generación de BGPV**

*Fuente Elaboración Propia*

Se observa de forma tal en cada tabla los procesos unitarios con las entradas de materia, salidas de materiales las Unidades en las que se expresan las cantidades y una breve descripción de los procedimientos de muestreo.

PROCESOS UNITARIOS				
Identificación del proceso unitario			BG Para Vías	
Descripción del proceso unitario			<i>Descripción del proceso de BG para Vías a partir de los RCD</i>	
Entrada de materia	Unidades	Cantidad	Descripción de los procedimientos de muestreo	Origen
<i>RCD Triturado 7 y 8</i>	<b>Ton</b>	1,4	<i>Consta de en el proceso 7 un Impactor RM70G020 y el proceso 8 una criba de 3 salidas donde se evidencia el consumo de combustible diesel(especificado en la tabla de Proceso Unitario RCD Triturado 7 y 8).</i>	
<i>Oficina</i>	<b>Ton</b>	1	<i>Se evidencian los consumos extras detallados en la tabla de Proceso Unitario Oficina</i>	
Salidas de materiales (incluye productos)	Unidades	Cantidad	Descripción de los procedimientos de muestreo	Destino
<i>BG PARA VÍAS</i>	<b>Ton</b>	1	<b>PRODUCTO</b>	
<i>Demolition waste unespecified</i>	<b>Ton</b>	0,4	<i>RCD</i>	

**Tabla 5. Proceso Unitario BG Para Vías**

*Fuente Elaboración Propia*

<b>PROCESOS UNITARIOS</b>				
Identificación del proceso unitario			<b>RCD</b>	
Descripción del proceso unitario			<i>Describe los diferentes recursos que se necesitan para poder obtener los RCD</i>	
<b>Entrada de materia</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción de los procedimientos de muestreo</b>	<b>Origen</b>
<i>Concrete block {GLO} Market for   Alloc Def, S</i>	<b>kg</b>	1000	<i>Bloque de concreto</i>	<i>Demolición inicial</i>
<i>Excavator, technology mix, 100kW, Construction Glo</i>	<b>kg</b>	1000	<i>Excavadora</i>	<i>Lugar de la demolición</i>
<i>Loader operation, large, INW/RNA</i>	<b>hr</b>	0,5	<i>Tiempo de uso por Ton cargada de RCD</i>	<i>Lugar de la demolición</i>
<i>Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 3 {GLO}   Market for Alloc Def, S</i>	<b>tkm</b>	12	<i>Transporte en toneladas por km recorrido</i>	<i>Distancia promedio de la demolición a la planta de CONESCO S.A</i>
<b>Salidas de materiales (incluye productos)</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción de los procedimientos de muestreo</b>	<b>Destino</b>
<b>RCD</b>	<b>kg</b>	750	<b>PRODUCTO</b>	<b>Planta CONESCO S.A Tratamiento de generación de BGPV</b>
<i>Particulates, &gt; 10 um</i>	<b>kg</b>	2		
<i>Particulates, &lt; 10 um</i>	<b>kg</b>	2		
<i>Particulates, &lt; 2,5 um</i>	<b>kg</b>	2		
<i>Unspecified waste, landfill</i>	<b>kg</b>	228		

**Tabla 6. Proceso Unitario RCD**

*Fuente Elaboración Propia*

PROCESOS UNITARIOS				
Identificación del proceso unitario			RCD Tamizados 1 a 6	
Descripción del proceso unitario			<i>Procesos de generación de BGPV durante las primeras 6 etapas</i>	
Entrada de materia	Unidades	Cantidad	Descripción de los procedimientos de muestreo	Origen
<i>RCD</i>	<i>Ton</i>	<i>2,5</i>	<i>Residuos de Construcción y Demolición</i>	<i>Demolición</i>
Consumo de agua	Unidades	Cantidad	Descripción de los procedimientos de muestreo	Origen
<i>Water, River</i>	<i>l</i>	<i>24,6855</i>	<i>Recurso hídrico de CONESCO S.A</i>	<i>Caudal permitido por EPM</i>
Entradas de energía	Unidades	Cantidad	Descripción de los procedimientos de muestreo	Origen
<i>Electricity, high voltage {PE} Market for   Alloc Def, S</i>	<i>kWh</i>	<i>71</i>	<i>Consumo de energía por hora de la maquinaria representada en los procesos de 1 a 6 para la generación de BGPV</i>	<i>Conexión directa a la red</i>
Salidas de materiales (incluye productos)	Unidades	Cantidad	Descripción de los procedimientos de muestreo	Destino
<i>RCD Tamizados 1 a 6</i>	<i>Ton</i>	<i>2</i>	<b>PRODUCTO</b>	<b>RCD Triturado 7 y 8</b>
<i>Particulates &gt;10 um</i>	<i>Ton</i>	<i>0,2</i>		
<i>Demolition waste, unespecified</i>	<i>Ton</i>	<i>0,48</i>		

Tabla 7. Proceso Unitario RCD Tamizados 1 a 6

Fuente Elaboración Propia

PROCESOS UNITARIOS				
Identificación del proceso unitario			RCD Triturado 7 y 8	
Descripción del proceso unitario				
Entrada de materia	Unidades	Cantidad	Descripción de los procedimientos de muestreo	Origen
<i>RCD Tamizados 1 a 6</i>	<b>Ton</b>	2	<i>Proceso inicial de generación de BGPV</i>	<i>RCD</i>
<i>Diesel group {GLO}   Market for Alloc Def, S</i>	<b>Ton</b>	0,028	<i>Combustible necesario en el IMPACTOR 70G020 y la Criba de 3 Salidas</i>	<i>Fósil</i>
<i>Minning Truck, technology mix, 220 t payload 1700 kW GLO</i>	<b>Ton</b>	2	<i>Minicargador necesario para mover la materia prima y escombros al lugar que se necesite dentro de la misma planta</i>	<i>Uso de planta</i>
Consumo de agua	Unidades	Cantidad	Descripción de los procedimientos de muestreo	Origen
<i>Water, River</i>	<b>l</b>	12,34275	<i>Recurso hídrico de CONESCO S.A</i>	<i>Caudal permitido por EPM</i>
Salidas de materiales (incluye productos)	Unidades	Cantidad	Descripción de los procedimientos de muestreo	Destino
<i>RCD Triturado 7 y 8</i>	<b>Ton</b>	1.4	<b>PRODUCTO</b>	<b>BGPV y Escombrera</b>
<i>Particulates &gt;10 um</i>	<b>Ton</b>	0,03		
<i>Demolition waste, unespecified</i>	<b>Ton</b>	0,57		

**Tabla 8. Proceso Unitario RCD Triturado 7 y 8**

*Fuente Elaboración Propia*

## ***EVALUACION DE IMPACTOS DE CICLO DE VIDA***

El software de ACV utilizado para procesar la información del ICV suministrado por CONESCO S.A es SimaPro en su versión 8.4.0, el cual es una herramienta especializada en procesamiento y análisis de ciclo de vida de un producto o proceso; que para nuestro caso será para evaluar la producción de BGPV abarcando desde la recolección de Materia Prima de RCD y/o agregados naturales y su respectivo procesamiento.

### ***3.6. METODOLOGIA DE CALCULO - Método ReCiPe MIDPOINT - ENDPOINT***

Se realizó el uso esencial del software SimaPro, versión 8.4.0, el cual es una herramienta profesional de procesamiento y evaluación ambiental que nos permite modelar y analizar el ciclo de vida de un producto o servicio de manera sistemática y transparente, siguiendo las recomendaciones de la serie ISO 14040 en este caso para la producción de BGPV mediante RCD y agregados naturales.

El método usado fue ReCiPe midpoint y endpoint, siendo el enfoque de indicador más reciente y armonizado disponible en la evaluación global de impacto del ciclo de vida reflejada en una gran cantidad de categorías de impacto.

El objetivo principal del método ReCiPe es transformar la larga lista de resultados del inventario del ciclo de vida en un número limitado de puntajes de indicadores y unidades de referencia de las diferentes categorías evaluadas. Estos puntajes de indicadores expresan la severidad relativa en una categoría de impacto sobre el ambiente. En ReCiPe determinamos los indicadores en dos niveles:

- Dieciocho indicadores de punto medio
- Tres indicadores de punto final

Cada método (punto medio, punto final) contiene factores de acuerdo con las tres perspectivas culturales. Estas perspectivas representan un conjunto de opciones sobre cuestiones como el tiempo o las expectativas de que una gestión adecuada o el desarrollo tecnológico futuro pueden evitar daños futuros.

*Individualista:* a corto plazo, optimismo de que la tecnología puede evitar muchos problemas en el futuro.

*Hierarchist:* modelo de consenso, como se encuentra a menudo en los modelos científicos, a menudo se considera que es el modelo predeterminado.

*Igualitario:* a largo plazo basado en el pensamiento de principio de precaución.

Para este estudio se eligió la perspectiva igualitaria, ya que contiene las premisas y juzgamientos más acertados con la realidad y el contexto del sector de construcción.

Algunas de las ventajas del marco ReCiPe en relación con otros enfoques incluyen:

- El conjunto más amplio de categorías de impacto de punto medio.
- Donde sea posible, utiliza mecanismos de impacto que tienen alcance global.
- A diferencia de otros enfoques (Eco-Indicador 99, Método EPS, LIME e Impacto 2002+), no incluye el potencial de extracciones futuras en la evaluación de impacto, pero supone que se han incluido en el análisis de inventario.

## **RESULTADOS E INTERPRETACIÓN**

A través de SIMAPRO se pueden obtener diagramas SANKEY de distribución de carga ambiental y perfiles de impacto ambiental en las diferentes categorías (listadas y explicadas a continuación) que facilitan la interpretación de los resultados y la toma de decisiones.

### **3.7. Diagrama Sankey**

El diagrama de Sankey es un tipo específico de diagrama de flujo, en el que la anchura de las flechas se muestra proporcional a la cantidad de flujo.

Los diagramas de Sankey se suelen utilizar para visualizar las transferencias de energía, material o coste entre procesos, a través de flechas que muestran la pérdida o dispersión por transferencia.

### **3.8. Material Fino Particular**

Se denomina material particulado a una mezcla de partículas líquidas y sólidas, de sustancias orgánicas e inorgánicas, que se encuentran en suspensión en el aire. El material particulado forma parte de la contaminación del aire. Su composición es muy variada y podemos encontrar, entre sus principales componentes, sulfatos, nitratos, el amoníaco, el cloruro sódico, el carbón, el polvo de minerales, cenizas metálicas y agua. Dichas partículas además producen reacciones químicas en el aire.

En este caso se encuentra material particulado menor a 2.5  $\mu\text{m}$ , estas partículas tienen la capacidad de pasar al torrente sanguíneo por lo que pueden, potencialmente, dañar cualquier órgano o sistema.

### **3.9. Escasez de Recursos Fósiles**

El uso de las fuentes de energía fósil (petróleo, carbón y gas natural) están limitadas debido a importantes factores que les impide que sean viable a futuro. Éstos son la escasez de recursos fósiles y progresiva contaminación y el consecuente aumento de los gases de efecto invernadero.

Estas energías tienen un ciclo de formación de millones de años, por lo que, al ritmo de consumo actual, terminarán agotándose o dejarán de ser, a medio plazo, económicamente rentables.

## **RESERVAS**

- Carbón (122 años); reservas probadas 578.000 millones de tep (toneladas de petróleo equivalente). Principales reservas EEUU, Rusia y China.
- Uranio (70-90 años); reservas probadas 33.000 millones de tep. Principales reservas: Australia, Kazajistán y EEUU.
- Gas Natural (60-4 años); reservas probadas 185.000 billones de tep. Principales reservas: Rusia, Irán y Qatar.
- Petróleo (42 años); reservas probadas 170.800 millones de tep. Principales reservas Arabia Saudí, Iraq e Irán.

### **3.10. Eco toxicidad de agua fresca**

La creciente cantidad de compuestos químicos que actualmente contaminan las aguas de los ríos, lagos y acuíferos ha puesto de manifiesto la necesidad de encontrar métodos para medir el efecto de estos contaminante sobre los ecosistemas acuáticos.

Estos métodos o bioensayos pretenden medir el efecto tóxico que producen las diferentes sustancias o mezcla de las mismas sobre los diferentes eslabones de las cadenas tróficas.

### **3.11. Calentamiento Global**

Es el aumento de la temperatura del proceso de la media de los océanos y la atmósfera de la Tierra causada por las emisiones masivas que realzan el efecto invernadero, se originó a partir de una serie de actividades humanas, especialmente la quema de combustibles fósiles y los cambios en el uso del suelo, tales como la deforestación, así como varias otras fuentes secundarias.

Estas causas son un producto directo de la explosión demográfica, el crecimiento económico, el uso de tecnologías y fuentes de energía, contaminación y un estilo de vida insostenible, en el que la naturaleza es vista como una materia prima para la explotación.

Los principales gases de efecto invernadero emitidos por los seres humanos son el dióxido de carbono (o gas carbónico, CO<sub>2</sub>) y el metano (CH<sub>4</sub>). Estos y otros gases actúan por bloqueo de la disipación de calor terrestre para el espacio.

### **3.12. Sustancias Carcinogénicas al contacto humano**

Categoría de impacto intermediario que representa los efectos tóxicos cancerígenos de sustancias sobre el ser humano.

### **3.13. Sustancias no Carcinogénicas al contacto humano**

Categoría de impacto intermediario representa los efectos tóxicos no cancerígenos de sustancias sobre el ser humano.

### **3.14. Radiación ionizada**

Radiación de muy alta energía capaz de producir una ionización de las sustancias a través de las cuales pasa. Se origina en la radiactividad de ciertas sustancias, que contienen núcleos inestables que se desintegran y emiten radiación ionizante.

### **3.15. Uso de tierra**

Los cambios de uso de la tierra son generalmente consientes, respuestas volitivas de los seres o sociedades humanas a los cambios en las condiciones biofísicas o de la sociedad. Es, por lo tanto, un indicador de respuesta el que refleja cómo y en qué medida la sociedad responde a esos cambios o como se adapta a las condiciones ambientales cambiantes. Esto no excluye la posibilidad de que algunos cambios de uso de la tierra puedan a su vez constituir una presión para los cambios en el estado del ambiente. Esto está implícito en la naturaleza de la compleja red de las causas -que no es una cadena casual- incluyendo un cierto número de elementos de retroalimentación, o sea, la relación de la sociedad con su ambiente.

### **3.16. Eco toxicidad marina**

El agua lleva presentes contaminantes en suspensión o disueltos en ella, pudiendo destacar microbios, detergentes sintéticos y contaminantes metálicos. El principal problema en cuanto a lo referente de la contaminación hídrica es la facilidad que presentan algunas especies para concentrarlo en su organismo.

### **3.17. Formación de ozono, salud humana**

El ozono es un gas incoloro e inodoro. En realidad se trata de una variante del oxígeno que tiene tres átomos en vez de dos. Es frecuente que se piense que el ozono es beneficioso para el hombre, dado que así sucede con la capa de este gas que envuelve la Tierra y que la protege de las radiaciones procedentes del espacio exterior. Sin embargo, cuando el ozono se acumula en las capas inferiores de la atmósfera, más aún si es a ras de suelo, se lo considera como un contaminante, pues no solo daña la salud, sino que es capaz de producir la corrosión de los edificios y las rocas.

El calor, el sol y la contaminación producida por la industria y el tráfico son los factores más importantes que contribuyen a aumentar la formación de ozono en el aire que se respira. Por eso en verano, especialmente en las ciudades contaminadas y en aquellos lugares que hace mucho calor y poco viento el ozono puede alcanzar cotas que son peligrosas para la salud humana.

### **3.18. Eco toxicidad terrestre**

Toxicidad de los organismos terrestres vivos excluyendo el impacto generado por el hombre.

### **3.19. Consumo de agua**

Las grandes centrales energéticas que utilizan como combustible para su actividad gas, petróleo o carbón también requieren para su funcionamiento de grandes cantidades de agua para sus circuitos de refrigeración. Por ello, estas centrales suelen situarse cerca de los cauces de los ríos empleando sus aguas para su actividad, con el consiguiente efecto negativo para las aguas.

#### 4. RESULTADOS

Las unidades de impacto ambiental son basadas siempre en la generación de 1 tonelada de BGPV.

Los análisis simulados por el software SimaPro V 8.40 han sido modelados de dos formas diferentes; como primera instancia la Materia Prima se tiene en cuenta como RCD (Residuos de Construcción y Demolición) incluyendo el Bloque de Concreto.

A continuación se demuestran los análisis de “BG para Vías RCD CONESCO without CB” donde genera un impacto ambiental de 71 kg de CO2 equivalente.

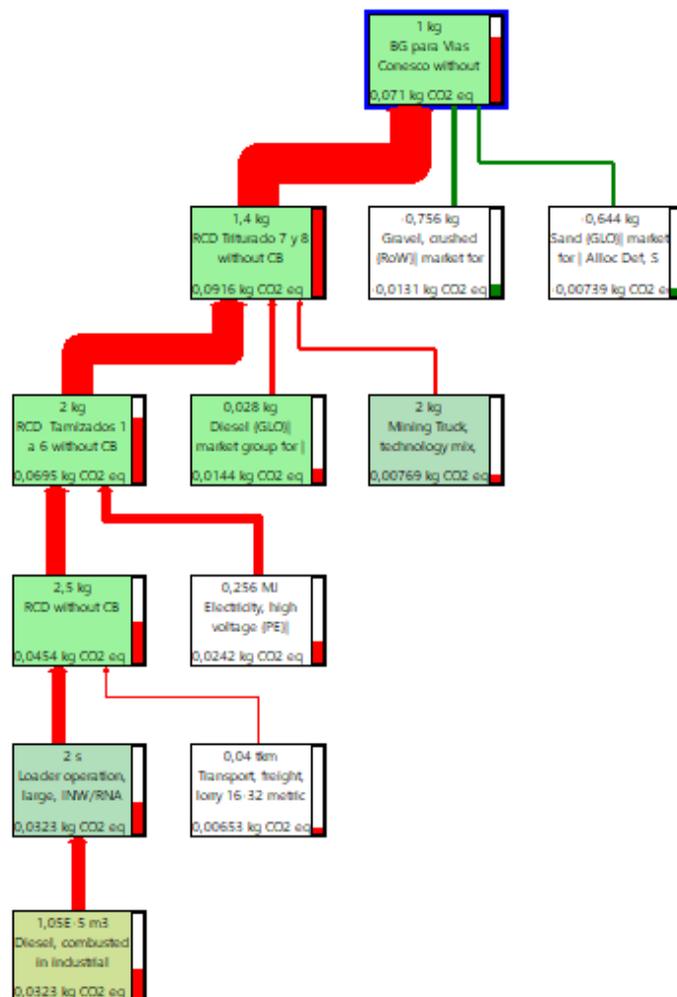


Imagen 10. BGPV sin tener en cuenta el BC

Fuente SimaPro V8.4.0- CONESCO S.A

Consta de 71 kg CO2 eq con el proceso de “BG para Vías Conesco without CB” por cada tonelada de BGPV producida.

Teniendo en cuenta que la BG para Vías en estos momentos se tiene en cuenta únicamente el análisis sin bloque de concreto que es el tema en el cual se encarga al 100% Conesco, ya que ellos tienen responsabilidad en cuanto al proceso productivo de generación de base granular para vías pero no en cuanto al impacto ambiental de la generación de la demolición y desmantelamiento de las edificaciones únicamente en la producción de la base granular para vías.

En este caso no se tiene en cuenta el impacto generado por la Oficina de Conesco, en la siguiente tabla se observa el consumo promedio mensual que se generó en el año 2017

<b>Equipo</b>	<b>Cantidad 2017</b>
Aires acondicionados	28
Microondas	8
Computadores	64
Filtros de agua	1
impresoras	8
Consumo Eléctrico Promedio	472.505 Kwh/mes
Consumo de agua doméstica	4.759 (m <sup>3</sup> /año)
Número de trabajadores	150

**Tabla 9. Recursos y Consumos Extras de Producción CONESCO S.A 2017**

Fuente CONESCO S.A

La diferencia que se denota en el siguiente diagrama con el anterior es que se tiene en cuenta el impacto ambiental en Kg de CO2 generado por el consumo diario de la Oficina de Conesco, recordando que se incluye aires acondicionados, computadores, impresoras y filtros de agua.

Detalladamente se encuentran los diferentes medios de transporte que se han solicitado desde el proceso de recogida desde el desmantelamiento hasta la entrega del producto final BGPV como las volquetas marca intercontinental, el cargador HYUNDAI LTO en los procesos de entrada de materia prima como el alimentador vibrante, en la criba de 3 salidas un minicargador BobCat S185 y en el transporte de los residuos no aprovechables equivalentes al 30% del producto final BGPV directo a la escombrera localizada a 800 mtrs de la criba de 3 salidas. De forma más detallada los observamos en la Tabla 10 y 11.

Equipo	Cantidad
DUMPER	7
Retroexcavadoras	3
Cargador	3
Volqueta Dobletroque	16
Volqueta Sencilla	11
Bulldozer	3
Tractor	1
Montacarga	1
Carro cisterna	1
Vibrocompactador	1

**Tabla 10. Medios de transporte y carga solicitados en la recolección de RCD y producción de BGPV  
CONESCO S.A 2017**

Fuente CONESCO S.A

Junto con las distancias recorridas,

Vías de transporte	Longitud vía (Km)	Tipo de vehículo que transita
Vía interna (Pit3 a Escombrera)	0,77	Dumper- Retroexcavadoras- carrocisterna
Vía Perimetral (contigua al Rio Medellín)	1,29	Dumper-Volquetas secilla-dobletroque- tractor-carrocisterna
vía principal explotación (De Pit 3 a Rampa)	0,88	Dumper- carrocisterna
vía principal explotación (De Pit 2 a vía perimetral)	0,45	Dumper-Volquetas secilla-dobletroque- tractor-carrocisterna
Entrada Escombrera a plataforma inferior	0,8	Dumper-Volquetas secilla-Moto- vibrocompactador- Carrocisterna-Bulldozer
Portería Planta de Mezclas y Acopios	0,84	Volqueta Sencilla- dobletroque Retroexcavadoras- Retrocargador- Carrocisterna-

**Tabla 11. Distancias recorridas durante los diferentes procesos realizados en CONESCO S.A 2017**

Fuente CONESCO S.A

Al momento de generar el inventario se recuerda que la data obtenida en el 2017 fue la que se incluyó en este proceso de BGPV Convencional con los consumos correspondientes a transporte, energía, combustible, vertimientos y consumo hídrico.

<b>Datos base (ton)</b>	<b>Und</b>	<b>2017</b>
Consumo eléctrico	Kwn/año	5.670.055
Consumo de agua Industrial	m <sup>3</sup> /año	2.518.149,6
Combustibles (ACPM BIOACEM B10)	Gln/año	438.284
Combustibles (Gasolina Corriente)	Gln/año	2.742,44
m <sup>3</sup> /año	m <sup>3</sup> /año	1.236.997
cantidad de materia prima que entra	Ton/año	985.130
cantidad de producto intermedio o final que sale	Ton/año	968.371
Residuos ordinarios	Kg/año	4.159
Residuos reciclables	Kg/año	2.993
Residuos peligrosos	Kg/año	44.701,15
Vertimientos	m <sup>3</sup> /año	7.994.376

**Tabla 12. Datos consumo en procesos de generación de BGPV CONESCO S.A 2017**

Fuente CONESCO S.A

A continuación se observan las entradas y salidas que en la Tabla12 tenemos, los datos ya ingresados en la informática del software para proceder a simular y generar los resultados que deseamos conocer.

Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos y co-productos	Cantidad	Ud.	Cantidad	Asignación %	Tipo de residuo	Categoría	Comentario	
BGPV Agregados Naturales (Insertar línea aquí)	1	ton	Mass	100 %	no definido	Construction\Others		
Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos evitados	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DS	Min	Máx	Comentario	
(Insertar línea aquí)								
Entradas								
Entradas conocidas desde la naturaleza (recursos)	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DS	Min	Máx	Comentario
Sand and gravel		1,05	ton	Indefinido				
Water, unspecified natural origin, IAI Area, South America (Insertar línea aquí)		2,5	m3	Indefinido				
Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles)	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DS	Min	Máx	Comentario
Electricity, medium voltage (RoW) market for   Alloc Def, S		56	kWh	Indefinido				
Gasoline, at refinery/U/S		10	l	Indefinido				
Diesel, at refinery/U/S (Insertar línea aquí)		5	l	Indefinido				
Entradas conocidas desde la tecnósfera (electricidad/calor)	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DS	Min	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								

**Imagen 11. BGPV Agregados Naturales (Entradas)**

Fuente CONESCO S.A 2017

Emissiones al aire	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DS	Min	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Emissiones al agua	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DS	Min	Máx	Comentario
Waste water/m3 (Insertar línea aquí)		8	m3	Indefinido				
Emissiones al suelo	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DS	Min	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Flujos finales de residuos	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DS	Min	Máx	Comentario
Hazardous waste, landfill		0,045	kg	Indefinido				
Waste to recycling		0,003	kg	Indefinido				
Waste, organic (Insertar línea aquí)		0,004	kg	Indefinido				
Emissiones no materiales	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DS	Min	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Aspectos sociales	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DS	Min	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Asuntos economicos	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DS	Min	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Salidas conocidas a la tecnósfera. Residuos y emisiones para tratamiento	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DS	Min	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								

**Imagen 12. BGPV Agregados Naturales (Emisiones)**

Fuente CONESCO S.A 2017

Nombre	Estado	Comentario
BGPV Convencional	Ning.	

Materiales/Ensamblajes	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
BGPV Agregados Naturales	1	ton	Indefinido				
(Insertar línea aquí)							

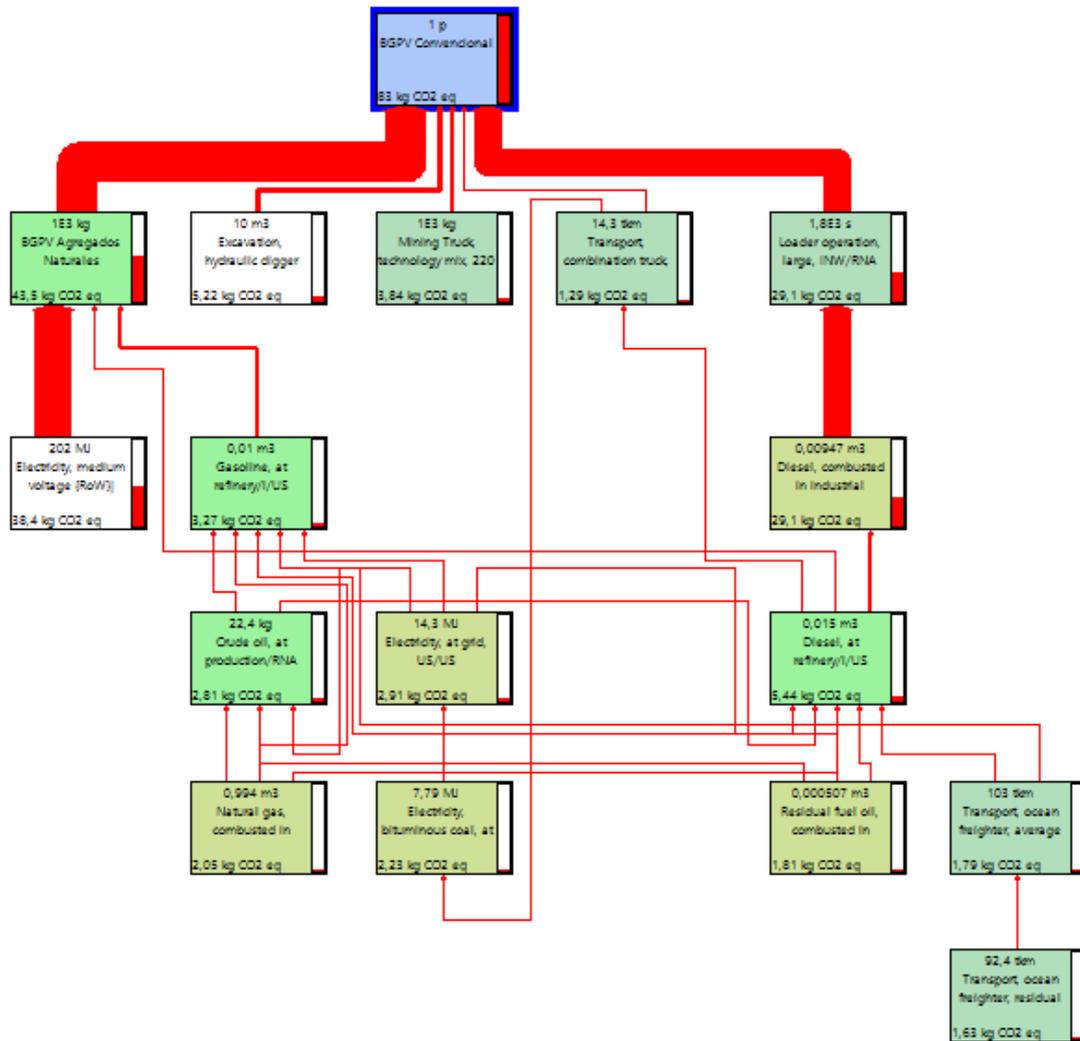
Procesos	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Excavation, hydraulic digger {GLO} market for   Alloc D	10	m3	Indefinido				
Mining Truck, technology mix, 220 t payload, 1.700 kW	1	ton	Indefinido				
Transport, combination truck, diesel powered/US	14	tkm	Indefinido				
Loader operation, large, INW/RNA	30	min	Indefinido				
(Insertar línea aquí)							



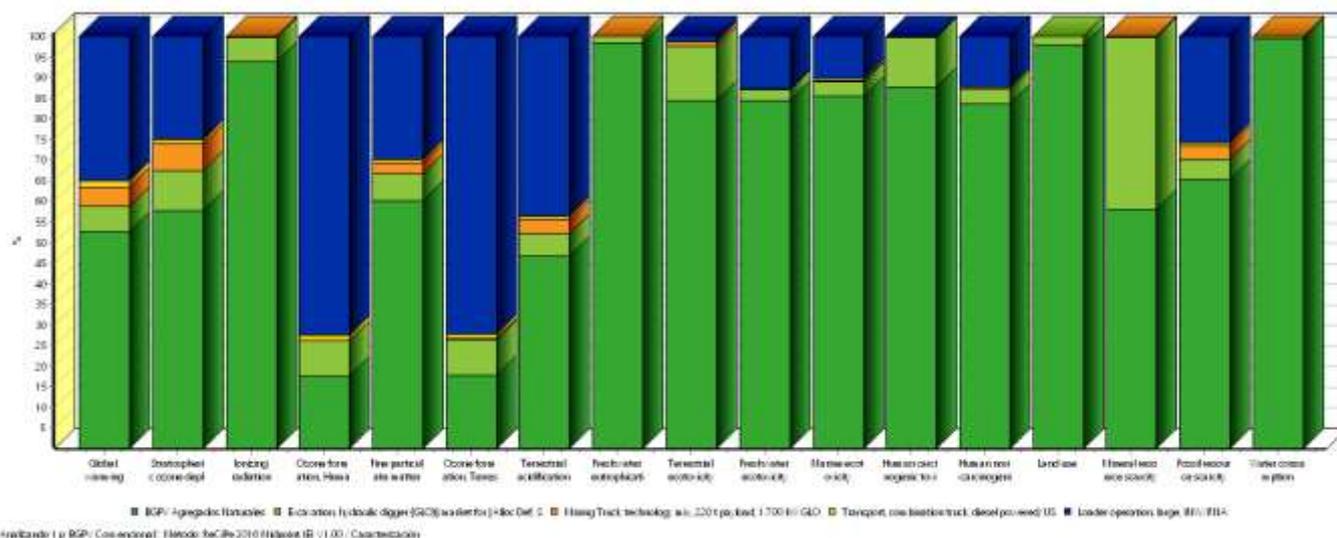
**Imagen 13. BGPV Convencional (Generación del Proceso)**

Fuente CONESCO S.A 2017

En el siguiente diagrama Sankey arrojado por nuestra base de datos que anteriormente se ha ingresado a SimaPro, obtenemos el proceso de BGPV teniendo en cuenta que es por medio de los agregados naturales y la generación convencional del mismo, se observa que el impacto ambiental y la huella de CO2 que genera es de 83 kg CO2 equivalente que al momento de comparar con la generación de BGPV a partir de los residuos es de 71 kg CO2 eq notoriamente su huella es menor pero además de eso el impacto que genera en el uso de suelo, consumo de agua, radiación ionizada y los demás componentes es mucho menor refiriéndonos a la producción de 1 Ton de BGPV.

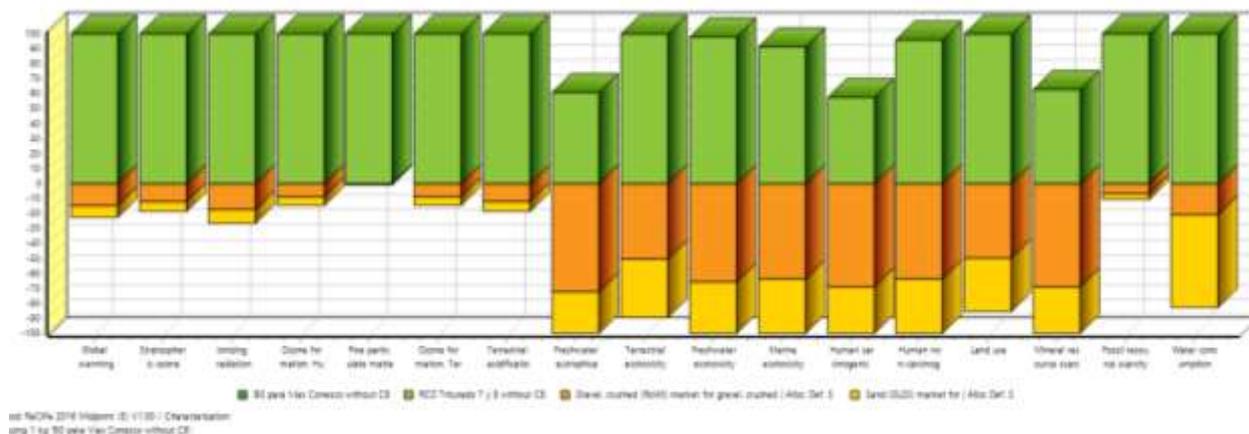


**Imagen 11. BGPV Conventional**  
 Fuente SimaPro V8.4.0- CONESCO S.A



**Imagen 12. Diagrama de Barras de Impacto Ambiental de BG Convencional**

Fuente SimaPro V8.4.0- CONESCO S.A



**Imagen 13. Diagrama de Barras de Impacto Ambiental de BGPV sin CB**

Fuente SimaPro V8.4.0- CONESCO S.A

En los anteriores diagramas de barras (Imagen 12 e Imagen 13) se perciben de forma inmediata que el impacto ambiental en su mayoría proviene de los agregados naturales mencionados anteriormente de forma detallada tales como Arena y Grava, además de ello el otro impacto significativo es el generado por los diferentes sistemas de transporte, carga y/o desplazamiento al momento de recoger o extraer la materia prima de su fuente y llevarla a la planta a su procesamiento teniendo en cuenta el combustible consumido durante estos tiempos de uso y toneladas por kilómetro recorridas. Cabe recordar que esta base de datos es facilitada por el Software de Análisis de Ciclo de Vida SimaPro V8.40.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo al análisis de Ciclo de Vida e Impacto Ambiental de la generación de Base Granular para Vías a partir de los Residuos de Construcción y Demolición, se enumeran las conclusiones de la identificación y descripción de los impactos ambientales del análisis:

- La herramienta de simulación SimaPro V8.40 fue esencial para el proceso de obtención de datos teniendo en cuenta que la recolección de los mismos fue proporcionado a su vez por el consorcio de Conesco S.A; al momento de ingresar los datos reales, así mismo podemos asegurar la calidad del resultado.
- Aunque la BGPV es generada a partir de RCD la calidad sigue siendo igual al momento de entregar de producto final, cumpliendo con la norma de calidad de Pavimentos que rige a Colombia según el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) con el artículo 330-07 denominado como BASE GRANULAR numeral 330.2 Materiales.
- El producto final denominado como BGPV no contiene ningún tipo de aditivo extra, esto quiere decir que algún producto agregado es responsabilidad ambiental del cliente que obtiene BGPV producida por Conesco S.A.
- Los RCD denominados como materia prima dentro de este proceso de generación de BGPV incluyendo el Bloque de Concreto como uno de sus componentes principales además de los diferentes residuos generados durante el desmantelamiento o residuos que han sido adheridos sin mayor notoriedad en el CB; son residuos que el consorcio Conesco S.A no puede tener control al 100% en cuanto al impacto ambiental que genera la producción de 1 Tonelada de BGPV.
- La producción mensual de BGPV basados en la producción de Conesco S.A es de aproximadamente 5000m<sup>3</sup>, donde por Tonelada producida está generando únicamente un impacto ambiental de 86 kg de CO<sub>2</sub> equivalente; cabe recordar que dicha cantidad mencionada es evidenciada teniendo en cuenta los consumo de

energía conectada a la red, huella hídrica proveniente del caudal ecológico permitido por las leyes ambientales, por el combustible fósil y el consumo diario de las oficinas.

- Según esto se determina que la toma de decisiones donde se involucre el tema medioambiental es un proceso complejo que involucra diferentes compromisos y negociaciones entre la maximización de beneficios y disminución de los impactos no deseados; como en el caso de la generación de base granular para vías buscando de dicho modo la disminución y un nuevo aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición.

## **RECOMENDACIONES**

- Es prioridad tener claridad en que datos se van a solicitar mediante el estudio y análisis de ciclo de vida ya que la herramienta nos facilita una data con referencias globales o locales dependiendo de la necesidad a consultar.
- Incentivar a más compañías productoras de BGPV mediante RCD teniendo en cuenta los beneficios que generan.
- Aunque la resolución 0472 de 2017 ha sido acogida por 9 departamentos de Colombia, realizar campañas con las pequeñas y grandes constructoras de acuerdo a sus alcances la recolección consciente no está de más, sin embargo se necesita una serie de capacitaciones para poder realizarlo de forma correcta.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] PLAN NACIONAL INTEGRADO DE RESIDUOS (PNIR) 2007-2015. Anexo 6. II Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (II PNRCD).
- [2] PLAN DE GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN DE LA COMUNIDAD DE MADRID (2002-2011). Consejería de Medio Ambiente. Comunidad de Madrid. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. [http://www.madrid.org/staticFiles/site\\_52811278/cit\\_13710/P\\_RCD.pdf](http://www.madrid.org/staticFiles/site_52811278/cit_13710/P_RCD.pdf)
- [3] SYMONDS, ARGUS, COWI Y PRC BOUWCENTRUM: "Construction and Demolition; Waste Management Practices, and Their Economic Impacts"; Report to DGXI, European Commission, Febrero 1999.
- [4] GEHO-CEB. "Demolición y reutilización de estructuras de hormigón", Recomendaciones y Manuales Técnicos (E-7), Editado por el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 1997.
- [5] RILEM (International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures). "Recycled aggregates and recycled aggregate Concrete", Recycling of Demolished Concrete and Masonry. RILEM Report 6, Edited by Hasen, T.C., Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, First edition, 1992.
- [6] MONOGRAFÍA ACHE "Utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural". Comisión 2 Grupo de Trabajo 2/5 "Hormigón Reciclado". 2006.
- [7] CEDEX. Informe "Estudio experimental de los áridos finos reciclados", para la Dirección General de Calidad Ambiental del MMARM. Diciembre 2010.
- [8] M. SÁNCHEZ DE JUAN, P. ALAEJOS. MONOGRAFÍA CEDEX: "Estudio sobre las propiedades del árido reciclado: utilización en hormigón estructural". 2006.
- [9] ETXEBARRIA, M.: "Experimental Study on Microstructure and Structural Behaviour of Recycled Aggregate Concrete". Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. 2004.
- [10] MUELLER, A.; WINKLER, A.: "Characteristics of Processed Concrete Rubble"; Use of Recycled Concrete Aggregate, Sustainable Construction; Ed. Dhir, Henderson y Limbachiya; p.p. 109-120, 1998.
- [11] WAHLSTRÖM, M; LAINE-YLIJOKI. J; MÄTTÄNEN, A; LUOTOJÄRVI, T; KIVEKÄS, L: "Environmental Quality Assurance System for Use of Crushed Mineral Demolition Wastes in Earth Constructions". Waste Material in Construction: Putting Theory into Practice. Edited by Goumans, Senden, and van der Sloot. 1997, pp. 725-734.
- [12] KIBRIYA, T.; SPEARE, P.R.S.; "The use of crushed brick coarse aggregate in concrete", Concrete for Environment Enhancement and Protection. Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, p.495-503. 2004.

- [13] URCELAY, C. “Reciclado de escombros de demolición para la fabricación de cemento”,
- [14] CEDEX. Informe “Reciclado de RCDs como áridos de hormigones no estructurales”, para para el Proyecto CENIT CLEAM. Diciembre 2009.  
(a) <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/3a-RESOLUCION-472-DE-2017.pdf>
- [15] Analyse du cycle de vie – Comprendre et réaliser un écobilan.  
2e édition mise à jour et augmentée. – Olivier Jolliet – Myriam Saadé – Pierre Crettaz – Shanna Shaked
- [16] ISO 14000 Series – Environmental Management – Ritchie Hayes
- [17] Producción más limpia. U de los Andes - Bart Van Hoof, Néstor Monroy y Alex Saer
- [18] Estudios de Granulometría <https://www.idu.gov.co/web/content/7570/ET-Cap4.pdf>

### *Links solicitados mediante la web*

- <https://definicion.de/aprovechamiento/>
- [http://www.canteradecombia.com/detalles\\_productos.php?codigo=5&categoria=5](http://www.canteradecombia.com/detalles_productos.php?codigo=5&categoria=5)
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Material\\_cer%C3%A1mico](https://es.wikipedia.org/wiki/Material_cer%C3%A1mico)
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Construcci%C3%B3n>
- <http://dearkitectura.blogspot.com.co/2012/06/que-son-las-demoliciones.html>
- <https://definicion.de/desmantelar/>
- Real Academia Española y Asociación de Academias de la Lengua Española (2014). «Hormigón». Diccionario de la lengua española (23.<sup>a</sup> edición). Madrid: Espasa. ISBN 978-84-670-4189-7. Consultado el 28 de November de 2017.
- <http://www.aclimatecolombia.org/huella-de-carbono/>
- <https://www.definicionabc.com/medio-ambiente/impacto-ambiental.php>
- <https://www.definicionabc.com/general/obra-civil.php>
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Pavimento>
- <https://definicion.de/petreo/>
- <https://definicion.mx/ciclo-de-vida/>
- <https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/4894/que-son-los-gases-de-invernadero>
- <http://oab2.ambientebogota.gov.co/es/preguntas-frecuentes/que-es-gestion-ambiental>
- <https://prezi.com/vg39xawaeav4/inventarios-del-ciclo-de-vida/?webgl=0>
- <http://www.ismedioambiente.com/programas-formativos/simapro-herramienta-de-analisis-de-ciclo-de-vida>
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Software>

- <http://www.saludgeoambiental.org/material-particulado>
- <https://erenovable.com/agotamiento-de-recursos-naturales/ecotoxicidad>
- <https://es.scribd.com/doc/204500094/La-ecotoxicidad-es-un-concepto-que-se-refiere-al-estudio-de-los-efectos-toxicos>

### *Software*

- SimaPro V8.40.