

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA HUELLA DE CARBONO NECESARIA PARA  
LA ASIMILACIÓN DE LAS EMISIONES GENERADAS POR LA PRODUCCIÓN  
DEL AGREGADO PÉTREO ARENA GRUESA, UTILIZANDO RESIDUOS DE  
CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) Y DE EXTRACCIÓN A CIELO  
ABIERTO.

JAVIER ANDRÉS PIMIENTO RAMÍREZ  
CAMILO ENRIQUE RESTREPO VILLADA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
SISTEMA DE FORMACIÓN AVANZADA  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL PARA EL CONTROL Y  
PRESERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE  
MEDELLÍN  
2018

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA HUELLA DE CARBONO NECESARIA PARA  
LA ASIMILACIÓN DE LAS EMISIONES GENERADAS POR LA PRODUCCIÓN  
DEL AGREGADO PÉTREO ARENA GRUESA, UTILIZANDO RESIDUOS DE  
CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) Y DE EXTRACCIÓN A CIELO  
ABIERTO.

JAVIER ANDRÉS PIMIENTO RAMÍREZ  
CAMILO ENRIQUE RESTREPO VILLADA

Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Ingeniería Ambiental para  
el Control y la Preservación del Medio Ambiente.

Asesor:

CARLOS FERNANDO CADAVID  
Ingeniero Químico, Master en Planeación Ambiental

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
SISTEMA DE FORMACIÓN AVANZADA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
MEDELLÍN  
2018

MAYO DE 2018

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

**CAMILO ENRIQUE RESTREPO VILLADA**

**JAVIER ANDRÉS PIMIENTO RAMÍREZ**

“Declaramos que este trabajo de grado no ha sido presentado para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad” Art 82 Régimen Discente de Formación Avanzada

FIRMAN:

Camilo Restrepo.

Javier Pimiento.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>9</b>
<b>1. METODOLOGÍA DE CÁLCULO</b>	<b>11</b>
<b>2. GENERACIÓN DEL AGREGADO POR MINERÍA A CIELO ABIERTO</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Generación del agregado:</b>	<b>13</b>
2.1.1 Línea de trituración METSO 3208	13
2.1.2 Trituración primaria	14
2.1.3 Clasificación y lavado circuito 3208-P	15
<b>2.2 Consumo de Combustible y Energía</b>	<b>17</b>
<b>2.3 Calidad del agregado generado</b>	<b>18</b>
<b>3. GENERACIÓN DEL AGREGADO PÉTREO UTILIZANDO RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Generación del agregado</b>	<b>20</b>
3.1.1 Aprovechamiento, reutilización, reincorporación y reciclaje de los RCD	20
3.1.2 Tolva primaria	21
3.1.3 Alimentador vibrante	21
3.1.4 Cinta transportadora	21
3.1.5 Tromel clasificador	22
3.1.6 Cabina de triaje para 6 puestos de trabajo planos generales de dimensionado	22
3.1.7 Separador neumático <i>Smartcrush</i>	22
3.1.8 Separador magnético permanente <i>OVERBAND</i>	22
3.1.9 Impactador móvil	23
3.1.10 Criba de tres (3) salidas	23

<b>3.2 Consumo de Combustible y Energía</b>	<b>23</b>
<b>3.3 Calidad del agregado generado</b>	<b>25</b>
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>26</b>
<b>4.1 Calculo de emisiones CO<sub>2</sub></b>	<b>26</b>
<b>4.2 Calculo Componente Emisiones de CO<sub>2</sub></b>	<b>27</b>
<b>4.3 Comparación huella ecológica procesos evaluados</b>	<b>28</b>
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>29</b>
<b>7. RECOMENDACIONES</b>	<b>30</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>31</b>

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación de la mina, extracción de gravas y arenas a cielo abierto Bello Antioquia	13
Ilustración 2. Proceso línea Metso 3208, Fuente Conasfaltos s.a. 2018	14
Ilustración 3. Tolva de alimentación	15
Ilustración 4 Proceso lavado y clasificación de materiales	17
Ilustración 5. Características técnicas del agregado	19
Ilustración 6. Esquema descriptivo de las actividades de clasificación y beneficio, fuente Conasfaltos S.A. 2018	20
Ilustración 7. Área de operación planta de reciclaje de residuos de construcción y demolición, Bello Antioquia	21
Ilustración 8. Vista en planta de los equipos propuestos para la clasificación y beneficio de RCD	23
Ilustración 9. Características técnicas del agregado	25

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipo de recurso considerado para el cálculo de la huella	11
Tabla 2. Consumo de recursos e insumos necesarios para producir 90.000 ton/mes de agregados	17
Tabla 3 Consumo de energía eléctrica y DIESEL necesarios para producir 1 Tonelada de arena gruesa	18
Tabla 4. Consumo de energía eléctrica y DIESEL para producir 7.000 ton/mes de agregados	24
Tabla 5 Consumo de energía eléctrica y DIESEL necesarios para producir 1 Tonelada de arena gruesa	24
Tabla 6. Factores de Emisión CO <sub>2</sub>	26
Tabla 7. Emisión de CO <sub>2</sub> por proceso	26
Tabla 8. Toneladas de CO <sub>2</sub> Generadas por cada proceso para producir 1 tonelada de arena gruesa	27
Tabla 9. Área necesaria para fijar el CO <sub>2</sub> generado por la producción de 1 tonelada de arena gruesa	27
Tabla 10. Huella Ecológica anual	28
Tabla 11. Huella Ecológica anual	28
Tabla 12. Comparación huella ecológica ambos procesos de generación	28

## **RESUMEN**

La huella ecológica mide la cantidad de recursos necesarios para soportar el consumo de los mismos; actividades como la minería para obtener agregados pétreos, indispensables para el desarrollo de la sociedad, presentan demandas altas de recursos tanto para suplir sus necesidades de generación como para mitigar los residuos propios de la actividad (sólidos, líquidos y gaseosos). Teniendo en cuenta lo anterior, se deben buscar alternativas que suplan la necesidad del agregado generando una huella menor. El presente trabajo de grado tiene como objetivo comparar el equivalente en términos de la superficie apta para fijar una (1) tonelada de agregado pétreo de alto movimiento comercial (Arena gruesa) durante su beneficio por 2 vías diferentes: la minería a cielo abierto y el reciclaje de residuos de construcción y demolición, buscando resaltar la viabilidad de la segunda alternativa, a través de la cuantificación de su tasa de fijación de CO<sub>2</sub>, generada por el consumo de combustible Diesel y energía utilizando factores de emisión de dióxido de carbono y factores de fijación aplicables al territorio colombiano.

## INTRODUCCIÓN

El valle de Aburrá es una de las principales zonas industriales de Colombia, siendo una región de constante cambio y evolución rápida que está a la cabeza en el país en temas de infraestructura con tasas altas de crecimiento poblacional. Por lo anterior y teniendo en cuenta los cambios dinámicos en el tejido urbano que aumentan con construcciones de cada vez mayor envergadura necesarias para satisfacer las necesidades de la población, surgen dos tareas importantes enfocadas al uso sostenible de los recursos: la necesidad de encontrar materiales de construcción alternativos de alta calidad que permitan evitar la explotación del recurso suelo para obtener agregados pétreos y la gestión de los residuos de construcción y demolición generados en las obras civiles.

La arena gruesa o arena para concreto es el agregado de mayor movimiento a nivel comercial por, como su nombre lo indica, ser indispensable para la formación del concreto. Para efectos técnicos, se puede definir según las Normas Técnicas Colombianas de determinación de gradación en los materiales como el agregado que al pasar por un proceso de manufactura pasa por el tamiz 200 menor al 10%<sup>1</sup>, presenta un módulo de finura entre 3,7 - 4,1<sup>2</sup>, es de solidez en sulfato de magnesio inferior al 15% y contiene terrones de arcilla y partículas deleznableles por debajo del 3%<sup>3</sup>.

Para el ámbito local, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible expidió la resolución 472 de 2017 que reglamenta en el país la Gestión Integral de los Residuos de Construcción y Demolición, o escombros, para disminuir a las afectaciones generadas en el ambiente tales como la contaminación del aire, el agua, el suelo y alteración del paisaje. Esta norma tiene como meta generar un incremento anual del 2% en peso, hasta alcanzar como mínimo un 30% de materiales aprovechables. 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.<sup>4</sup>

---

<sup>1</sup>NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 78 1995-05-10 INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. MÉTODO PARA DETERMINAR POR LAVADO EL MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ 75 EN AGREGADOS MINERALES

<sup>2</sup>NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 77 MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS POR TAMIZADO DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS

<sup>3</sup>NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 589 2000-06-21 CONCRETOS. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES EN LOS AGREGADOS

<sup>4</sup><http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros>

La huella ecológica se define como el *“área de territorio ecológicamente productiva (cultivos, pastos, bosques o ecosistemas acuáticos) necesaria para producir los recursos utilizados y para asimilar los residuos producidos por una población determinada con un nivel de vida específico de forma indefinida, sea donde sea que se encuentre ese área* <sup>5</sup>

A través del presente documento se cuantificará la cantidad de CO<sub>2</sub> generada por la cantidad de combustible Diesel y energía eléctrica consumidos para la producción de una (1) tonelada del agregado pétreo “arena gruesa” por extracción en minería a cielo abierto y en una planta procesadora de residuos de la construcción y demolición comparando las tasas de asimilación de CO<sub>2</sub> por hectárea al año en Colombia.

---

<sup>5</sup> Wackernagel M Rees W. (1996) *Our ecological footprint. Reducing human impact on Earth*, New Society Publisher, Canada

## 1. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

Para realizar el cálculo de la huella se tiene en consideración que los sistemas ecológicos son necesarios para la obtención de flujos de materiales y energía requeridos para la producción de cualquier tipo de producto, para la absorción de los residuos de los procesos de producción y del uso final de los productos.

Desde el punto de vista del impacto ambiental, la generación de arena gruesa, se puede considerar un como un sistema integrado dentro de su entorno con entradas asociadas al consumo de recursos naturales: agua, agregados pétreos, energía y combustibles fósiles (Diesel).

El impacto asociado al consumo de recursos naturales (Ver Tabla 1) se determina a partir de las emisiones de CO<sub>2</sub> relativas para generar una (1) tonelada de arena gruesa, para efectos de este trabajo se tomará específicamente el consumo de energía eléctrica o combustible involucrados en el proceso de generación por ser datos exactos medidos en ambos procesos, descartando la capacidad de suministros y la asimilación de residuos por no contar con información precisa. Estas emisiones serán posteriormente traducidas a superficie necesaria para asimilarlas.

**Tabla 1. Tipo de recurso considerado para el cálculo**

Recurso considerado
Energía Eléctrica
Combustible (Diesel)

Para el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> se emplean factores de emisión, obtenidos de diversas fuentes. Estos factores se aplican teniendo en cuenta el cálculo directo a partir de los consumos multiplicando éstos por los factores de emisión.

En este documento se calcula el área requerida para absorber el CO<sub>2</sub> producido por el consumo de recursos mencionados anteriormente. A partir de la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida a la atmósfera, dividiendo por la capacidad de fijación de la masa forestal se obtiene la superficie requerida.

Según estudio realizado en 2016 por la Universidad del Tolima, los sistemas de uso del suelo con leñosas perennes capturan dióxido de carbono atmosférico mitigando el cambio climático, estimando que la fijación máxima de carbono en Colombia para sistemas agroforestales es de 17,7 tonCO<sub>2</sub>/ha/año<sup>6</sup>.

Teniendo en cuenta las explicaciones anteriores, los cálculos se realizarán aplicando las siguientes ecuaciones:

#### Ecuación 1. Cálculo emisiones de CO<sub>2</sub>

$$\text{Emisión de CO}_2 \text{ (ton CO}_2\text{)} = \left( \text{Factor de Emisión } \left( \frac{\text{tonCO}_2}{\text{MW ó gal}} \right) \right) * (\text{Emisión calculada (MW ó GAL)})$$

#### Ecuación 2. Cálculo Huella

$$\text{Huella } \left( \frac{\text{ha}}{\text{año}} \right) = \frac{\text{Emisiones (ton co}_2\text{)}}{\text{Coeficiente de fijación } \left( \frac{\text{ton co}_2}{\text{ha} - \text{año}} \right)}$$

---

<sup>6</sup> Marín Q., M. del P.; Andrade, H.J.; Sandoval, A.P. 2016. Fijación de carbono atmosférico en la biomasa total de sistemas de producción de cacao en el departamento del Tolima, Colombia. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 19(2): 351-360

## 2. GENERACIÓN DEL AGREGADO POR MINERÍA A CIELO ABIERTO

### 2.1 Generación del agregado:

La extracción de materiales se realiza en una mina localizada en el municipio de Bello-Antioquia, el método de extracción es a cielo abierto, extrayendo en promedio 90.000 toneladas al mes y procesa 30.000 toneladas de arena gruesa al mes, en un proceso de trituración a 2 niveles.



**Ilustración 1. Ubicación de la mina, extracción de gravas y arenas a cielo abierto, Bello Antioquia**

#### 2.1.1 Línea de trituración METSO 3208

En la Ilustración 2 se muestra el diagrama de flujo del proceso de trituración en la línea Metso 3208 con las cantidades estimadas de material producido. Esta línea es la responsable del procesamiento de más de un 80% del material en la planta de trituración.

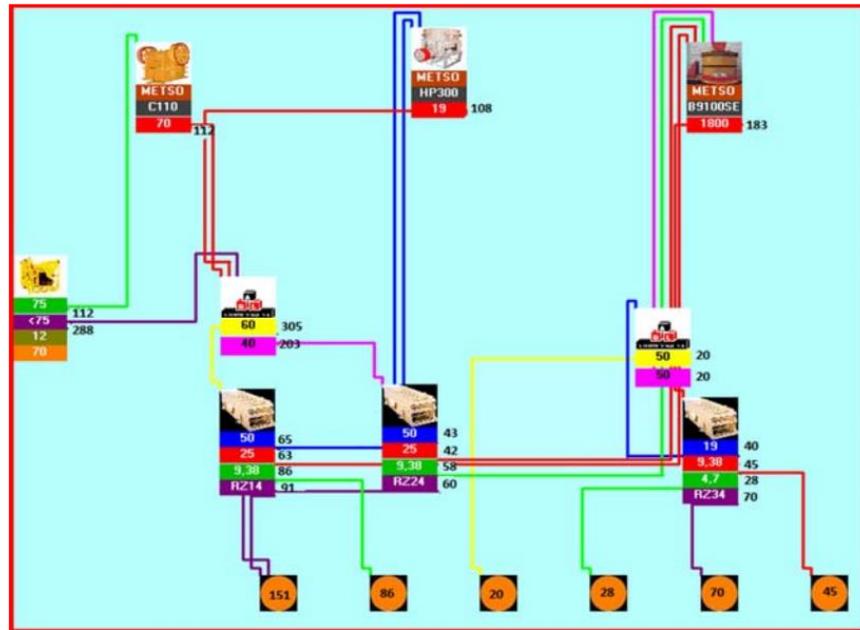


Ilustración 2. Proceso línea Metso 3208, Fuente Conasfaltos S.A. 2018

A continuación se describen los procesos que componen la trituras:

### 2.1.2 Trituras primaria

En este proceso se deposita el material aluvial extraído del suelo, de tamaño máximo 0,70 m para su trituras. El ritmo de alimentación hacia la trituras varía entre 380 y 420 ton/h (13 a 17 viajes/hora de camión articulado de capacidad 15 m<sup>3</sup>); el material se deposita en una tolva de alimentación de capacidad 50 m<sup>3</sup> (85 ton) y es transportado a través del alimentador de oruga hacia una zaranda de pre-cribado que corta el material a malla de 75 mm (3"), con el fin de evitar el ingreso de finos a la trituras primaria que generen desgaste prematuro en la misma, así como regular la alimentación de material grueso hacia la misma (ver Ilustración 3).



**Ilustración 3. Tolva de alimentación**

El material pétreo superior a 75 mm e inferior a 0,70 m, que representa entre un 20% y 30% en peso de la carga total de material, pasa a una trituradora tipo mandíbula (*Jaw Crusher*) marca Metso C110, con capacidad máxima de 160 a 220 ton/h, a un reglaje o abertura de 70 mm, trabajando cerca de un 70% de su capacidad máxima y procesando entre 110 y 160 ton/h de material. El material pétreo que pasa la abertura de 75 mm, entre 70% a 80% del material alimentado a la tolva, desciende a través de un *shut* de descarga, es transportado por medio de una banda y, posteriormente, se une con el flujo de material procesado por la trituradora primaria.

### **2.1.3 Clasificación y lavado circuito 3208-P**

El flujo de material proveniente del primer proceso más el material triturado que viene desde la trituración secundaria (la cual se describe más adelante), es distribuido a través de un *shut* a dos zarandas de clasificación y lavado de tres niveles (zaranda Metso y zaranda Astecnia). Aproximadamente un 60% de la carga de material es dirigido hacia la zaranda de mayor capacidad (Metso) y el 40% restante a la zaranda Astecnia. La configuración de mallas de cribado de estas dos zarandas es la siguiente(Ver Ilustración 4):

➤ Primer nivel

Mallas de abertura 50 mm (2") y cinco duchas de lavado en cada zaranda con aspersores; el material mayor a 50 mm e inferior 200 mm es lavado, clasificado y enviado a través de una banda transportadora hacia una trituración secundaria (Cono HP 300). El material retenido en este nivel y que es enviado hacia la trituración secundaria varía entre 105 y 155 ton/h.

➤ Segundo nivel

Mallas de abertura 25 mm (1") y cuatro duchas de lavado en cada zaranda con aspersores tipo cola de castor; el material mayor a 25 mm e inferior a 50 mm es lavado, clasificado y enviado a través de una banda transportadora hacia la trituración terciaria, y el material retenido en este nivel y que es enviado hacia la trituración terciaria, varía entre 100 y 150 ton/h.

➤ Tercer nivel

Mallas de abertura 9,5 mm (3/8") y cuatro duchas de lavada en cada zaranda con aspersores tipo cola de castor; el material mayor a 10 mm e inferior a 25 mm de la zaranda Metso (80 y 120 ton/h) es enviado a un trómel de capacidad 75 m<sup>3</sup>/h, en el cual se da un segundo lavado al material, y se obtiene a partir de allí el primer producto para comercialización que corresponde al triturado de 1" (25 mm). Por otra parte, el material mayor a 10 mm e inferior a 25 mm de la zaranda Astecnia que corresponde entre 55 a 65 ton/h, es enviado a través de una banda transportadora hacia la trituración terciaria.

El material que pasa la malla de abertura 9,5 mm (3/8") es conducido a través de canelones hacia un sistema de *jiggs* que por separación gravimétrica concentran las arenas de mayor peso y las conducen hacia el sistema de recuperación de oro, mientras que las arenas restantes pasan a un sistema recuperación y lavado a través de dos norias, una de 75 m<sup>3</sup>/h y otra de 45 m<sup>3</sup>/h. De éste sistema de lavado se obtiene el segundo producto para comercialización que corresponde a una arena de grano grueso de tamaño máximo 9,5 mm (3/8").

El consumo de agua en las zarandas depende del contenido de arcilla que presenten los materiales pétreos; por lo general este consumo varía entre 1,5 y 3 m<sup>3</sup>/ton de material.



**Ilustración 4 Proceso lavado y clasificación de materiales.**

## **2.2 Consumo de Combustible y Energía**

La Tabla 2 indica la cantidad de energía y combustible necesario para una producción promedio de 90.000 toneladas de agregados tales como arena gruesa, arena de 1", Triturado de 3/8", Base granular, entre otros. Estos datos son medidos para los años 2013 y 2014.

**Tabla 2. Consumo de recursos e insumos necesarios para producir 90.000 ton/mes de agregados**

<b>Recurso o Insumo</b>	<b>Equipo/Máquina</b>	<b>Consumo</b>	<b>Unidad</b>
Energía Eléctrica	Trituradora Metso	1516.067	MW/mes
	Explotación	0,65	MW/mes
Combustible (Diesel)	Equipo Móvil	52.277	gal/mes

Adaptado de la Tabla 3-71 Reactivos e insumos y Tabla 3-59 Requerimiento mensual de energía eléctrica del documento Información complementaria para la modificación del Plan de Manejo Ambiental de un proyecto de explotación de materiales de construcción y recuperación de oro en Bello y Copacabana, Antioquia. Respuesta al Auto 2447 de 2015

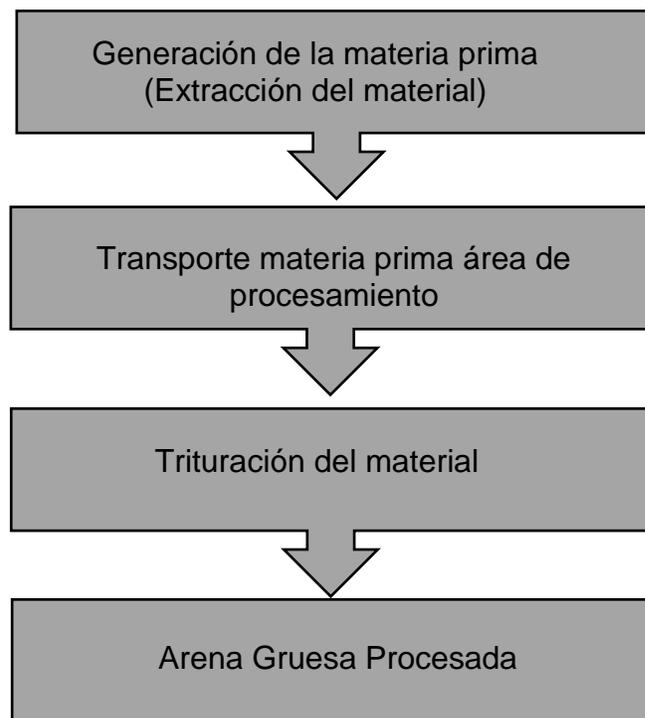
Según los históricos de producción para la empresa Conasfaltos S.A., se estima que un 30 % de la producción mensual es arena gruesa, por lo cual se toma como base de cálculo 30.000 ton/mes de arena gruesa. La Tabla 3 indica los insumos y recursos necesarios para generar una (1) tonelada de arena gruesa.

**Tabla 3 Consumo de energía eléctrica y DIESEL necesarios para producir 1 Tonelada de arena gruesa**

Recurso o Insumo	Equipo/Máquina	Consumo	Unidad
Energía Eléctrica	Trituradora Metso	0,015	MW/Ton
	Explotación	$6,6 * 10^{-6}$	MW/Ton
Combustible (Diesel)	Equipo Móvil	0,523	gal/Ton

El Esquema 1 explica el flujo de materiales presente en la generación del agregado pétreo conocido como arena gruesa.

**Esquema 1. Proceso productivo generación de arena gruesa**



### **2.3 Calidad del agregado generado**

Las Normas Técnicas Colombianas de determinación de gradación en los materiales como el agregado definen arena gruesa o para concreto a aquella con las siguientes características:

1. Matriz 200 menor al 10%<sup>7</sup>
2. Módulo de finura entre 3,7 - 4,1<sup>8</sup>
3. Solidez en sulfato de magnesio inferior al 15%
4. Terrones de arcilla y partículas deleznales por debajo del 3%<sup>9</sup>.

La ilustración 5, extraída del Anexo 1, detalla que el material generado por el proceso cumple con las características previamente mencionadas.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS			
ENSAYO	MÉTODO DE ENSAYO	RANGOS ESPECIFICADOS	VALOR TÍPICO
Material que pasa por tamiz 200	NTC 78	<10%	2,2%
Módulo de Finura	NTC 77	3,7 - 4,1	3,9
Solidez en Sulfato de Magnesio	NTC 126	<15%	2,7%
Terrones de Arcilla y Partículas Deleznales	NTC 589	<3%	1,5%

**Ilustración 5. Características técnicas del agregado**

<sup>7</sup>NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 78 1995-05-10 INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. MÉTODO PARA DETERMINAR POR LAVADO EL MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ 75 EN AGREGADOS MINERALES

<sup>8</sup> NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 77 MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS POR TAMIZADO DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS

<sup>9</sup>NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 589 2000-06-21 CONCRETOS. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES EN LOS AGREGADOS

### 3. GENERACIÓN DEL AGREGADO PÉTREO UTILIZANDO RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)

#### 3.1 Generación del agregado

##### 3.1.1 Aprovechamiento, reutilización, reincorporación y reciclaje de los RCD

Como se ha mencionado anteriormente, en el proceso propuesto para el aprovechamiento, reutilización, reincorporación y reciclaje de los RCD se pueden diferenciar dos actividades generales principales: la clasificación del material de RCD recibido y el beneficio de los materiales ya clasificados mediante trituración, los cuales son descritos a continuación (Ilustración 6)

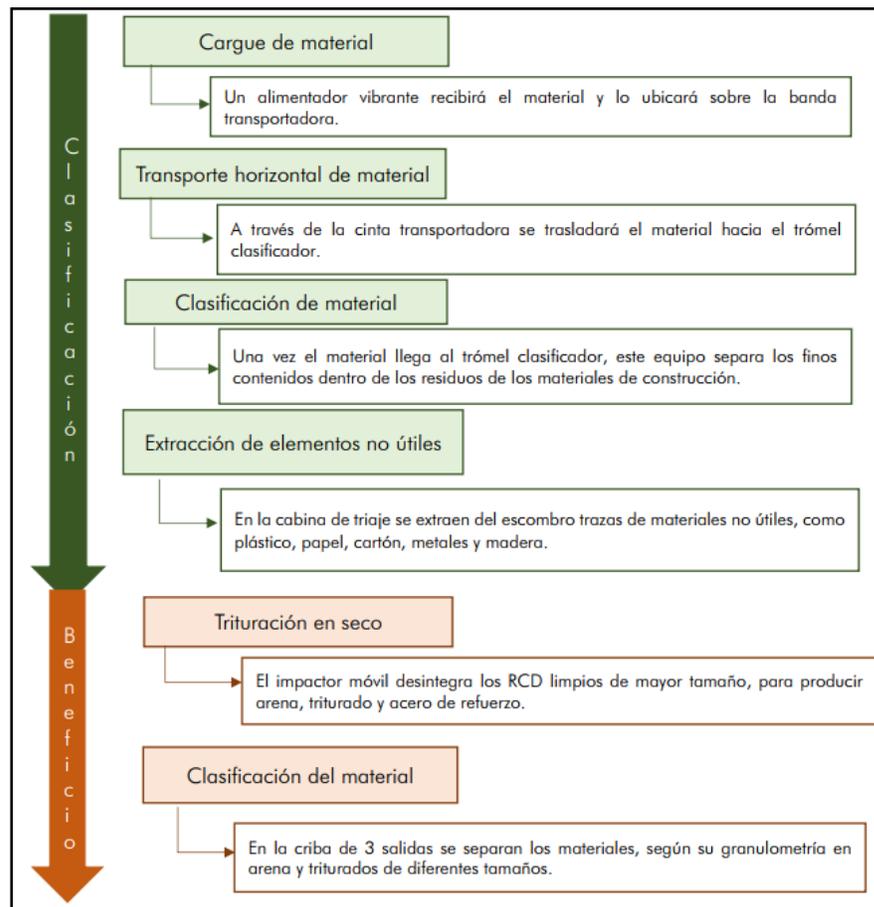


Ilustración 6. Esquema descriptivo de las actividades de clasificación y beneficio, fuente Conasfaltos S.A. 2018



**Ilustración 7. Área de operación planta de reciclaje de residuos de construcción y demolición, Bello Antioquia**

A continuación se describen las características de los equipos que componen el área de aprovechamiento, reutilización, reincorporación y reciclaje de los RCD.

### **3.1.2 Tolva primaria**

Tolva primaria de capacidad de 10 m<sup>3</sup>, destinada a la recepción de residuos de construcción y demolición, desmontable por paneles para facilitar su mantenimiento y transporte. Reforzada convenientemente para soportar grandes esfuerzos y mínima altura para facilitar el acceso a la descarga con diferentes equipos como pueden ser pala cargadora, retro-excavadora, pulpo, etc.

### **3.1.3 Alimentador vibrante**

Alimentador vibrante modelo VF12.30 de dimensiones de 1.200 mm de ancho y 3.000 mm de largo, diseñado para el transporte de inertes en condiciones de máxima dureza.

### **3.1.4 Cinta transportadora**

Banda transportadora C1 encargada de transportar el material desde el alimentador vibrante al tromel, de 21 m de largo y 0,8 m de ancho. En la cobertura de bandas se realizará separación de residuos.

### **3.1.5 Tromel clasificador**

Tromel clasificador modelo ST 60.20, en acero recubierto con goma antiabrasiva, de 6 m de largo y 2 m de diámetro, separa dos (2) granulometrías. Dos luces diferentes para la obtención de dos granulometrías diferentes.

Canaleta de alimentación: De fabricación metálica destinada al encauzamiento del material a la boca de entrada del Tromel.

Canaleta de salida: De construcción metálica de gran robustez que recoge el material no pasante del Tromel (gruesos) llevándolo hasta la cinta transportadora de recogida.

Encauzador de finos –

- Bajo la virola recoge el material pasante dejando caer al firme.
- Disponible la posibilidad de ser recogido también por una cinta transportadora. Incluye revestimiento interior de caucho especial contra la abrasión, mínimo ruido, ayuda a la resistencia de la carga y gran resistencia al impacto de materiales más pesados.

### **3.1.6 Cabina de triaje para 6 puestos de trabajo planos generales de dimensionado**

Habitáculo montado con paneles de contenedor para dar cabida a 6 operarios que realizarán la selección manual de material dependiendo de su naturaleza, como pueden ser maderas, plásticos, etc. En su centro se cuenta la Cinta Transportadora de Triage C

### **3.1.7 Separador neumático *Smartcrush***

Destinado a la separación para la limpieza de los materiales por su masa, en su interior existen dos cintas transportadoras donde, en su alimentación de una a la otra, se instalará el sistema de separación neumática. Reducción de entrada de  $\varnothing 350$  a  $\varnothing 300$  mm. La canalización es mediante ductos para evitar emisiones de material particulado.

### **3.1.8 Separador magnético permanente *OVERBAND***

Se trata de equipos formados por un imán permanente, rodeado de una cinta transportadora, de tal modo que a medida que los metales magnéticos son captados por el separador, automáticamente son expulsados del mismo gracias a la cinta transportadora. El imán permanente se trata de una placa magnética bipolar. Este sistema permite obtener un campo magnético central y profundo, apto para todo tipo de configuración geométrica de los materiales férricos a atraer. El sistema bipolar reduce la entrada accidental de los hierros entre el imán y la cinta, preservando el desgaste de la

misma. La estructura de la cinta transportadora expulsora está realizada en hierro en forma de U de 160 mm.

### 3.1.9 Impactador móvil

Impactador móvil RM 70GO2.0 de 150 t/h de capacidad a la salida, motor John Deere diésel de 115 kW, 1800 rpm e incluye supresor de polvo.

### 3.1.10 Criba de tres (3) salidas

Criba CS 3600 de dos (2) mallas tres (3) salidas con acople directo a impactador móvil y bandeja de retorno CS 2500. En la ilustración 8 se observa una vista en planta de los equipos utilizados para el aprovechamiento, reutilización, reincorporación y reciclaje de los RCD.

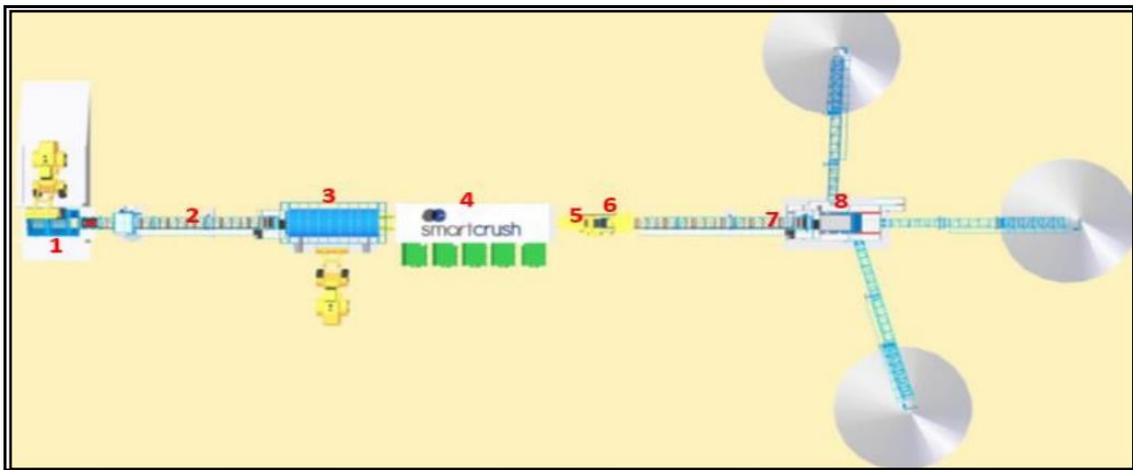


Ilustración 8. Vista en planta de los equipos propuestos para la clasificación y beneficio de RCD

### 3.2 Consumo de Combustible y Energía

La Tabla 4 indica la cantidad de recursos tales como energía y combustible necesario para una producción promedio de 7.000 toneladas de agregados tales como arena gruesa, arena de 1" y Base granular. Estos datos son sacados de la proyección de fábrica entregada por el fabricante del equipo entregado a la autoridad ambiental para solicitar el licenciamiento.

**Tabla 4. Consumo de energía eléctrica y DIESEL para producir 7.000 ton/mes de agregados**

Recurso o Insumo	Equipo/Máquina	Consumo	Unidad
Energía Eléctrica	Línea de trituración	16,58	MW/mes
Combustible (Diesel)	Equipo Móvil	236	gal/mes

Adaptado de la Tabla 3-3 Insumos para la clasificación y beneficio de RCD del Informe anexo a la solicitud de cambio menor o Giro Ordinario al Plan de Manejo Ambiental del "Proyecto de explotación de materiales de construcción y recuperación de oro en Bello y Copacabana, Antioquia"

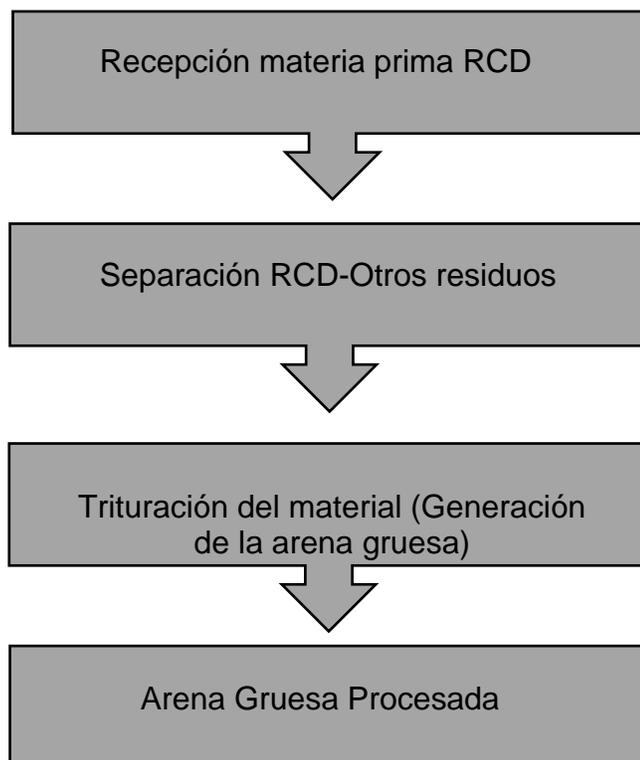
La planta tiene un estimado de 15 % de la producción mensual es arena gruesa, por lo cual se toma como base de cálculo 7000 ton/mes de arena gruesa. La Tabla 5 indica consumo de energía y DIESEL necesarios para generar 1 tonelada de arena gruesa

**Tabla 5 Consumo de energía eléctrica y DIESEL necesarios para producir 1 Tonelada de arena gruesa**

Recurso o Insumo	Equipo/Máquina	Consumo	Unidad
Energía Eléctrica	Línea de trituración	$3,6 * 10^{-4}$	MW/Ton
Combustible (Diesel)	Equipo Móvil	0,03	gal/Ton

El Esquema 2 explica el flujo de materiales presente en la generación del agregado pétreo conocido como arena gruesa

**Esquema 2. Proceso productivo generación de arena gruesa**



### 3.3 Calidad del agregado generado

Las Normas Técnicas Colombianas de determinación de gradación en los materiales como el agregado definen arena gruesa o para concreto a aquella con las siguientes características:

1. Matriz 200 menor al 10%<sup>10</sup>
2. Módulo de finura entre 3,7 - 4,1<sup>11</sup>
3. Solidez en Sulfato de Magnesio inferior al 15%
4. Terrones de arcilla y partículas deleznable por debajo del 3%<sup>12</sup>.

La ilustración 9, extraída del Anexo 2 detalla que el material generado por el proceso cumple con las características previamente mencionadas.

Ensayo	Método de ensayo	Rangos Especificados	EcoArena
Partículas deleznales	NTC 589	≤ 3%	0.85%
% Pasa tamiz 200	NTC 78	≤ 7%	2.9-7%
Módulo de finura	NTC 77	3.7 - 4.1	3.5%
Solidez en sulfato de sodio/magnesio	NTC 126	≤ 10%	1.7%
Granulometría	NTC 77	Franja granulométrica	Ver tabla

**Ilustración 9. Características técnicas del agregado**

<sup>10</sup>NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 78 1995-05-10 INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. MÉTODO PARA DETERMINAR POR LAVADO EL MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ 75 EN AGREGADOS MINERALES

<sup>11</sup>NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 77 MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS POR TAMIZADO DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS

<sup>12</sup>NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 589 2000-06-21 CONCRETOS. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES EN LOS AGREGADOS

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Calculo de emisiones CO<sub>2</sub>

Como se evidencia en la Tabla 6, Los factores de emisión utilizados son estimados recientes calculados específicamente para Colombia, en el caso de la energía eléctrica la cifra a utilizar es del año 2017 y el para el caso del DIESEL del 2016.

**Tabla 6. Factores de Emisión CO<sub>2</sub>**

Recurso o Insumo	Factor de Emisión	Unidades	Fuente
Energía Eléctrica	0,21	tonCO <sub>2</sub> /MW	Factores de emision del S.I.N. sistema interconectado nacional COLOMBIA 2017
Combustible (Diesel)	0,010	tonCO <sub>2</sub> /gal	Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos FECOC 2016

Teniendo en cuenta lo anterior para el cálculo de las toneladas de CO<sub>2</sub> generadas por cada proceso, se aplica la ecuación 1 multiplicando los factores de emisión descritos en la Tabla 6 a los datos calculados en las Tablas 3 y 5, obteniendo lo descrito en la Tabla 7.:

$$\text{Emisión de CO}_2 \text{ (ton CO}_2\text{)} = \left( \text{Factor de Emisión} \left( \frac{\text{tonCO}_2}{\text{MW ó gal}} \right) \right) * \left( \text{Emisión calculada (MW Ó GAL)} \right)$$

**Tabla 7. Emisión de CO<sub>2</sub> por proceso**

Recurso o insumo	Recurso necesario para producir 1 tonelada de Arena Gruesa				Emisión de CO <sub>2</sub> generados por la producción de 1 tonelada de arena gruesa			
	Extracción de material por minería	Unidades	Generación por RCD	Unidades	Extracción de material por minería	Unidades	Generación por RCD	Unidades
Energía Eléctrica	0,01506	MW	0,0036	MW	0,00316	ton CO <sub>2</sub>	0,000756	ton CO <sub>2</sub>
Combustible (Diesel)	0,523	Gal	0,03	Gal	0,00523		0,0003	

La Tabla 8 indica las Toneladas de CO<sub>2</sub> Generadas por cada proceso para producir 1 tonelada de arena gruesa

**Tabla 8. Toneladas de CO<sub>2</sub> Generadas por cada proceso para producir 1 tonelada de arena gruesa**

<b>Emisión de CO<sub>2</sub> generado por la producción de 1 Tonelada de arena Gruesa (tonCO<sub>2</sub>)</b>	
<b>Extracción de material por minería</b>	0,008
<b>Generación por medio de RCD</b>	0,001

#### **4.2 Cálculo Componente Emisiones de CO<sub>2</sub>**

Como se expuso inicialmente la fijación de carbono a utilizar es de 17,7 tonCO<sub>2</sub>/ha-año. Teniendo en cuenta los resultados hallados en la Tabla 8, una(1) tonelada de arena gruesa producida por minería a cielo abierto emite 0,008 tonCO<sub>2</sub> y 1 tonelada de arena gruesa producida con residuos de construcción y demolición genera 0,001 tonCO<sub>2</sub>, al aplicar la ecuación 2 se indica en la Tabla 9 el área necesaria para fijar el carbono.

$$Huella \left( \frac{ha}{año} \right) = \frac{Emisiones \ (ton \ co_2)}{Coeficiente \ de \ fijación \ \left( \frac{ton \ co_2}{ha - año} \right)}$$

**Tabla 9. Área necesaria para fijar el CO<sub>2</sub> generado por la producción de 1 tonelada de arena gruesa**

<b>Huella Ecológica (ha-año)</b>	
Extracción de material por minería a cielo abierto	0,00047
Generación por medio de RCD	5,88E-05

Como se indica en el capítulo 2, la producción del agregado por extracción minera a cielo abierto contempla un promedio de 30.000 toneladas de arena gruesa al mes equivalente a 360.000 toneladas al año por lo cual y teniendo el dato de emisión calculado en la Tabla 8 de 0,008 tonCO<sub>2</sub>/ton arena gruesa se puede concluir una generación promedio de 2880 ton CO<sub>2</sub>/año requiriendo un área necesaria para fijación de 169,41 ha/año.

**Tabla 10. Huella Ecológica anual**

Producción anual promedio (ton/año)	Emisión anual de CO <sub>2</sub> ( ton CO <sub>2</sub> /año)	Huella ecológica (ha/año)
360.000	2880	169,41

Como se indica en el capítulo 3, la producción del agregado con RCD contempla un promedio de 7000 ton arena gruesa/mes equivalente a 840.000 ton/año por lo cual y teniendo el dato de emisión calculado en la Tabla 8 de 0,001 tonCO<sub>2</sub>/ton Arena gruesa se puede concluir una generación promedio de 840 tonCO<sub>2</sub>/año requiriendo un área necesaria para fijación de 49,411 ha/año.

**Tabla 11. Huella Ecológica anual**

Producción anual promedio (ton/año)	Emisión anual de CO <sub>2</sub> ( ton CO <sub>2</sub> /año)	Huella ecológica (ha/año)
840.000	840	49,42

### 4.3 Comparación huella ecológica procesos evaluados

Tomando como base de cálculo una producción anual de 300.000 ton/año de arena gruesa, se procede a comparar la huella ecológica de ambos procesos de generación del agregado pétreo.

**Tabla 12. Comparación huella ecológica ambos procesos de generación**

Proceso de generación	Producción anual promedio (ton/año)	Emisión anual de CO <sub>2</sub> ( ton CO <sub>2</sub> /año)	Huella ecológica (ha/año)
Generación por medio de RCD	300.000	300	17,6
Extracción de material por minería a cielo abierto	300.000	2400	141,2

## 6. CONCLUSIONES

En este trabajo se propone una metodología para calcular la huella ecológica de 2 procesos diferentes usados para producir 1 tonelada de arena gruesa, basado en el consumo de energía y combustible utilizado en el proceso de manufactura de materias primas (extraídas y recicladas) utilizando factores de emisión de dióxido de carbono recientes así como coeficiente de fijación de CO<sub>2</sub> calculado para Colombia , lo cual expresa que los datos calculados son adaptados a las condiciones reales del territorio.

Estimando una producción anual de arena gruesa equivalente a 300.000 toneladas, se puede concluir que, al manufacturar agregados por minería a cielo abierto, necesitaría un área en el valle de aburra de 141,2 ha/año para asimilar las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas; mientras que la generación con residuos de construcción y demolición necesitaría 17,6 ha para asimilación del dióxido de carbono. Lo anterior indicando que en términos del bioindicador evaluado, el reciclaje de RCD presentan un impacto ambiental 89 % menor a la extracción clásica del material.

Basados en la cuantificación expuesta por este trabajo, se infiere que la tecnología de reciclaje de residuos de construcción y demolición además de realizar el aprovechamiento de un residuo que se considera mayor al 30 % de la totalidad de residuos generados en el país<sup>13</sup>, su huella ecológica representa un 11 % por tonelada de arena gruesa generada en comparación con la minería a cielo abierto. Adicional a lo anterior, según lo indican los datos de consumo de energía y combustible, el proceso de manufactura significativamente más económico.

La implementación de tecnologías alternas que buscan aprovechar residuos, incorporándolos de nuevo en la cadena productiva son necesarias para empezar a cerrar ciclos de materiales y a su vez, disminuyendo de la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmosfera.

---

<sup>13</sup> <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros>

## **7. RECOMENDACIONES**

Este trabajo se centró en la generación de arena gruesa, agregado de alto movimiento comercial debido a su uso en la generación de concretos, se debe extender la investigación a otros productos del proceso de manufactura como bases o arenas de diferentes diámetros.

Los datos calculados en este trabajo pueden usarse desde las áreas comerciales de las empresas para impulsar la venta de los agregados productos del reciclaje de residuos de construcción y demolición.

Las alcaldías deben enfocar esfuerzos el culturizar a los generadores de residuos de construcción y demolición para darle una correcta disposición a estos, permitiendo de esta manera su aprovechamiento, formando incluso recolectores consientes de estos beneficios.

Como lo expresan los anexos 1 y 2 ambos procesos generan agregado de la misma calidad, siendo lo anterior una manera de impulsar el consumo del agregado con generado con RCD.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Área de Estudios Ambientales, INERCO Consultoría Colombia (2017).  
Informe anexo a la solicitud de cambio menor o Giro Ordinario al Plan de Manejo Ambiental del “Proyecto de explotación de materiales de construcción y recuperación de oro en Bello y Copacabana, Antioquia”
- Área de Estudios Ambientales, INERCO Consultoría Colombia (2015).  
Información complementaria para la modificación del Plan de Manejo Ambiental de un proyecto de explotación de materiales de construcción y recuperación de oro en Bello y Copacabana, Antioquia. Respuesta al Auto 2447 de 2015
- Área de Estudios Ambientales, INERCO Consultoría Colombia (2015).  
Información complementaria para la modificación del Plan de Manejo Ambiental de un proyecto de explotación de materiales de construcción y recuperación de oro en Bello y Copacabana, Antioquia. Respuesta al Auto 2447 de 2015
- European Environment Agency (2008). Climate for a transport change.
- López Cuchí A. I. (1999). Informe MIES. Una aproximació a l'impacte ambiental de l'Escola d'Arquitectura del Vallès. Bases per a una política ambiental a l'ETSAV, Universidad Politécnica de Cataluña con el apoyo del Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat de Cataluña,
- Marín Q., M. del P.; Andrade, H.J.; Sandoval, A.P. 2016. Fijación de carbono atmosférico en la biomasa total de sistemas de producción de cacao en el departamento del Tolima, Colombia.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (2017)  
Unidad de Planeación Minero-Energética UPME – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS – Fundación Natura – Corporación Ambiental Empresarial CAEM – Unión Temporal Incombustion; Factores de Emisión de los Combustibles Colombia- nos FECOC 2016, Informe Final; 2016. Disponible en: [http://www.upme.gov.co/Calculadora\\_Emisiones/aplicacion/calculadora.html](http://www.upme.gov.co/Calculadora_Emisiones/aplicacion/calculadora.html)
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (2017)  
Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros>
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (2017)  
Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros>
- NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 77 MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS POR TAMIZADO DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 78 1995-05-10 INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. MÉTODO PARA DETERMINAR POR LAVADO EL MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ 75 EN AGREGADOS MINERALES

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 589 2000-06-21 CONCRETOS. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES EN LOS AGREGADOS

Sistema de información ambiental minero energético

Obtenido [http://www.siame.gov.co/siame/documentos/2015/Documento\\_de\\_calculo\\_del\\_FE\\_del\\_SIN\\_2014.pdf](http://www.siame.gov.co/siame/documentos/2015/Documento_de_calculo_del_FE_del_SIN_2014.pdf)

Wackernagel M Rees W. (1996). *Our ecological footprint. Reducing human impact on Earth*, New Society Publisher, Canada.

WWF, *Informe Planeta Vivo 2006* (2006).

## TIPO DE MATERIAL

CLASE: AGREGADO FINO  
REFERENCIA: ARENA GRUESA  
ESPECIFICACIÓN: NORMA INTERNA  
CENTRO DE PRODUCCIÓN: BELLO

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

ENSAYO	MÉTODO DE ENSAYO	RANGOS ESPECIFICADOS	VALOR TÍPICO
Material que pasa por tamiz 200	NTC 78	<10%	2,2%
Módulo de Finura	NTC 77	3,7 - 4,1	3,9
Solidez en Sulfato de Magnesio	NTC 126	<15%	2,7%
Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables	NTC 589	<3%	1,5%
Carbón y Lignitos	NTC 130	<0,5%	0%
Reactividad Potencial AlcaliSilíce	NTC 175	No dañino	No dañino
Impurezas Orgánicas	NTC 127	< Color de referencia N°3	N°1
Densidad del agregado fino (Kg/m3)	NTC 237	Reportar	2826
Absorción del agregado fino (%)	NTC 237	Reportar	1,5
Masa Unitaria Suelta (Kg/m3)	NTC 92	Reportar	1687
Granulometría	NTC 77	Franja granulométrica	Ver gradación típica

## FRANJA GRANULOMÉTRICA

### PORCENTAJE DEL MATERIAL QUE PASA POR EL TAMIZ

TAMAÑO MÁXIMO	NORMA	N°	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
N°4	Interna	-	100	70 - 100	50 - 80	30 - 60	15 - 40	5 - 25	0 - 10	0 - 5
Gradación Típica			100	78	56	39	24	11	4	2,2

### FICHA TÉCNICA: FT.1001.02- V00 FECHA: 31/07/2017

FIRMA	FIRMA	FIRMA
REALIZÓ: NATALIA VALDERRAMA OCHOA	REVISÓ: CAMILO A. VASQUEZ QUINTERO	APROBÓ: SERGIO A. CIFUENTES MOSQUERA
CARGO: INGENIERA DE CONTROL CALIDAD Y DISEÑOS	CARGO: JEFE DE PRODUCCIÓN	CARGO: JEFE DE GESTIÓN DE INNOVACIÓN Y DE LA CALIDAD

Centro de Producción Bello  
 PBX: (57) (4) 4000000  
 Fax: (57) (4) 2745183  
 Línea nacional: 01 8000 413 611  
 info@conasfaltos.com  
[www.conasfaltos.com](http://www.conasfaltos.com)

## Caracterización Eco Arena gruesa NTC 174



Ensayo	Método de ensayo	Rangos Especificados	EcoArena
Partículas deleznales	NTC 589	≤ 3%	0.85%
% Pasa tamiz 200	NTC 78	≤ 7%	2.9-7%
Módulo de finura	NTC 77	3.7 - 4.1	3.5%
Solidez en sulfato de sodio/magnesio	NTC 126	≤ 10%	1.7%
Granulometría	NTC 77	Franja granulométrica	Ver tabla

PORCENTAJE QUE PASA POR EL TAMIZ								
Tamaño máximo nominal	3/8"	N°4	N°8	N°16	N°30	N°50	N°100	N°200
Tamaño 1 1/2"	100	100-70	80-50	60-30	40-15	25-5	10-0	7-0
Valores de referencia	99	81	58	40	27	17	6	2.9

Ensayos realizados por AIM Ingenieros

**Aprobó**

Slendy Katalina Díaz Méndez