

# Producción de materiales ecológicos reciclados con escombros de construcción

---

Production of Environmentally Friendly Recycled Materials from Construction Debris

<https://doi.org/10.15332/22563067.7236>

Artículos

**Pedro Pablo Magaña Herrera<sup>1</sup>**

Universidad Santo Tomás, Colombia

✉ [pedromagana@usta.edu.co](mailto:pedromagana@usta.edu.co)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8797-0856>

Recibido: 1/12/2021

Aceptado: 26/01/2022

Citar como:

Magaña, P. P. (2022). Producción de materiales ecológicos reciclados con escombros de construcción. *CITAS, Suplemento*(1). <https://doi.org/10.15332/22563067.7236>



---

<sup>1</sup> Docente investigador del programa Construcción en Arquitectura e Ingeniería, Facultad de Ciencias y Tecnologías, VUAD, Universidad Santo Tomás, Colombia. La investigación se adelantó bajo el auspicio del Centro de Estudios Avanzados en Investigación y Tecnología, de la Universidad Santo Tomás.

## Resumen

El objeto de esta investigación es el aprovechamiento, mediante el reciclaje, de los residuos sólidos de la actividad constructiva, para ser empleados en la producción de elementos prefabricados como bloques de mampostería, ladrillos, adoquines, baldosas, morteros de pega. La producción de estos materiales ecológicos necesita el desarrollo de una metodología para la producción del agregado reciclado, la caracterización (ensayos de laboratorio) de estos agregados y el diseño de las mezclas (cuantificación técnica de la cantidad de materiales a utilizar). En este caso, el método empleado es del American Concrete Institute, por ser el más conocido y utilizado en el medio ingenieril. En esta investigación se recurre al método tradicional de ensayo y error, que consiste en elaborar unas mezclas de prueba por medio de probetas, que cumplan con las características de las normas y los materiales a emplear, para posteriormente evaluar sus propiedades mecánicas mediante el ensayo de la resistencia a compresión de estas probetas.

**Palabras clave:** residuos sólidos, mampostería, agregados reciclados, escombros de construcción.

## Abstract

The purpose of this research is to recycle solid waste from construction activities to be used in the production of prefabricated elements such as masonry blocks, bricks, pavers, tiles and mortars. The production of these ecological materials requires the development of a methodology for the production of recycled aggregates, the characterization (laboratory tests) of these aggregates and the design of the mixes (technical quantification of the quantity of materials to be used). In this case, the method used is that of the American Concrete Institute, as it is the best known and most widely used in the engineering field. The traditional method of trial and error is used in this research. It consists of preparing test mixes using test specimens that meet the characteristics of the required standards and the materials to be used, and then evaluating their mechanical properties by testing the compressive strength of these test specimens.

**Keywords:** Solid waste; masonry; recycled aggregates; construction debris.

## Introducción

### Introducción

Con el desarrollo de este proyecto de investigación, se propone la presentación de una nueva línea de investigación: esta consiste en el reciclaje de los escombros de construcción, mediante la producción de materiales ecológicos, y su posterior utilización en el campo de la construcción prefabricada. El diseño y producción de estos materiales se emplearán para fabricar bloques y ladrillos de mampostería, adoquines, morteros de pega, baldosas, empleando solamente los escombros de construcción como agregados componentes de la mezcla. Se entiende como mampostería: una estructura conformada por muros que debe soportar en su plano una carga diferente a la de su propio peso, estas cargas pueden ser horizontales y verticales actuantes sobre sus planos (Herrera y Madrid, 1999, p. 77).

Este proyecto investigativo busca presentar una nueva metodología para la producción de materiales constructivos no tradicionales, para ser empleados en edificios de mampostería, viviendas de uno o dos pisos y viviendas de interés social. A su vez, esa metodología estimularía sectores productivos muy importantes de la cadena constructiva, como son el sector de la construcción dedicado a la elaboración de los prefabricados. Además, indirectamente el consumidor se beneficiaría al repercutir en el precio de la vivienda de interés social, también impulsaría la creación de pymes (pequeñas y medianas empresas) en el campo del reciclaje, al valorizar y utilizar los escombros producidos por el sector de la construcción.

## Generalidades de los escombros

La generación diaria de escombros o residuos de construcción y demolición (RCD), producto de las actividades ingenieriles de las compañías constructoras, de los contratistas públicos y privados, conlleva problemas de impacto ambiental para cualquier ciudad o población, puesto que estos materiales no son biodegradables. Debido a la falta de planificación para una adecuada gestión de los escombros, las entidades gubernamentales de carácter municipal requieren de grandes y costosas extensiones de terreno para su disposición final. Ahora bien, los sitios adecuados para estos menesteres generalmente se encuentran localizados a las afueras de la ciudad, con el objeto de evitar en lo máximo la producción de polución y agentes nocivos para la salud de los conciudadanos que viven en las zonas aledañas. En ese contexto, la ocupación de zonas no autorizadas para el vertimiento directo de toneladas de residuos de construcción, sin ninguna clase de tratamiento y de manera incontrolada, produce problemas medioambientales, principalmente en la degradación del paisaje y del medio ambiente.

Para solucionar dicho problema, es necesario pensar en el desarrollo de nuevas tecnologías limpias, con el objetivo de iniciar procesos que involucren manejos adecuados en la utilización de los residuos de construcción. Esto permitiría el máximo aprovechamiento de todos los materiales, representando a la vez un beneficio para la sociedad y reduciendo de esa manera el impacto negativo que estos residuos producen en el medio ambiente (Salazar, 1992, pp. 160-161).

Los escombros o residuos de construcción y demolición (RCD), no se pueden tomar como basura doméstica, pues un alto porcentaje de estos pueden ser reutilizados si son sometidos a un proceso de reciclaje. Este proceso consiste en el aprovechamiento y reutilización de los residuos sólidos aplicados en la actividad constructiva, particularmente en la producción de elementos prefabricados como bloques de mampostería, ladrillos, adoquines, agregados para la construcción. Todo lo anterior, sería una alternativa para solucionar en gran parte esta problemática de tipo ambiental: al optimizar el reciclaje de estos productos, se propiciarían nuevos polos de desarrollo económico, fomentando nuevas industrias y un sinnúmero de empleos y subempleos bajo la premisa del reciclado, reúso y valorización de estos materiales ecológicos. En Colombia, según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible ([MADS], 2017, p. 1), en el año 2011, doce ciudades principales originaron más de veintidós millones de toneladas de escombros de construcción, con un promedio aproximado de sesenta mil toneladas diarias, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Producción de RCD a nivel nacional

Ciudad	RCD año 2011 (toneladas)
Bogotá	18 314 429

Ciudad	RCD año 2011 (toneladas)
Medellín	1 778 522
Santiago de Cali	1 208 723
Manizales	459 000
Cartagena	285 000
Pereira	90 172
Ibagué	89 000
Pasto	24 000
Barranquilla	18 000
Neiva	2 900
Valledupar	300
San Andrés	292
<b>Total</b>	<b>22 270 338</b>

Fuente: adaptado de MADS. (2017, p. 1)

### Tipología del escombros de construcción

Actualmente, el sector de la construcción es muy importante en las economías: a nivel mundial, esta industria presenta un periodo de crecimiento y expansión inusitado, lo que implica un gran consumo diario de energía y materiales no renovables; en efecto, su consumo llega a un valor promedio del 60 % de los materiales extraídos del subsuelo (Salazar, 2011, p. 7). En la figura 1, se muestra la distribución porcentual en volumen del consumo de las materias primas que son utilizadas en el campo de la construcción (Romero, 2007, p. 4).

Esta actividad constructora genera un alto volumen de desperdicios llamados *escombros de construcción*, los cuales no se clasifican dentro de los residuos sólidos urbanos de las ciudades (llamados también *residuos domésticos*). En la Comunidad Económica Europea, la media de la producción de escombros en una obra se encuentra entre el 10 % y el 15 %; mientras que en los países tercermundistas este promedio asciende al 20 %, lo que significa un rubro de pérdida monetaria de materiales, que en términos económicos equivale aproximadamente al 10 % del costo total de la construcción (Salazar, 2011, pp. 9-10).

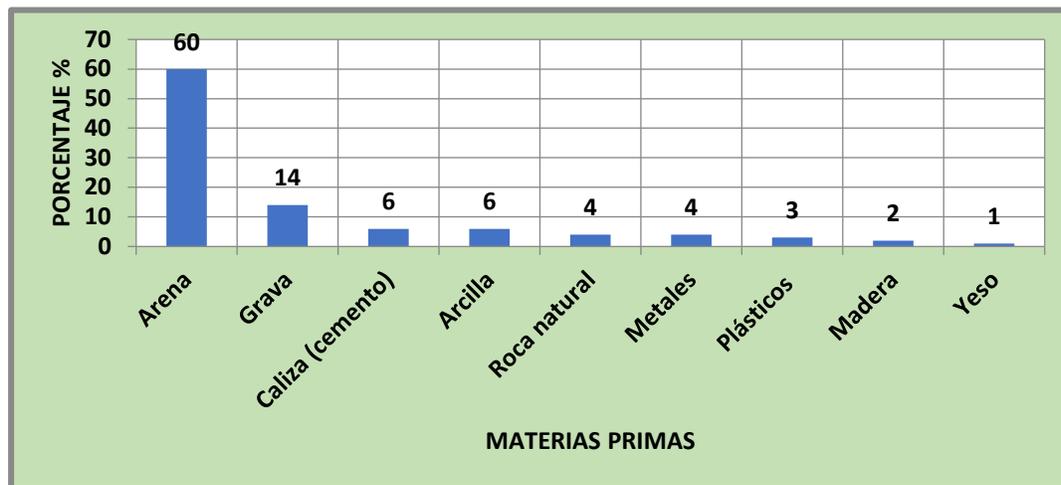


Figura 1. Consumo de materiales en la construcción

Fuente: Romero (2007, p. 4).

Los RCD tienen diferente procedencia que depende de la actividad generadora, estos se producen de varias maneras: una de ellas se lleva a cabo en las obras de construcción de edificios, casas residenciales y obras públicas de todo género, donde el escombros de construcción es el producto de la manipulación en obra de materias primas y materiales que se encuentran en óptimas condiciones por parte del personal técnico, aquellos insumos, por razones de manejo, colocación y corte, sufren un proceso de degradación parcial o total que los hace no utilizables en la obra.

Otra manera de producir escombros son las remodelaciones y demoliciones, totales o parciales, realizadas en una obra en construcción o en servicio permanente desde hace varios años. Estos materiales se encuentran en óptimas condiciones de calidad y servicio, pero, por razones de eliminación y manipulación, han sido sometidos a un proceso irreversible de degradación. En resumen, las principales fuentes de producción, los tipos de escombros y el posible material a recuperar, se identifican en la tabla 2 (Salazar, 2011, pp. 23-24; Natalini *et al.*, 2000, p. 3).

Tabla 2. Tipología de los escombros de construcción

Clases de residuos	Fuente de escombros	Materiales a reciclar	Porcentaje (%)
<b>Demoliciones:</b> mampostería, hormigón ciclópeo y reforzado, enchapes, madera, vidrios, plásticos, sobrepisos en hormigón simple, pisos de baldosas, tejas, tubos de cemento y gres.	Construcciones residenciales de uno o dos pisos, industriales. Edificios de varios pisos, construcciones civiles. Laboratorios de agregados y pavimentos.	Ladrillos, tejas, baldosas, hormigones, sobrepisos, morteros	10
<b>Construcciones:</b> cortes de ladrillos, bloques fracturados, tejas quebradas, restos de mezclas de morteros y hormigones, cortes de azulejos, fachaletas, baldosas fracturadas.	Construcciones residenciales o industriales, de uno o varios pisos.	Todo el material se puede utilizar	20
<b>Reparación, Rehabilitación, Mantenimiento:</b> los mismos materiales que en las obras de demolición.	Edificios de varios pisos, residencias de uno o dos pisos, construcciones industriales, obras civiles.	Ladrillos, tejas, baldosas, hormigones, sobrepisos, morteros	70

Fuente: adaptación de Salazar (2011, p. 1), Natalini *et al.* (2000, p. 3).

### Composición de los escombros de construcción

En lo concerniente a la composición de los escombros de construcción, esta depende principalmente de las actividades generadoras de los escombros, las características de las obras y las prácticas constructivas empleadas. Como las actividades constructivas de reparación, rehabilitaciones y mantenimiento son las principales fuentes de producción de escombros, en la figura 2 se muestran los resultados y el porcentaje de materiales que se producen en estas actividades.

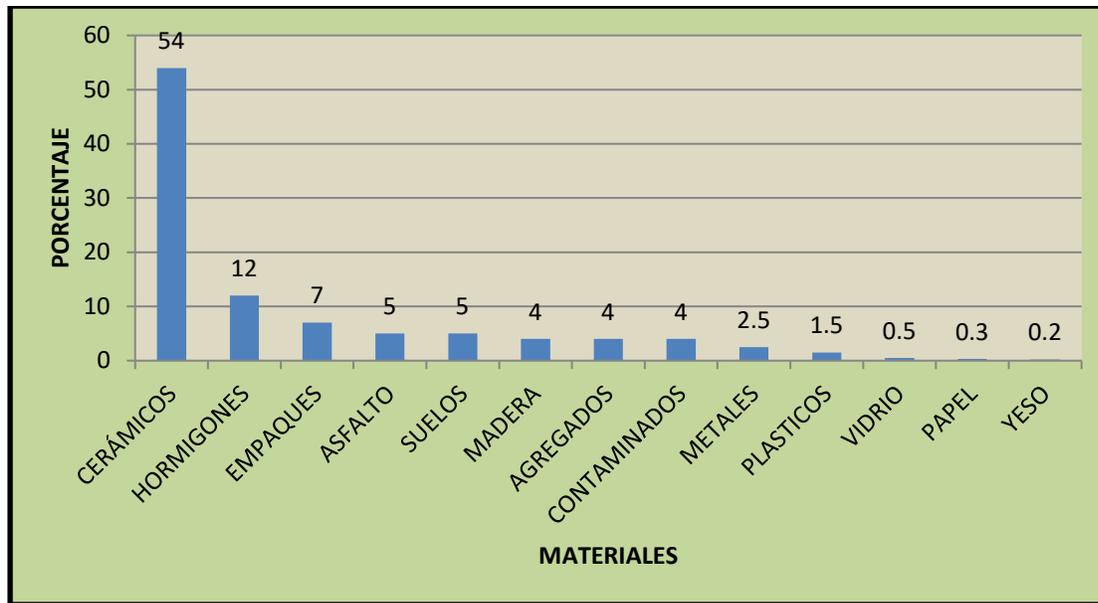


Figura 2. Composición escombros de construcción

Fuente: adaptación de Gaiker IK4 Research Alliance (2007, p. 55).

### Clasificación de los escombros de construcción

Los escombros de construcción de acuerdo a la Lista Europea de Residuos están clasificados en tres categorías: (a) residuos peligrosos; (b) residuos no peligrosos; y (c) residuos no peligrosos inertes. Estas se encuentran contempladas en las tablas 3, 4, y 5 (Norma técnica colombiana GTC 24, 2009, p. 7).

#### (a) Residuos peligrosos

Son aquellos materiales de construcción que al ser manipulados contienen proporciones altas de materiales nocivos para la salud y el medio ambiente, ya sea por su exposición directa e indirecta.

Tabla 3. Residuos de construcción peligrosos

Residuos de construcción peligrosos	Clases de residuos
	Residuos de adhesivos, pegantes, pintura y barniz, que contienen disolventes orgánicos u otras sustancias peligrosas
	Aceites de motor, de transmisión mecánica y lubricantes
	Disolventes
	Envases de plástico y metálicos contaminados
	Filtros de aceite
	Baterías de plomo
	Alquitrán de hulla y productos alquitranados
	Residuos metálicos contaminados con sustancias peligrosas
	Tierra y piedras que contienen sustancias peligrosas
	Materiales de aislamiento y construcción, que contienen amianto
	Materiales de construcción con yeso, contaminados con sustancias peligrosas
	Residuos de construcción y demolición que contienen mercurio
	Residuos de construcción que contienen policlorobifenilos (PCB)
Tubos fluorescentes	

Fuente: adaptación de Gaiker IK4 Research Alliance (2007, p. 53).

### (b) Residuos no peligrosos

Son los materiales de construcción, que por su naturaleza pueden ser tratados o almacenados en las mismas instalaciones de la obra.

Tabla 4. Residuos de construcción no peligrosos

Residuos de construcción aprovechables	Clases de residuos
	Madera
	Cobre, bronce, latón
	Aluminio
	Plomo
	Zinc
	Hierro y acero
	Estaño
	Metales mezclados
	Materiales de aislamiento, que no contengan amianto
	Materiales de construcción con yeso, no contaminados

Fuente: adaptación de Gaiker IK4 Research Alliance (2007, p. 54).

### (c) Residuos no peligrosos inertes

Son los materiales que no representan ninguna clase de riesgo para la salud al ser manipulados y almacenados en la obra.

Tabla 5. Residuos de construcción no peligrosos inertes

Residuos de construcción no peligrosos inertes	Clases de residuos
	Hormigón
	Ladrillos
	Tejas y materiales cerámicos
	Mezclas de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos
	Vidrio

Fuente: adaptación de Gaiker IK4 Research Alliance (2007, p. 54).

## Construcción sostenible

El término que se encuentra de moda entre el gremio de los constructores, arquitectos, ingenieros y ambientalistas en todo el mundo es la construcción sostenible: sus premisas principales son optimizar los recursos de los materiales de construcción y regular al máximo los consumos de estas materias primas, con el objeto de minimizar los impactos ambientales negativos que se puedan generar durante la construcción de una obra en general; desde el momento de inicio de las actividades de construcción hasta su completa terminación. Bedoya (2011) define la construcción sostenible como “respetuosa y comprometida con el medio ambiente, hace un uso sostenible de la energía, minimiza sus impactos, reduce el consumo energético, no desperdicia materiales, sino que reutiliza y recicla...” (p. 18).

Dada la precaria situación socioeconómica de un buen porcentaje de los habitantes de América Latina, la industria de la construcción debería aunar esfuerzos para mejorar los programas de inversión en la vivienda de interés social, los cuales producirían considerables volúmenes de escombros, cuya

recuperación es posible por medio del reciclaje en un alto porcentaje. Por todo lo anteriormente enumerado, se hace necesaria la búsqueda de alternativas, principalmente de materias primas para la producción de materiales ecológicos reciclados, con el objeto de plantear soluciones de carácter tecnológico, que optimice el aprovechamiento de estos recursos disponibles, que redunde en el bienestar de la comunidad y el mejoramiento del medio ambiente.

### **Proceso legal del reciclado de los escombros**

Nuestro país no ha sido ajeno a esta problemática, por tal motivo el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio emitió el Decreto 1285 de 2015, que modifica el Decreto 1077 de 2015 en lo relacionado con los lineamientos de construcción sostenible para edificaciones. En la modificación, el ministerio adiciona el título 7 nombrado *Urbanización y Construcción Sostenible*, con el objeto de definir los lineamientos sobre construcción y urbanismo sostenible.

Asimismo, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible emitió el Decreto 0472 de 2017, con el objeto de reglamentar la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición, la cual se encuentra en vigencia a partir del 01 de enero de 2018 como se evidencia en la figura 3. Por supuesto, esta norma debe cumplirse estrictamente en todas las empresas constructoras del país.



Figura 3. Resolución No. 0472, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)

Fuente: (MADS, 2017).

### **Etapas del proceso de reciclado de los escombros**

La gestión de los RCD involucra políticas gubernamentales, estrategias y acciones encaminadas a prevenir en lo máximo, los respectivos impactos ambientales negativos, generados por el manejo inadecuado en obra de los materiales de construcción.

Las etapas empleadas para el reciclado, valorización y aprovechamiento de los residuos sólidos de construcción se presentan en la figura 4.

### **Materiales ecológicos de reciclaje**

En los países tercermundistas como el nuestro, donde los agregados reciclados para la producción de hormigones no representan una industria totalmente desarrollada, es necesario plantear el uso de agregados de fácil obtención y que no requieran de tratamientos sofisticados para su producción. Una de

las alternativas económicas es el empleo de agregados producidos a partir de escombros de construcción; el uso de estos materiales puede ser una buena alternativa, con la posibilidad de obtener una gama de productos adicionales.

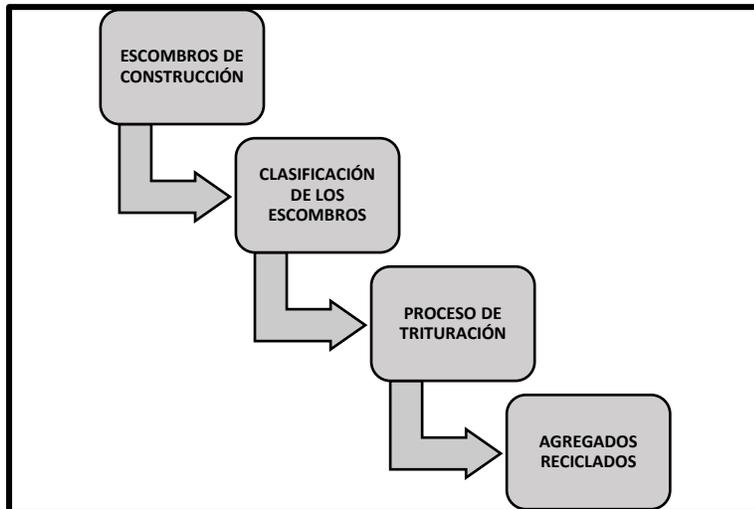


Figura 4. Etapas proceso de reciclado

Fuente: Elaboración propia.

### **Materiales ecológicos de reciclaje**

En Colombia, debido a la situación de la industria de agregados reciclados mencionada anteriormente, es necesario plantear el uso de agregados de fácil obtención y que no requieran de tratamientos sofisticados para su producción. Una de las alternativas económicas es el empleo de agregados producidos a partir de escombros de construcción. El uso de estos materiales puede ser una buena alternativa, con la posibilidad de obtener una gama de productos adicionales.

### **Producción del agregado reciclado**

Los agregados en el hormigón son los materiales o partículas sólidas seleccionadas según su diámetro, que se mezclan adecuadamente con el cemento y agua, para formar la roca artificial llamada hormigón. Para la producción del agregado reciclado a partir de escombros de construcción, se deben seguir unas etapas previas que hacen parte de este proyecto investigativo.

### **Recolección de los escombros de construcción**

En este caso, se recolectaron aleatoriamente los escombros de construcción que van a ser la materia prima para la producción del bloque de mampostería (figura 5). Los residuos y escombros están compuestos por materiales cerámicos como muros de ladrillo, tejas, azulejos, pisos y tubos de gres; también por materiales de hormigón y morteros, que tienen como componentes principales cemento y agregados pétreos, presentes en baldosas, sobrepisos, andenes, pavimentos, secciones de vigas, columnas, losas, muros de hormigón.



Figura 5. Escombrera municipal

Fuente: Elaboración propia.

### **Clasificación de los escombros**

Se clasificaron los escombros de construcción por el método manual (figura 6), de acuerdo a su composición y eliminando los materiales contaminados, luego se conformaron los siguientes grupos de escombros:

- Hormigón: columnas, vigas, pavimentos, andenes, sobrepisos, muros mampostería y contención.
- Ladrillo: muros de ladrillo, tejas, azulejos cerámicos, tubos de gres.

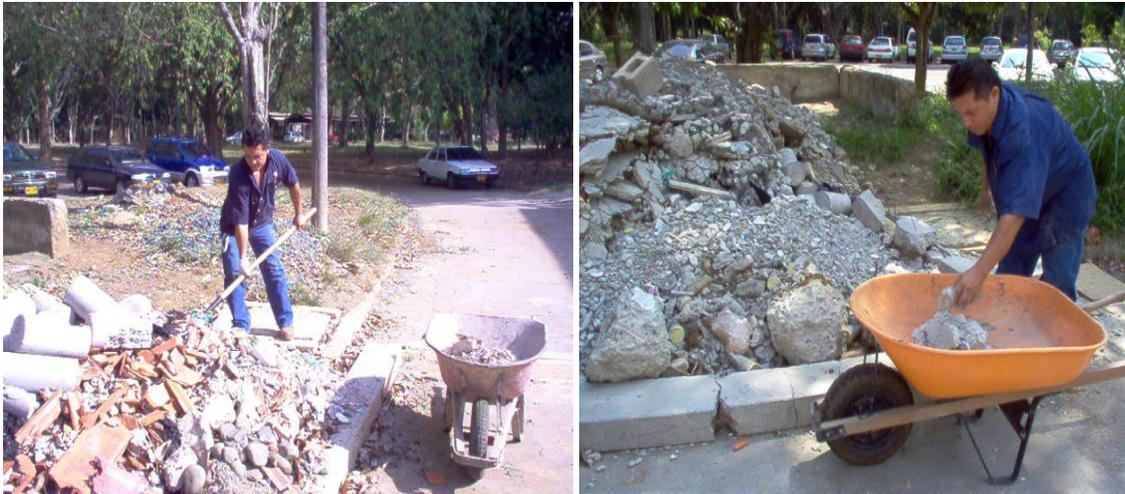


Figura 6. Clasificación de los escombros

Fuente: elaboración propia.

### Proceso de trituración

Realizada la actividad de clasificación de los escombros, se lleva a cabo el proceso de trituración para la obtención del agregado reciclado. En este proyecto se utiliza una máquina trituradora de mandíbulas portátil, marca Massco Crusher de MSI Industries, serie 1407, con las siguientes características técnicas (figura 7):

- Abertura de boca de alimentación con un tamaño de 4 in x 6 in, con descarga graduable.
- Quijadas y forros laterales reemplazables, fundidos en acero al manganeso con tratamiento térmico.
- Motor de 2 hp, mono o trifásico, con interruptor térmico de protección.
- Rendimiento aproximado de 1-2 m<sup>3</sup>/h.

Los pasos por seguir, para el proceso de trituración de los escombros son los siguientes:

- Los escombros que presentan gran tamaño deben ser reducidos por el método de impacto manual, producido por una porra de 25 libras, con la finalidad de poder ser procesados por la trituradora.
- Según la clase del agregado a producir, se selecciona la abertura de la trituradora para obtener un tamaño máximo acorde a la granulometría exigida. Para el caso de bloques, la trituradora se trabaja con una abertura para obtener un tamaño máximo del agregado de 9.5 mm (3/8 in).
- Se procede al proceso de triturado de los escombros clasificados.



Figura 7. Trituración de los escombros  
Fuente: elaboración propia.

Los productos obtenidos por el proceso de trituración de los escombros, son los siguientes:

- Hormigón (figura 8).
- Ladrillo (figura 9).



Figura 8. Agregado reciclado hormigón  
Fuente: elaboración propia.



Figura 9. Agregado reciclado ladrillo

Fuente: elaboración propia.

### **Caracterización de los materiales triturados**

Para conocer todas las propiedades físicas y mecánicas del agregado reciclado, se procede a la caracterización del material, realizando los siguientes ensayos a la fracción gruesa y fina siguiendo las Normas Técnicas Colombianas (NTC) del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec, 1995a, 1995b, 1995c, 2006):

- Análisis de granulometría (NTC 77).
- Determinación de la masa unitaria de los agregados (NTC 92).
- Determinación de la resistencia al desgaste en la máquina de Los Ángeles (NTC 98).
- Determinación de la densidad y absorción de agregados gruesos (NTC 176).
- Determinación del peso específico y absorción de agregados finos (NTC 237).

### **Diseño de mezclas para los bloques reciclados**

El objetivo que se persigue con el diseño de la mezcla del hormigón, empleando las diversas clases de los agregados reciclados, es el de determinar la combinación más técnica y económica de los materiales para producir un hormigón que satisfaga las exigencias de resistencia especificada en la NTC 4076, en su numeral 4.2 (Icontec, 1997). La medida de las resistencias mecánicas de los bloques se realiza por medio de la NTC 673 llamada *Ensayo de la resistencia y compresión de cilindros normales de hormigón*, para una edad de 28 días (Icontec, 1989, p. 326).

El tipo de muestra que se trabaja en la investigación para el *ensayo de compresión* son, primero, las muestras cúbicas, estas se elaboran y ensayan de manera similar a las cilíndricas. Luego de la obtención de unos resultados satisfactorios y acordes al cumplimiento de las normas técnicas, se procede a la elaboración de las respectivas muestras cilíndricas, cumpliendo estrictamente las citadas normas técnicas. Por último, si estos valores son diferentes, se hacen los ajustes respectivos a las proporciones de los materiales y se inicia de nuevo el proceso iterativo de elaborar nuevamente las muestras cúbicas

necesarias, hasta obtener los resultados deseados en el experimento adelantado en el laboratorio (tabla 6 y figura 10).

Tabla 6. Resumen diseño de mezclas agregados reciclados

Clase de agregado	Dosificación en peso/m <sup>3</sup>			Proporciones			Relación a/c
	CEMENTO (kg)	AGREGADO (kg)	AGUA (L)	CEMENTO (kg)	AGREGADO (kg)	AGUA (L)	
Hormigón	270	1 612	277	1	6.0	277	1.03
Ladrillo	270	1 761	297	1	6.5	297	1.10

Fuente: Elaboración propia

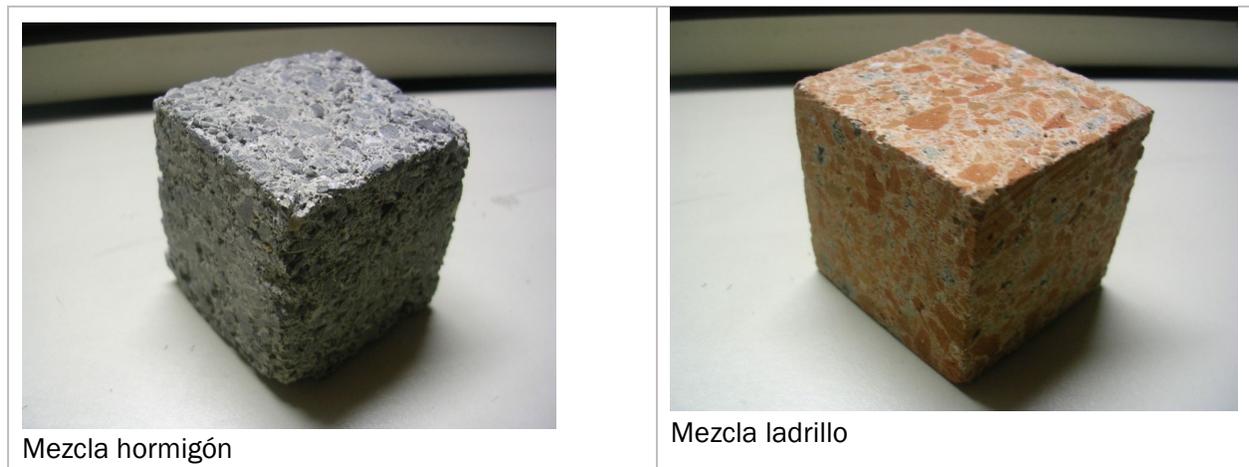


Figura 10. Muestras cúbicas agregados reciclados

Fuente: Elaboración propia.



Figura 11. Ensayos de resistencia a la compresión

Fuente: Elaboración propia.

### Ensayo de las muestras cúbicas a compresión

Se elaboraron veintiún muestras cúbicas de prueba siguiendo los procedimientos y exigencias de las NTC 220 y 1377 (Icontec, 1994; 2004) sobre la elaboración y curado de muestras en el laboratorio. Las muestras a las edades de tres, siete, catorce y veintiocho días se sometieron al ensayo de resistencia a la compresión, los resultados se presentan en la tabla 7 donde se muestran los valores promedios obtenidos de las resistencias de las muestras cúbicas a las diferentes edades, comparándolas con la resistencia ideal del hormigón normal.

Tabla 7. Valores de resistencias cubos

Edad muestra (días)	Resistencia ideal (MPa)	Resistencia ensayo (MPa)
3	2.4	1.18
7	3.6	4.01
14	4.8	5.31
28	6.0	6.65

Fuente: Elaboración propia.

### Valores estadísticos de las muestras cúbicas

Para validar estadísticamente los valores obtenidos en el laboratorio, se procesaron los resultados empleando las funciones estadísticas de Microsoft Excel, en la tabla 8 se muestra el resumen de los resultados que el programa calculó.

CITAS

e-ISSN: 2422-4529 |  <https://doi.org/10.15332/24224529>

Vol. 8 N.º 1 | enero-junio de 2022

Tabla 8. Análisis estadístico ensayos de cubos

Muestra	Media aritmética (MPa)	Desviación estándar	Varianza	Coficiente de Variación CV (%)
Hormigón	7.06	0.6165	0.3801	8.74
Ladrillo	6.17	0.4689	0.3028	7.60

Fuente: Elaboración propia.

## Producción de bloques con agregados reciclados

Después de encontrar las mezclas óptimas de los distintos agregados reciclados, se emprende unos de los objetivos principales del proyecto: mezclar los agregados reciclados con el cemento y el agua, en unas proporciones adecuadas de acuerdo con diseño realizado. Antes cumplir este requisito, no se puede entrar en la fase de producción de los bloques prefabricados.

### Proceso de fabricación

El proceso de fabricación de los bloques de hormigón con agregados reciclados tipo bloque divisorio 10 para mampostería no estructural, requiere tener en cuenta los siguientes aspectos de carácter técnico.

### Maquinaria para la producción de bloques

En la fabricación de los bloques de mampostería de este proyecto, se utiliza una máquina bloquera marca Metalsander Ltda., con un juego de cuatro moldes por ciclo, las dimensiones son de 9 cm de ancho, 39 cm de largo y 19 cm de alto (figura 12). Las características técnicas de la máquina son las siguientes:

- El peso total de la máquina es de 450 kg.
- Motor eléctrico trifásico de 2 hp a 3 600 revoluciones por minuto, con alimentación de corriente a 110 voltios.
- El sistema de producción consta de un carro tolva alimentador de la mezcla y los moldes para los bloques prefabricados.



Figura 12. Máquina producción de bloques

Fuente: Elaboración propia.

### Proceso de producción de los bloques

Para la producción de los bloques de mampostería, se deben seguir los siguientes pasos, de acuerdo con las Notas Técnicas 4-38-858 del ICPC (1990) (figura 13):

- Pesada del agregado reciclado para cuantificar la cantidad de bloques a producir, teniendo en cuenta la dosificación obtenida anteriormente.
- Proceso de mezclado de los materiales mediante la adición de cemento y agua, estas adiciones se realizan de acuerdo con la dosificación obtenida en el diseño de la mezcla.
- Llenado de la tolva rodante, que es el proceso alimentador de la mezcla sobre el molde para la fabricación de los bloques.



Figura 13. Llenado de la tolva con la mezcla

Fuente: elaboración propia.

- Vibrado del material en los moldes con el objeto de compactar la mezcla, posteriormente se procede al desmolde de los bloques, tal como se observa en la figura 14.



Figura 14. Vibrado y desmolde de los bloques

Fuente: elaboración propia.

- Los bloques fabricados se colocan para su secado, posteriormente serán llevados a la piscina de fraguado como se muestra en la figura 15.



Figura 15. Colocación de los bloques para secado

Fuente: elaboración propia.

### **Ensayo de resistencia a la compresión**

Este ensayo es la principal característica de las propiedades mecánicas de un bloque de mampostería: se determina mediante el cumplimiento de la preparación de las muestras y los procedimientos del ensayo

CITAS

e-ISSN: 2422-4529 |  <https://doi.org/10.15332/24224529>

Vol. 8 N.º 1 | enero-junio de 2022

según la NTC 237 (Icontec, 1995c) y las exigencias de resistencia en la NTC 4076 (Icontec, 1997). En esta norma, el valor de la resistencia de los bloques tipo 2 se especifica a los veintiocho días de edad y es evaluada sobre el área bruta del bloque de mampostería. Las exigencias de las resistencias a la compresión se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Propiedades mecánicas de los bloques con agregados naturales

Tipo de bloque	Clasificación bloque	Resistencia compresión (MPa)	
		Promedio	Individual
Hormigón	No estructural	4	3
Ladrillo	No estructural	4	3

Fuente: Elaboración propia.

En promedio, se fabricaron doce bloques por cada tipo de agregado para el ensayo de resistencia a la compresión, distribuidos en cuatro grupos para ser examinados a las edades de tres, siete, catorce y veintiocho días.

Los ensayos de las resistencias promedio a la compresión de los diferentes bloques de mampostería (elaborados con agregados reciclados) presentaron los siguientes resultados, que se observan en la tabla 10.

Tabla 10. Resistencias a la compresión bloques con agregados reciclados

Tipo de bloque	Promedio resistencia a la compresión (MPa)			
	3 días	7 días	14 días	28 días
Hormigón	1.5	2.54	3.42	4.67
Ladrillo	1.43	1.97	3.05	4.11

Fuente: Elaboración propia.

### Valores estadísticos de los bloques ensayados

Para validar estadísticamente los valores obtenidos en el laboratorio, se procesaron los resultados empleando las funciones estadísticas del programa Microsoft Excel. En la tabla 11 se muestra el resumen de los resultados que el software calculó.

Tabla 11. Análisis estadístico ensayos de bloques

Muestra	Media aritmética (MPa)	Desviación estándar	Varianza	Coefficiente de Variación CV (%)
Hormigón	4.67	0.3671	0.1348	7.87
Ladrillo	4.11	0.2808	0.0789	6.83

Fuente: Elaboración propia.

### Discusión de los resultados obtenidos en los ensayos

Realizados los correspondientes ensayos de laboratorio para los bloques de mampostería fabricados con agregados reciclados, se procede a evaluar los resultados obtenidos de la experimentación.

## Ensayo de resistencia a la compresión

Los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, a los veintiocho días de los bloques prefabricados con agregados reciclados, arrojaron que aquellos cumplen a cabalidad con la NTC 237 (Icontec, 1995c) y las exigencias de resistencia en la NTC 4076 (Icontec, 1997); sus rangos de resistencia oscilan entre 4.67 MPa y 4.11 MPa.

Entonces, el bloque de mampostería catalogado como hormigón, clasificado en la categoría *normal*, sí cumple con las exigencias de resistencia: el valor obtenido en laboratorio fue de 4.67 MPa, mayor al 4 MPa exigido por la norma. Igualmente, el bloque de mampostería catalogado como ladrillo, clasificado en la categoría *normal*, cumple con las exigencias de resistencia: el valor obtenido en laboratorio fue de 4.11 MPa, mayor al 4 MPa exigido por la norma.

En resumen, los valores de los rangos de resistencia de los bloques con agregados reciclados (4.67 MPa – 4.11 MPa) se encuentran en los rangos de resistencia de los bloques obtenidos por Bedoya (2011) con valores que oscilan entre (5 MPa – 4.5 MPa).

Tabla 12. Ensayo de resistencia a la compresión bloques con agregados reciclados

Tipo de bloque	Resistencia (MPa)	Cumple normas
Hormigón	4,67	sí
Ladrillo	4,11	sí

Fuente: Elaboración propia.

## Análisis estadístico de los bloques ensayados

Al observar los resultados de laboratorio obtenidos con los bloques presentes en la tabla 11, se obtienen las siguientes conclusiones:

- El valor más alto de la media aritmética se obtiene con el bloque elaborado con agregado reciclado de hormigón; mientras que el valor más bajo se obtiene con el bloque elaborado con agregado reciclado de ladrillo. El rango de las medias aritméticas de 0.56 MPa.
- El valor más alto de la desviación estándar se obtiene con el bloque elaborado con agregado reciclado de hormigón; el valor más bajo se obtiene con el bloque elaborado con agregado reciclado de ladrillo. El rango de las desviaciones de 0.0863.
- El valor más alto del coeficiente de variación (CV) se obtiene con el bloque elaborado con agregado reciclado de hormigón; el valor más bajo se obtiene con el bloque elaborado con agregado reciclado llamado ladrillo, con un rango de variación de 1.04 %.
- El comportamiento de los valores obtenidos en laboratorio del CV se puede clasificar como de "muy bueno" a "bueno", al encontrarse en el rango entre 0% - 10%, donde se demuestra un buen control y reproducción de estos resultados en los experimentos realizados.
- Para comprobar si las varianzas de la población de los bloques experimentados tienen variaciones sustanciales, se utiliza el estadígrafo de distribución F de Fisher, del programa de estadística XLStatistics-PDF. Al analizar las varianzas de los ensayos de las muestras obtenidas en las pruebas de laboratorio, se comprueba si existe una diferencia estadística entre los valores de las varianzas

calculadas en los ensayos. El valor crítico calculado con un nivel de significación del 5 % es  $f = 2.82$ ; el valor de la distribución F calculado de las varianzas ( $S^2_{\text{máx.}}/S^2_{\text{mín.}}$ ) es igual a 1.71.

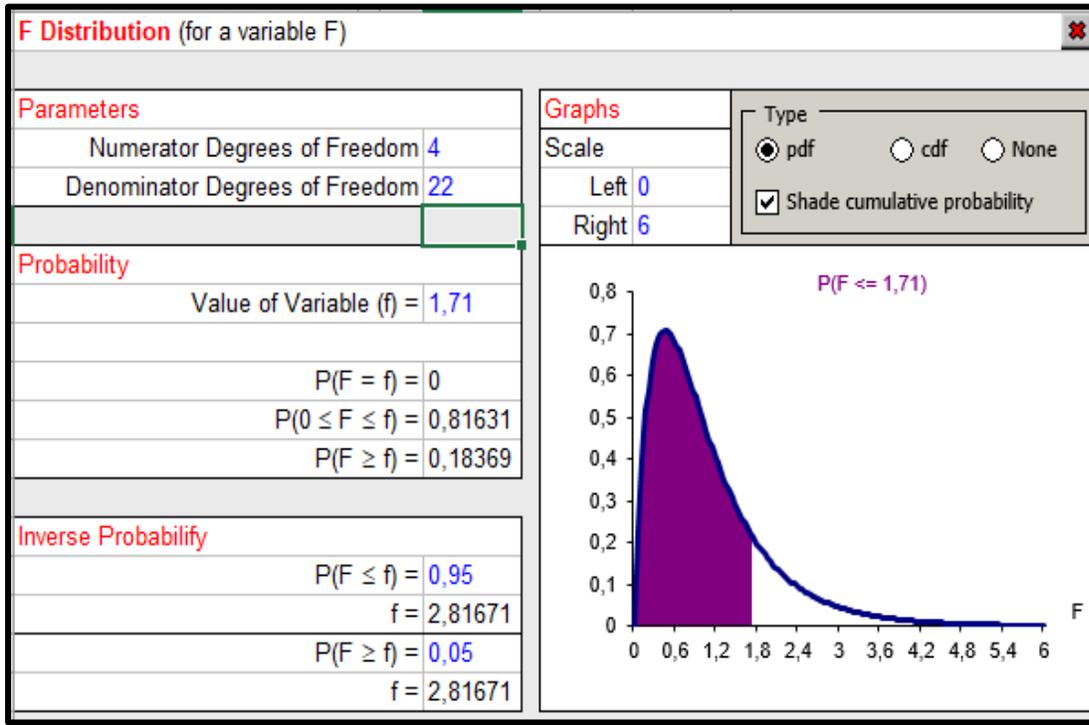


Figura 16. Distribución F de Fisher

Fuente: Programa XLStatistics-PDF

De los resultados obtenidos se puede apreciar, que la magnitud del estadígrafo de la distribución F de Fisher de las muestras es menor al valor crítico ( $F < f$ ); lo que demuestra que no existen razones estadísticas suficientes, para asegurar que las diferencias de los valores de las varianzas en las muestras sean sustanciales o significativas.

## Conclusiones

El desarrollo sostenible como premisa para el futuro es la única alternativa posible en el progreso de las actividades productivas económicas. En tal sentido, la construcción debe ser compatible con la preservación del medio ambiente; para ello, se hace imprescindible que las entidades gubernamentales hagan cumplir las normas que reglamentan y regulan la recolección y disposición formal de los escombros de construcción.

Por consiguiente, una adecuada gestión para la preservación y uso racional de los recursos naturales debe ser liderada por parte de las entidades gubernamentales y empresas privadas, con la finalidad de promover el reciclaje de los escombros de construcción. En todas las ciudades, las actividades encaminadas al fomento del reciclaje de los escombros de construcción y su utilización como futuras materias primas deben ser prioritarias por parte de la sociedad.

En ese orden de ideas, es importante remarcar que la recolección y disposición no adecuada de los escombros en las ciudades fomenta la informalidad de los propietarios de volquetas y vehículos de tracción animal, quienes son los principales causantes de la disposición inadecuada de los escombros en las ciudades. La utilización de los escombros de construcción se considera una tecnología limpia, redundando económicamente al valorizar los escombros y reducir la cantidad de agregados naturales no renovables a extraer.

El reciclaje es un método empleado para controlar la disposición final de agregados en escombreras, contribuyendo a la preservación del medio ambiente y aminorando los daños ambientales. La formulación de las actividades expuestas en el presente documento, acerca de la caracterización de los agregados reciclados, dan una clara idea de que sí es posible el empleo de estos materiales reciclados en el campo de la construcción.

Se puede concluir que el agregado reciclado obtenido a partir de un proceso de trituración cuenta con una granulometría continua que le da trabajabilidad a la mezcla, haciéndola apta para la producción de hormigones y especialmente de elementos prefabricados como bloques de mampostería o adoquines. Finalmente, este artículo presenta la factibilidad técnica de la utilización de los escombros de construcción, con la finalidad de producir bloques de mampostería.

## Referencias

- Bedoya, C. (2011). Construcción Sostenible, para volver al camino. Biblioteca Jurídica Diké.  
[https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7378/CONSTRUCCI%3%93N\\_SOSTENIBLE\\_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7378/CONSTRUCCI%3%93N_SOSTENIBLE_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Gaiker IK4 Research Alliance. (2007). Reciclado de Materiales: perspectivas, tecnologías y oportunidades, Departamento de Innovación y Promoción Económica.  
<https://www.yumpu.com/es/document/read/13157470/reciclado-de-materiales-perspectivas-tecnologias-y-oportunidades>
- Herrera, A., y Madrid, G. (1999). Manual de construcción de mampostería de concreto. Instituto Colombiano de Productores de Cemento.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. (1989). *Normas técnicas colombianas para el sector de la construcción*. Legis Editores S. A.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. (1994). *Norma Técnica Colombiana NTC 1377. Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio*. Icontec.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. (1995a). *Norma Técnica Colombiana NTC 92. Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados*. Icontec.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. (1995b). *Norma Técnica Colombiana NTC 176. Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso*. Icontec.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. (1995c). *Norma Técnica Colombiana NTC 237. Método para determinar la densidad y la absorción del agregado del agregado fino*. Icontec.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. (1997). *Norma Técnica Colombiana NTC 4076. Unidades (bloques y ladrillos) de concreto, para mampostería no estructural interior y chapas de concreto*. Icontec.

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. (2004). *Norma Técnica Colombiana NTC 220. Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm o 50,8 mm de lado*. Icontec.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. (2006). *Norma Técnica Colombiana NTC 98. Método de ensayo para determinarla resistencia al desgaste de agregados gruesos hasta de 37,5 mm, utilizando la máquina de los Ángeles*. Icontec.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. (2009). *Norma Técnica Colombiana GTC 24. Gestión Ambiental. Residuos Sólidos. Guía para la Separación de la Fuente*.  
<https://tienex.co/media/b096d37fcdee87a1f193271978cc2965.pdf>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. (2010). *Norma Técnica Colombiana NTC 673. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*. Icontec.
- Instituto Colombiano de Productores de Cemento [ICPC]. (1990). *Notas Técnicas 4-38-858, Fabricación de bloques de concreto*. ICPC.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017, 28 de febrero). Resolución No. 0472. Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición – RCD y se dictan otras disposiciones. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/resolucion-0472-de-2017.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015, 12 de junio). Decreto 1285. Por el cual se modifica el Decreto 1077 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, en lo relacionado con los lineamientos de construcción sostenible para edificaciones.  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=62885>
- Natalini, M., Klees, D., y Timer, J. (2000). Reciclaje y reutilización de materiales residuales de construcción y demolición. [http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2000/7\\_tecnologias/t\\_pdf/t\\_013.pdf](http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2000/7_tecnologias/t_pdf/t_013.pdf)
- Romero, E. (2007). Residuos de Construcción y Demolición. Universidad de Huelva.  
<http://www.uhu.es/emilio.romero/docencia/Residuos%20Construccion.pdf>
- Salazar, A. (1992). Estudio sobre la utilización de escombros, provenientes del sector de la construcción en Cali. Universidad del Valle.
- Salazar, A. (2011, 31 de agosto). ¿Los escombros de construcción, son realmente un problema técnico? Seminario Camacol: “Pasos firmes hacia la sostenibilidad en Colombia”, Santiago de Cali, Colombia.