Universidad de La Salle
Ciencia Unisalle

Ingeniería Ambiental y Sanitaria | Facultad de Ingeniería

2019

Propuesta de alternativas para el aprovechamiento del ladrillo como RCD en Colombia – estudio de caso de Bogotá

Stefanía Jaramillo Quecan
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria

Part of the Environmental Engineering Commons

Citación recomendada

Jaramillo Quecan, S. (2019). Propuesta de alternativas para el aprovechamiento del ladrillo como RCD en Colombia – estudio de caso de Bogotá. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1180

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

PROPUESTA DE ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DEL LADRILLO COMO RCD EN COLOMBIA – ESTUDIO DE CASO DE BOGOTÁ

STEFANIA JARAMILLO QUECAN

Directora

Dr. Arq Paula Andrea Cifuentes Ruiz

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

BOGOTA

2019

PROPUESTA DE ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DEL LADRILLO COMO RCD EN COLOMBIA – ESTUDIO DE CASO DE BOGOTÁ

STEFANIA JARAMILLO QUECAN

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL Y SANITARIA

Directora

Dr. Arq Paula Andrea Cifuentes Ruiz

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

BOGOTA

2019

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN 7

2. JUSTIFICACIÓN 7

3. OBJETIVOS 8

3.1. GENERAL 8
3.2. ESPECÍFICOS 8

4. ALCANCE 8

5. MARCO TEÓRICO 9

5.1. RESIDUOS DE CONSTRUCCION Y DEMOLICIÓN 9
5.2. LADRILLO 10
5.2.1. TIPOS DE LADRILLOS 10
5.2.1.1. LADRILLO MACIZO 10
5.2.1.2. LADRILLO MACIZO SEMI PRENSADO 11
5.2.1.3. LADRILLO MACIZO PRENSADO 12
5.2.1.4. LADRILLO HUECO O BLOQUE 12
5.2.1.5. LADRILLO HUECO PRENSADO 13
5.2.1.6. LADRILLO TABLÓN 13
5.2.2. FABRICACION DE LADRILLOS 14
5.3. CICLO DE VIDA DE UN PRODUCTO 14
5.4. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV) 15
5.5. ECONOMÍA CIRCULAR 15
5.6. ANTECEDENTES 17
5.6.1. APROVECHAMIENTO A NIVEL INTERNACIONAL 17
5.6.1.1. MEXICO 17
5.6.1.2. ESPAÑA 18
5.6.1.3. PAISES BAJOS 20
5.6.1.4. ITALIA 21
5.6.1.5. AUSTRALIA 22
5.6.1.6. ESTADOS UNIDOS 23
5.6.1.7. CHINA 23
5.6.2. APROVECHAMIENTO A NIVEL NACIONAL 25
5.6.2.1. MEDELLLIN 27
5.6.2.2. BOGOTA 27
5.6.2.3. CARTAGENA 28
5.6.2.4. SOGAMOSO 30
5.6.2.5. BARRANQUILLA 31
5.6.2.6. CALI 32
5.6.3. USO DE LA ECONOMIA CIRCULAR COMO MODELO DE APROVECHAMIENTO DEL LADRILLO 33
5.6.3.1. De la Cuna a la Cuna 33
5.6.3.2. DINAMARCA 34
5.6.3.3. HOLANDA 35
5.6.3.4. ALEMANIA 35
5.6.3.5. REINO UNIDO 35
5.6.3.6. ESTADOS UNIDOS 36
5.6.3.7. ESPAÑA 36
5.6.3.8. JAPÓN 36
5.6.3.9. HONG KONG 36
5.6.3.10. COLOMBIA 37

5.7. EMPRESAS RELACIONADAS 38
5.7.1. PRODUCTORES DE LADRILLOS 38
5.7.2. GENERADORES DE RCD....38
5.7.3. PRINCIPALES GESTORES DE RCD EN COLOMBIA....39

6. MARCO LEGAL 40

6.1. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA (NTC)....42
6.2. NORMAS INTERNACIONALES 42

7. METODOLOGÍA.... 44

7.1. DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y EL ALCANCE 44
7.2. ANÁLISIS DEL INVENTARIO - LCI....44
7.3. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL - LCIA....44
7.3.1. SIMAPRO 45
7.3.2. ECOINVENT 45
7.4. ANÁLISIS 45
7.5. ALTENATIVAS 45
7.5.1. IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DEL LADRILLO....45
7.5.2. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DEL LADRILLO 45

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 46

8.1. DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y EL ALCANCE 46
8.2. ANÁLISIS DEL INVENTARIO 46
8.2.1. CICLO DE VIDA 46
8.2.2. TRANSPORTE 46
8.2.3. MATERIA PRIMA 47
8.2.4. ENERGIA CONSUMIDA 48
8.3. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL 48
8.4. ANÁLISIS 49
8.4.1. DIAGRAMA DE RED....49
8.4.2. PERFIL MEDIOAMBIENTAL....50
8.5. ALTERNATIVAS 56
8.5.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL APROVECHAMIENTO DEL LADRILLO 56
8.5.1.1. VENTAJAS 56
8.5.1.2. DESVENTAJAS.... 57
8.5.1.3. CUADRO COMPARATIVO VENTAJAS Y DESVENTAJAS 58
8.5.1.4. ESCENARIO DE REFERENCIA 58
8.5.1.5. ESCENARIO DE ALTERNATIVAS PROPUESTAS.... 60
8.5.2. EVALUACION DE ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DEL LADRILLO 60
8.5.2.1. MATRIZ MAFE 61
ALTERNATIVA A 61
ALTERNATIVA B 62
ALTERNATIVA C 63
8.5.3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DEL LADRILLO 64
8.5.3.1. ALTERNATIVAS EVALUADAS.... 64

1. CONCLUSIONES 64

2. RECOMENDACIONES 66

3. BIBLIOGRAFIA.... 67

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de los residuos de construcción y demolición RCD. 10
Tabla 2. Residuos de construcción y demolición. 18
Tabla 3. La reutilización de ladrillos. Ventajas ecológicas y viabilidad constructiva....19
Tabla 4. Uso de triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto. 21
Tabla 5. An overview of wastes recycling in fired clay bricks aeslina....22
Tabla 6. Development of bricks from waste material: a review paper. 22
Tabla 7. Flexural performance of RC beams made with recycled brick aggregate. 23
Tabla 8. A review of recycled aggregate in concrete applications. 24
Tabla 9. Mechanical properties of recycled concrete with demolished waste concrete aggregate and clay brick aggregate. 25
Tabla 10. El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana....27
Tabla 11. Diagnóstico técnico y económico del aprovechamiento de residuos de construcción y demolición en edificaciones en la ciudad de Bogotá....28
Tabla 12. Aprovechamiento de escombros como agregado para la fabricación de adoquines estándar. 29
Tabla 13. Uso de triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto. 31
Tabla 14. Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión....32
Tabla 15. Uso de residuos cerámicos en la producción de ladrillos de arcillas del sector alfarero de candelaria....33
Tabla 16. Principales ladrilleras en Colombia....38
Tabla 17. Gestores de RCD en Colombia....40
Tabla 18. Normatividad colombiana. 41
Tabla 19. Normas técnicas para la elaboración de ladrillos. 42
Tabla 20. Normatividad internacional. 44
Tabla 21. Transportes y distancias utilizadas....47
Tabla 22. Materia prima para la fabricación del ladrillo. 47
Tabla 23. Energía consumida....48
Tabla 24. Cuadro comparativo de ventajas y desventajas del aprovechamiento del Ladrillo. 58
Tabla 25. Cuadro comparativo de los escenarios de referencia....59
Tabla 31. Matriz MAFE - Generación de estrategias Alternativa A. 62
Tabla 32. Matriz MAFE - Generación de estrategias Alternativa B. 62
Tabla 33. Matriz MAFE - Generación de estrategias Alternativa C. 63

Índice de figuras

Figura 1. Ladrillo macizo (Tolete) 11
Figura 2. Ladrillo macizo semi prensado. 11
Figura 3. Ladrillo hueco. 12
Figura 4. Ladrillo hueco prensado. 13
Figura 5. Ladrillo tolete perforado o panal. 13
Figura 6. Ladrillo tablón. 13
Figura 7. Diagrama de la fabricación de ladrillos y derivados de arcilla. 14
Figura 8. Comparación entre economía lineal y economía circular. 16
Figura 9. Participación de las distintas actividades económicas en la generación total de residuos en la EU-28 en 2014. 19
Figura 10. Composición de los residuos de construcción y demolición. 20
Figura 11. Diagrama de los principios de la sostenibilidad....33
Figura 12. Diagrama del modelo de economía circular....34
Figura 13. Proceso producción de ladrillos ecológicos....37
Figura 14. Proceso de producción del ladrillo. 46
Figura 15. Matriz DOFA - Generación de estrategias....60

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Vínculo entre las categorías de punto medio con las categorías de daños. 48
Ilustración 2. Diagrama de red ACV del ladrillo. 50
Ilustración 3. Perfil Medioambiental de todo el ciclo de vida. 51
Ilustración 4. Categorías de daño de la disposición final y el reciclaje. 53
Ilustración 5. Evaluación del daño a la salud humana. 54
Ilustración 6. Evaluación del daño a la calidad del ecosistema....55
Ilustración 7. Evaluación del daño al cambio climático....55
Ilustración 8. Evaluación del daño a los recursos....56

1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación busca proponer alternativas para el uso del Ladrillo, para esto se realizó el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de los ladrillos elaborados de manera mecanizada como en empresas que tratan los aspectos e impactos ambientales potenciales ya sea por la utilización de recursos y por las consecuencias ambientales de las emisiones o por los vertimientos 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.

Se analizaron dos sistemas, el primero es la elaboración de ladrillos de manera mecanizada realizando su disposición final en un vertedero esto haciendo referencia a que allí termina su ciclo de vida, el segundo es su fabricación de forma mecanizada realizando la recuperación de este, ya sea para reintegrarlo al mismo ciclo o como materia prima de otro proceso, para así poder comparar que sistema genera más impactos. Para esto, este estudio de ACV, constó de cuatro fases, la primera fase es la definición del objetivo y el alcance, la segunda fase es de análisis del inventario, la tercera fase es de evaluación del impacto ambiental, y por último está la de interpretación o de análisis.

Posteriormente se analiza la aplicación de la economía circular en la producción de ladrillos, para esto se definió la economía circular y sus fundamentos, una vez se entiende este concepto y otros relacionados como de la cuna a la cuna, se realiza una investigación bibliográfica de las diferentes acciones que se han tomado para evitar la generación de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD). Todo lo anterior para tener un fundamento o una base para analizar las diferentes técnicas de reincorporación a la cadena productiva ya sea del mismo producto o de algún otro, y así plantear alternativas para la reutilización del Ladrillo para poder seleccionar una alternativa que sea viable de replicar.

2. JUSTIFICACIÓN

Desde la antigüedad los hombres vienen buscando estrategias para la reutilización del ladrillo. En la época romana existía un pavimento o recubrimiento de pared formado por una mezcla impermeable de cal, arena y fragmentos de cerámica, a veces con decoración de teselas (Molina, Vizcaino, & Ramírez, 2015). Ésta es la definición de opus signinum, una técnica que fue heredada de los fenicios y la utilizaron para pavimentar calles y vías de comunicación, edificios termales,

canalizaciones hidráulicas, y sobre todo para construir el pavimento de sus villas (Civancik-Uslu, Ferrer, Puig, & Fullana-i-Palmer, 2018). Un material que en muchos casos se ha conservado hasta nuestros días, gracias a su extrema resistencia (Bueno, 2018).

3. OBJETIVOS

3.1. GENERAL

Plantear alternativas para la reutilización del ladrillo con base en la economía circular en Colombia

3.2. ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos en el Análisis de Ciclo de Vida de la reutilización y la disposición final del Ladrillo utilizando el software SimaPRO 8.5 con la metodología IMPACT 2002.
- Evaluar los potenciales impactos ambientales del Análisis de Ciclo de Vida de la reutilización y la disposición final del Ladrillo.
- Plantear una alternativa para el aprovechamiento del ladrillo como Residuos de Construcción y Demolición para la disminución de los impactos ambientales.

4. ALCANCE

Actualmente vivimos en un mundo con recursos naturales limitados, esto debido a la existencia de un sistema económico insostenible que se encuentra en conflicto con el medioambiente por las repercusiones que el sector de la construcción puede llegar a ocasionar, además de la ausencia de información sobre las exigencias a las que se deben someter los RCD`s o en este caso al ladrillo para su posible reutilización, esta falta de información repercute de manera directa en nuestro entorno, es por esto que es necesario identificar técnicas para la reutilización del ladrillo (Lett, 2014) (Vega, 2012).

Debido a lo anteriormente explicado el alcance de esta guía va a ser a nivel Colombia aunque se aplicara un estudio de caso en Bogotá, ya que a pesar de ser la ciudad capital no se ha podido implementar en su totalidad un control, debido a varios factores, tales como la existencia de un alto número de sitios ilegales donde se depositan los RCD, así mismo, existen muchas obras que no cuentan con una planeación para la gestión de los RCD, además hay una falta de cultura y

responsabilidad ambientales de la sociedad colombiana en general (Universidad Industrial de Santander & Unidad de Planeación Minero Energético, 2018).

5. MARCO TEÓRICO

5.1. RESIDUOS DE CONSTRUCCION Y DEMOLICIÓN

Según la guía para la elaboración del plan de gestión de residuos de construcción y demolición en obra los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) son todo residuo sólido sobrante de las actividades de demolición, excavación, construcción y/o repa- ración de las obras civiles o de otras actividades conexas (Secretaria Distrital de Ambiente, 2015). Los RCD resultan de las actividades de la construcción (demolición, excavación, construcción y/o reparaciones de las obras civiles) (SDA, 2015)

Los residuos sólidos no peligrosos en su mayoría se dividen en aprovechable y no aprovechables (Ministerios de vivienda ciudad y territorio, 2013). Esto se resume en la Tabla 1, allí se presenta una clasificación de los residuos sólidos para diferenciar los residuos que tienen un potencial para su aprovechamiento y los que por un inadecuado manejo pueden perder este potencial.

CATEGORIA	GRUPO	CLASE	COMPONENTES
RCD APROVECHABLES	Residuos mezclados	Residuos pétreos	Concretos, cerámicos, ladrillos, arenas, gravas, cantos, bloques o fragmentos de roca, baldosín, mortero y materiales inertes que no sobrepasen el tamiz # 200 de granulometría
	Residuos de material fino	Residuos finos no expansivos	Arcillas (caolín), limos y residuos inertes, poco o no plásticos y expansivos que sobrepasen el tamiz # 200 de granulometría
		Residuos finos expansivos	Arcillas (montmorillonitas) y lodos inertes con gran cantidad de finos altamente plásticos y expansivos que sobrepasen el tamiz # 200 de granulometría.
	Otros Residuos	Residuos no pétreos	Plásticos, PVC, maderas, cartones, papel, siliconas, vidrios, cauchos.
		Residuos de carácter metálico	Acero, hierro, cobre, aluminio, estaño y zinc
		Residuos orgánicos de pedones	Residuos de tierra negra.
		Residuos orgánicos de cespedones	Residuos vegetales y otras especies bióticas.

CATEGORIA	GRUPO	CLASE	COMPONENTES
RCD NO APROVECHABLES	Residuos peligrosos	Residuos corrosivos, reactivos, radioactivos. explosivos, tóxicos, patógenos (biológicos)	Desechos de productos químicos, emulsiones, alquitrán, pinturas, disolventes orgánicos, aceites, resinas, plastificantes, tintas, betunes, barnices, tejas de asbesto, escorias, plomo, cenizas volantes, luminarias, desechos explosivos, y los residuos o desechos incluidos en el Anexo I y Anexo II o que presenten las características de peligrosidad descritas en el Anexo III del Decreto4741 de 2005.
	Residuos especiales	No definida	Poliestireno-Icopor, cartón-yeso (drywall), llantas entre otros
	Residuos contaminados con otros residuos	Residuos contaminados con residuos peligrosos	Materiales pertenecientes a los grupos anteriores que se encuentren contaminados con residuos peligrosos. Estos deben ser dispuestos como residuos peligrosos.
		No definida	Residuos contaminados con otros residuos, que hayan perdido las características propias para su aprovechamiento.
	Otros residuos	No definida	Residuos que por requisitos técnicos no es permitido su reuso en las obras.

Tabla 1. Clasificación de los residuos de construcción y demolición RCD.
Fuente: (SDA, 2015).

5.2. LADRILLO

El Ladrillo es el material de construcción más antiguo fabricado por el hombre. Podemos definir que el ladrillo es una "piedra artificial" de forma geométrica, que resulta de la propiedad plástica de la materia prima empleada, la arcilla, que, al modelarse con agua, una vez seca y tras su posterior cocción adquiere una gran dureza y resistencia. Se llega así al ladrillo común "de campo" tan conocido y popularizado en nuestros días (Bianucci, 2009).

5.2.1. TIPOS DE LADRILLOS

Según la forma, dureza y acabado, los ladrillos se clasifican en:

5.2.1.1. LADRILLO MACIZO

Es la forma común del ladrillo punto como su nombre lo indica es un elemento macizo y por lo tanto de bastante densidad punto según la región se le da también el nombre de tolete o bocadillo.

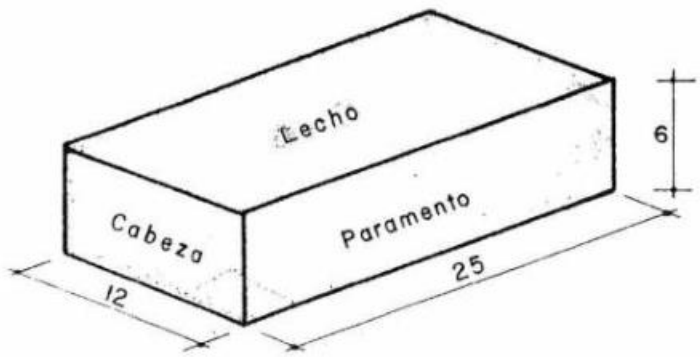

Figura 1. Ladrillo macizo (Tolete)
Fuente: (Beltran et al., n.d.).

La dureza y densidad del ladrillo depende de varios factores como lo son:

- Calidad de la arcilla utilizada
- Proceso de fabricación
- Temperatura a que es sometido en el horno

Este tipo de ladrillos normalmente es producido en forma artesanal en molde de madera (gaveras), al ser quemado su apariencia es rústica se utiliza en mampostería que se pañeta

5.2.1.2. LADRILLO MACIZO SEMI PRENSADO

Tiene la misma forma que el ladrillo macizo común sin embargo el proceso de fabricación de ladrillo es más exigente por lo tanto se utilizan gaveras de mayor calidad por lo tanto una de las caras del ladrillo sale de mejor acabado que las otras caras que se ven un poco rústicas, este tipo de ladrillos es utilizado en elementos que no necesitan tener un acabado perfecto (Beltran et al., n.d.).

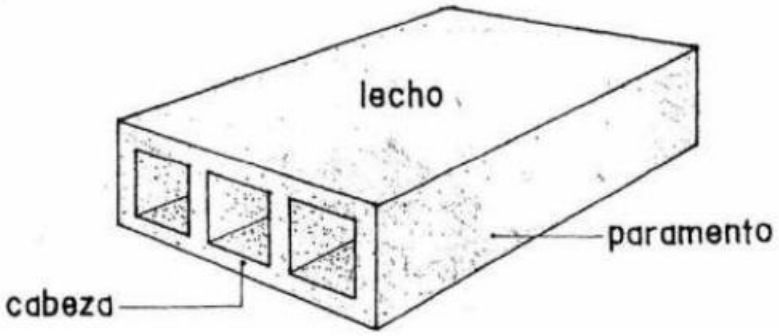

Figura 2. Ladrillo macizo semi prensado.
Fuente: (Beltran et al., n.d.).

5.2.1.3. LADRILLO MACIZO PRENSADO

De la misma forma que los dos ladrillos anteriores su proceso de fabricación es más específico ya que se utiliza un molde metálico estos son independientes para cada ladrillo o se puede hacer uno para varios y posteriormente cortarse a máquina. para este tipo de ladrillos se utilizan materiales de buena calidad.

Este proceso se realiza de manera mecánica para garantizar qué ladrillo tenga una mayor compactación y a su vez evitar la porosidad. Así mismo su quemado se efectúa en hornos de producción continua que reparten uniformemente el calor permitiendo así un mejor cocimiento de cada ladrillo. Con este proceso se garantiza la obtención de un ladrillo de excelente calidad con muy buena textura y acabados, este tipo de ladrillos es utilizado en mampostería decorativa o a la vista.

5.2.1.4. LADRILLO HUECO O BLOQUE

Este tipo de ladrillos se fabrican de varios tamaños y la característica más importante es que puede tener huecos longitudinales o verticales. estos lo hacen más liviano

Además, debido al tamaño de este tipo de ladrillos se fabrica con estrías o ranuras Exteriores longitudinales con las cuales se obtiene mayor adherencia al mortero de pega o de la capa de revoque o pañete el ancho del ladrillo hueco varía y se clasifica por número así:

- No. 4 = 10 cm
- No. 5 = 12 cm
- No. 6 = 15 cm

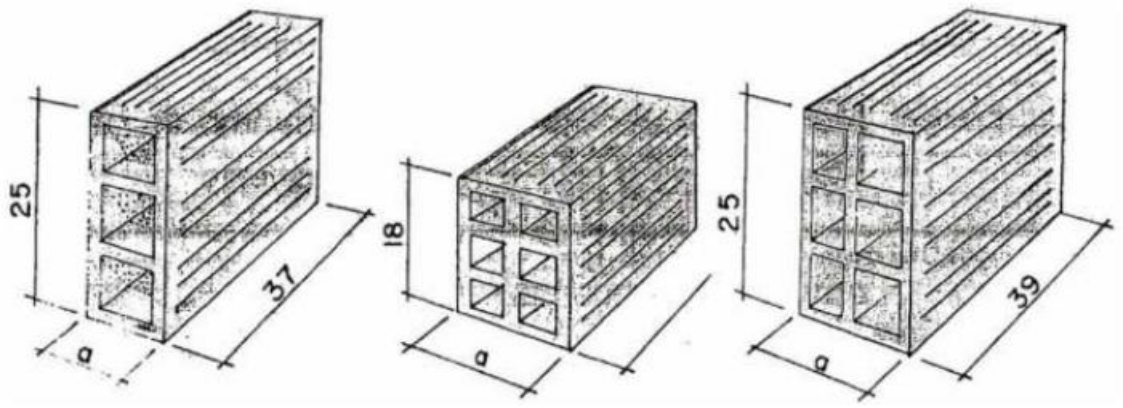

Figura 3. Ladrillo hueco.
Fuente: (Beltran et al., n.d.).

Estos números equivalen al ancho en pulgadas del molde con el que se fabricó. El largo de este tipo de ladrillos varía según la fábrica. de acuerdo con la región toma diferentes nombres como: ladrillo hueco, farol, bloque hueco, etc.

5.2.1.5. LADRILLO HUECO PRENSADO

Tiene las mismas dimensiones y apariencia exterior que el ladrillo macizo, por lo cual se le llama también ladrillo tolete aligerado, sus caras son lisas y de buen acabado. Los hay de uno, dos, tres o más huecos.

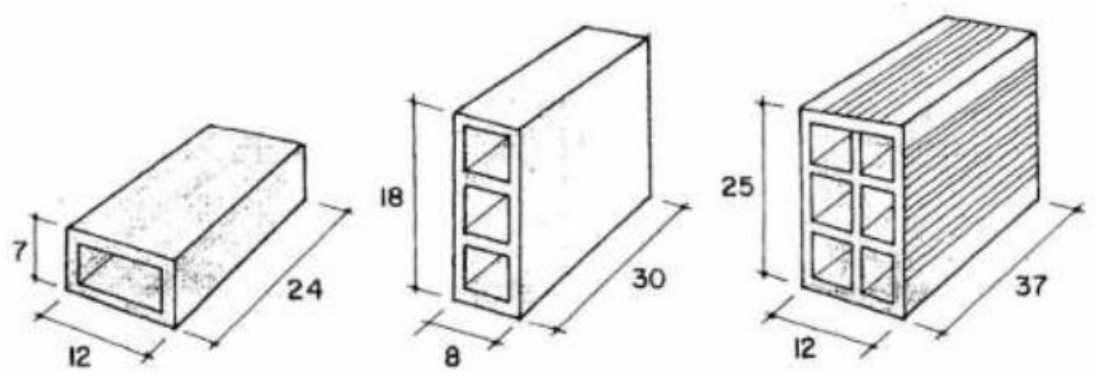

Figura 4. Ladrillo hueco prensado.
Fuente: (Beltran et al., n.d.)

5.2.1.6. LADRILLO TABLÓN

Tiene forma de ladrillo hueco, pero más delgado con ranuras a lo largo de los huecos que permite separarlo en dos partes. cada una de estas partes tiene forma de baldosa y se utiliza enchapes para pisos. Se fabrica en varios tamaños, de forma cuadrada y rectangular.

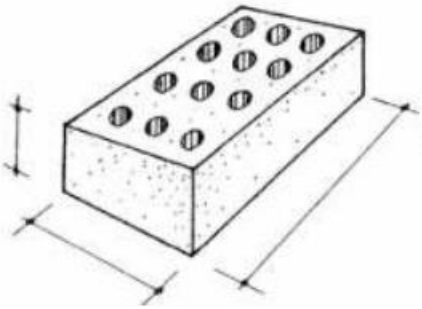

Figura 5. Ladrillo tolete perforado o panal.

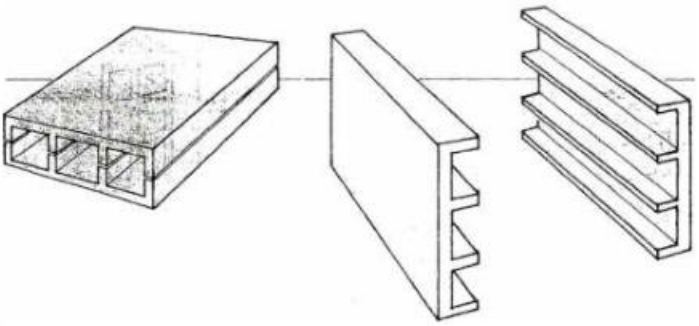

Figura 6. Ladrillo tablón.

Fuente: (Beltran et al., n.d.).

5.2.2. FABRICACION DE LADRILLOS

Los ladrillos de arcilla son hechos en moldes o, más comúnmente en producción comercial, extendiendo la arcilla en una capa gruesa y luego cortándola con alambres al tamaño adecuado (Paz-Gonzales, 2014).

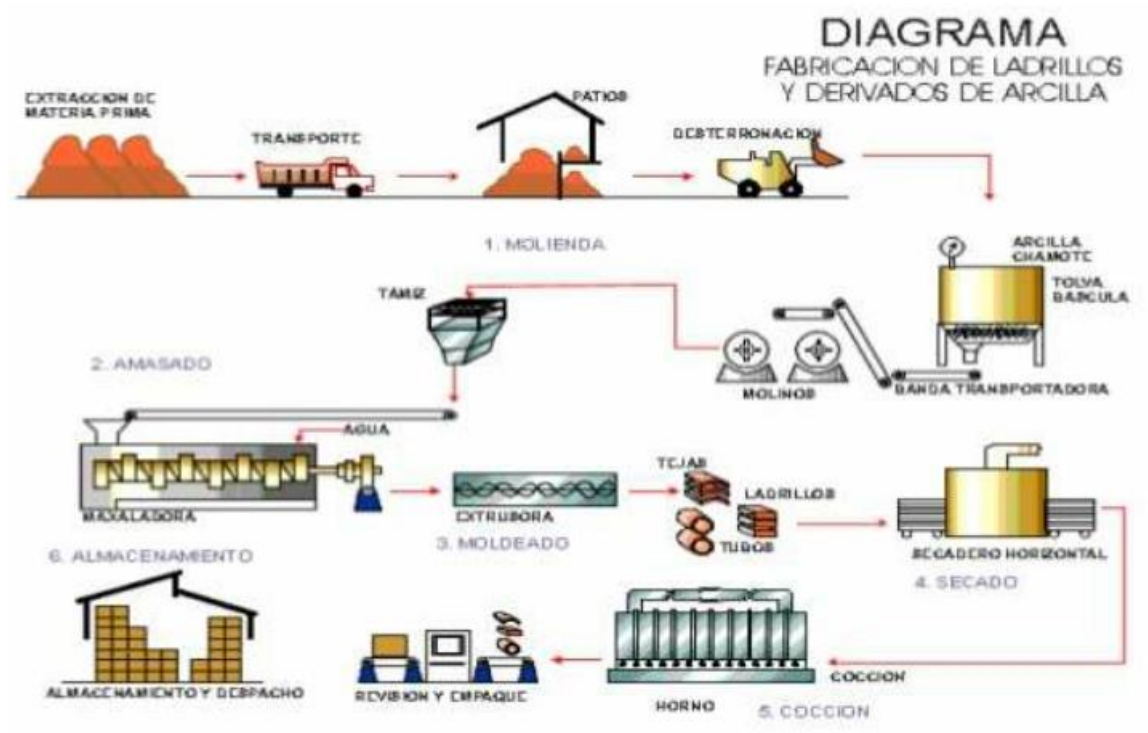

Figura 7. Diagrama de la fabricación de ladrillos y derivados de arcilla.
Fuente: (Guarniz, 2010).

5.3. CICLO DE VIDA DE UN PRODUCTO

La vida de un producto empieza en el diseño y desarrollo del producto y termina al final de vida de las actividades (reutilización, reciclaje, etc.) a través de las siguientes etapas (Rieznik & Hernández, 2005):

- Adquisición de materias primas: Todas las actividades necesarias para la extracción de las materias primas y las aportaciones de energía del medio ambiente, incluyendo el transporte previo a la producción.
- Proceso y fabricación: Actividades necesarias para convertir las materias primas y energía en el producto deseado. En la práctica esta etapa se compone de una serie de subetapas con productos intermedios que se forman a lo largo de la cadena del proceso.

- Distribución y transporte: Traslado del producto final al cliente.
- Uso, reutilización y mantenimiento: Utilización del producto acabado a lo largo de su vida en servicio.
- Reciclaje: Comienza una vez que el producto ha servido para su función inicial y consecuentemente se recicla a través del mismo sistema de producto (ciclo cerrado de reciclaje) o entra en un nuevo sistema de producto (ciclo de reciclaje abierto).
- Gestión de los residuos. Comienza una vez que el producto ha servido a su función y se devuelve al medio ambiente como residuo.

5.4. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV)

Es una metodología de índole internacional, que se proyecta en el marco de la gestión ambiental con el fin de analizar la dinámica de la materia y la energía en los sistemas productivos y la forma de hacerla más eficiente a través de mejorar los procesos en todas las fases de la producción (Orrego, 2012).

Según la Norma ISO 14040: "El Análisis de Ciclo de Vida es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto: compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema, evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio" (ICONTEC, 2007; Rieznik & Hernández, 2005, p. 9). De forma general se puede decir que "El ACV de un producto es una metodología que intenta identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del Ciclo de Vida de un producto" (Orrego, 2012, p. 27).

Este informe pretende describir el ACV de la elaboración de los ladrillos de manera mecanizada y su inclusión en el contexto del desarrollo sostenible, principio relacionado con la sostenibilidad y las directrices del sector productivo sobre el manejo de un producto y la forma en que las sociedades hacen uso de él (Lausselet, Borgnes, & Brattebø, 2018).

5.5. ECONOMÍA CIRCULAR

El concepto de economía circular fue introducido por primera vez en la década de 1960 por el economista estadounidense K. Boulding (1966), para abordar el deterioro de las condiciones

ambientales. La economía circular propone que en el sistema a gran escala de personas, recursos naturales, ciencia, tecnología, el proceso de ingreso de recursos, producción corporativa, el consumo, entre otros, que es implementada en la economía lineal que se utiliza tradicionalmente, cuyo desarrollo depende del consumo de recursos, se transforme en una economía cuyo desarrollo depende del reciclaje de los recursos ecológicos (Jimenez, 2017).

La economía circular sigue las leyes de la ecología y promueve el uso racional de los recursos naturales y la capacidad de sustentación ambiental. Además, el enfoque de economía circular adopta el proceso de retroalimentación de los "recursos naturales productos y servicios recursos renovables" (Reike, Vermeulen, & Witjes, 2018), logra el desarrollo económico sobre la base del reciclaje continuo y la reutilización de materiales e integra armoniosamente el sistema económico en el ecosistema natural (Jimenez, 2017).

El concepto de economía circular se apoya en los fundamentos de la escuela ecologista, y propone un cambio al paradigma “reducir, reutilizar y reciclar” por una transformación más profunda y duradera, que permita disminuir el impacto causado por las actividades humanas sobre el medio ambiente (Macarthur, 2010). Este modelo otorga al residuo un papel dominante y se sustenta en la reutilización inteligente del desperdicio, sea este de naturaleza orgánica o de origen tecnológico, en un modelo cíclico que imita a la naturaleza y se conecta con ella (Ghisellini, Cialani, & Ulgiati, 2016). Bajo este enfoque, el residuo pierde su condición de tal y se convierte en la materia prima “alimentaria” de los ciclos naturales o se transforma para formar parte de nuevos productos tecnológicos, con un mínimo gasto energético (Lett, 2014).

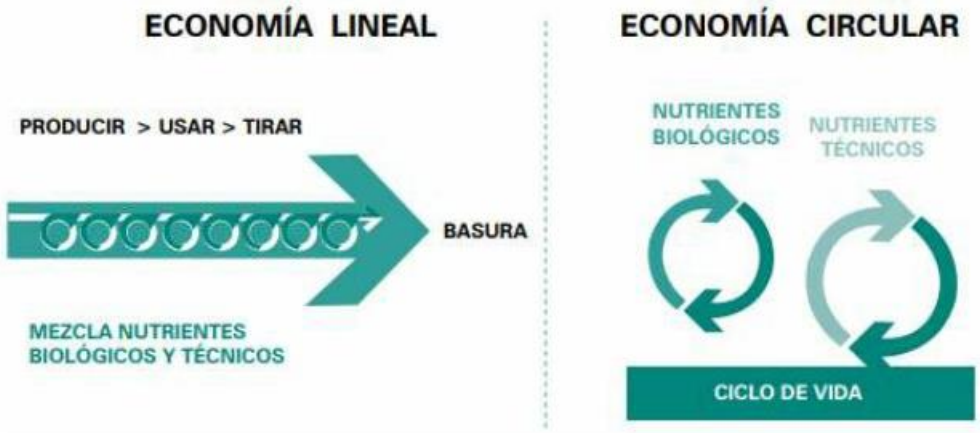

Figura 8. Comparación entre economía lineal y economía circular.
Fuente: (Hermida & Domínguez, 2014).

En una Economía Circular se ecodiseña para mejorar el desempeño ambiental del producto a lo largo de todo su ciclo de vida, cerrando ciclos productivos para optimizar el uso de recursos y minimizar la generación de residuos (Mart, 2018). En la economía circular existen tres niveles básicos de acción:

- Primer nivel: la organización busca mayor eficiencia a través de las 3R: reducir el consumo de recursos y emisiones de residuos; reutilizar los recursos, y reciclar los componentes.
- Segundo nivel: se reutilizan y reciclan los recursos dentro de parques eco-industriales e industrias encadenadas, de tal manera que circulan totalmente en el sistema de producción local.
- Tercer nivel: se integran diferentes sistemas de producción y consumos locales, los recursos circulan entre las industrias y los sistemas urbanos. Este nivel requiere el desarrollo local de sistemas de recolección, almacenaje, almacenaje, procesado, y distribución, por producto.

5.6. ANTECEDENTES

5.6.1. APROVECHAMIENTO A NIVEL INTERNACIONAL

5.6.1.1. MEXICO

El objetivo de este artículo es utilizar residuos de construcción y demolición como complemento de los agregados pétreos en la elaboración de mezclas asfálticas, las cuales puedan ser utilizadas en la construcción de carpetas asfálticas de vialidades urbanas. De esta manera se genera una alternativa de mitigación del problema ambiental que se deriva de una gestión inadecuada de estos residuos.

TITULO DEL ARTICULO: Residuos de construcción y demolición
FUENTE: (Ossa & Garcia, 2015)
MATERIAL: Ladrillo
METODOLOGIA
○ Con el fin de evaluar el desempeño de mezclas asfálticas elaboradas con agregados producto del reciclado de RCD, se fabricaron probetas de concreto asfáltico en las que se utilizaron combinaciones de agregado pétreo y reciclado de RCD en proporciones de 100-0, 90-10, 80-20, 70-30 y 60-40, respectivamente.
CONCLUSIONES

○ La incorporación de agregados productos del reciclado de residuos de construcción y demolición (RCD) en la elaboración de mezclas de concreto asfáltico destinadas a la construcción de carpetas asfálticas en carreteras urbanas es viable desde el punto de vista de la susceptibilidad al daño por humedad y a la deformación permanente. Sin embargo, se deberán realizar estudios adicionales que permitan definir los porcentajes de agregado reciclado adecuados para utilizarse en función de la variabilidad de sus características y propiedades.

Tabla 2. Residuos de construcción y demolición.
Fuente: (Ossa & Garcia, 2015).

5.6.1.2. ESPAÑA

Este artículo se enmarca en el estudio de la reutilización de los escombros de construcción como línea de investigación para una arquitectura circular y de cero residuos. Concretamente, se enfoca en la viabilidad de la reutilización del ladrillo como producto de construcción en sustitución del ladrillo de nueva producción. Este estudio parte de la hipótesis de que es posible esclarecer una metodología que facilite a las empresas ofrecer unas garantías de calidad.

Asi mismo, se hace un balance del ahorro ambiental que supone la reutilización del ladrillo en contraposición con la huella ambiental de la producción de nuevos ladrillos y del reciclado de ladrillo triturado. Mediante el estudio experimental realizado en el laboratorio y de acuerdo con las conclusiones obtenidas se confirma la hipótesis de la posible caracterización de ladrillos reutilizados respecto de las exigencias normativas aplicables. Dicha caracterización define y se enmarca en una filosofía de construcción en la que la obra se piense desde su concepción hasta su futura demolición.

TITULO DEL ARTICULO: La reutilización de ladrillos. Ventajas ecológicas y viabilidad constructiva
FUENTE: (Bueno, 2018)
MATERIAL: Ladrillo
METODOLOGIA
Para el desarrollo del estudio se lleva a cabo la siguiente metodología de trabajo, cuyos resultados se exponen en los capítulos posteriores. ○ Estado del arte. Se realiza un análisis de la situación actual en la materia de reutilización de ladrillos mediante una búsqueda bibliográfica y tomando como punto de partida las conclusiones que se extraen de este análisis del estado del arte. ○ Análisis comparativo sostenibilidad del reutilizado de ladrillos. ○ Análisis comparativo mediante tablas de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo en cumplimiento de las exigencias de la norma armonizada. ○ Trabajo experimental: ensayos de laboratorio para caracterización de ladrillos antiguos de origen desconocido mediante pruebas de adherencia, absorción de agua y determinación de densidad
CONCLUSIONES

- En general, se puede concluir que el reprocesamiento de ladrillos de desecho para su reutilización, genera una serie de ahorros ambientales (aunque no en todas las categorías de impacto ambiental) en relación con el reciclaje en forma de trituración de residuos de ladrillos para la construcción de carreteras. Esto se debe principalmente a la diferencia que supone la sustitución de nuevos ladrillos con la reutilización, que evita los costos ambientales de la producción de ladrillos. Dado que el consumo de energía y las emisiones en el proceso de reprocesamiento del ladrillo son menores que en la producción de ladrillos nuevos en sí, mediante la reutilización de ladrillos se logran ahorros netos potenciales en las categorías de impacto, efecto invernadero, acidificación, formación de ozono fotoquímico y consumo de combustibles fósiles.

Tabla 3. La reutilización de ladrillos. Ventajas ecológicas y viabilidad constructiva.
Fuente: (Autor)

La producción oficial de residuos en el año 2014 según los datos Europeos recogidos en el año 2017 alcanza una cantidad de 2502 millones de toneladas al año en toda Europa.

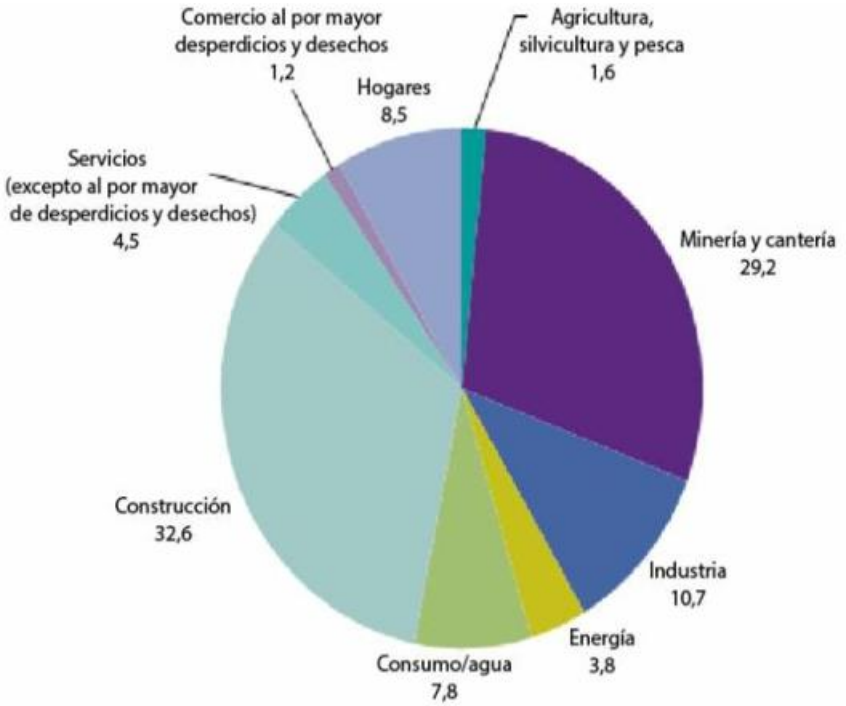

Figura 9. Participación de las distintas actividades económicas en la generación total de residuos en la EU-28 en 2014.
Fuente: (Eurostat, 2017).

La figura 9 se muestra la participación de las distintas actividades económicas en la generación total de residuos en la EU-28 en 2014. La construcción y la demolición contribuyeron con un 32,6 % del total. (Eurostat, 2017). En España se producen alrededor de 40 millones de toneladas de RCD al año, lo que le sitúa como el primer país productor de RCD de Europa.

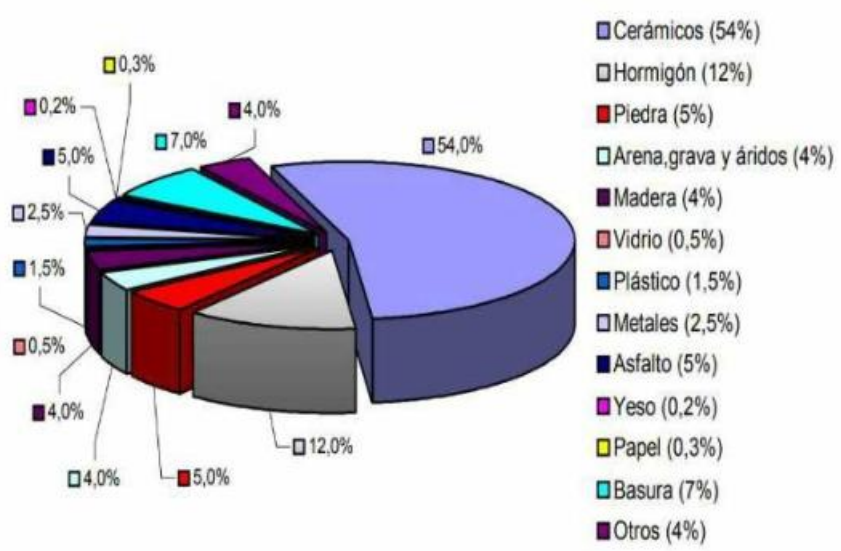

Figura 10. Composición de los residuos de construcción y demolición.
Fuente: (Bueno, 2018)

La figura 10 muestra los porcentajes de materiales que conforman los residuos de construcción y demolición. La mayoría de los escombros resultantes de la demolición de edificios que llegan al vertedero lo conforman ladrillos, azulejos y otros cerámicos, llegando a conformar más de la mitad de la totalidad de los residuos y seguido de entorno a un 12% escombros de hormigón (Bueno, 2018). En base al estudio realizado, es relevante que los ladrillos sean divididos en ladrillos de muros interiores y exteriores en su origen, ya que aparte de que los ladrillos de las paredes interiores no tienen los mismos requisitos de durabilidad, seguridad contra las heladas, 23, durante su vida anterior han sido expuestos a diferentes condiciones de deterioro.

5.6.1.3. PAISES BAJOS

El reciclado y la reutilización de ladrillos procedentes de defectuosa fabricación podría, conducir a la industria de la construcción a un escenario de mayor sostenibilidad, reduciendo el uso de recursos no renovables y el impacto negativo que causa al medio ambiente el manejo inadecuado de los residuos sólidos. Este artículo examina la posibilidad de utilizar triturado de ladrillo como agregado grueso en la elaboración de concreto. Para esto fue sustituido el agregado natural grueso por triturado de ladrillo en diferentes proporciones (0, 10, 20 y 30%). Se analizaron las propiedades químicas del ladrillo reciclado, así como las propiedades mecánicas del concreto endurecido (flexión y compresión a los 28 días). Los resultados del ensayo indican la viabilidad de utilizar

triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto siempre y cuando este no supere el 30% del agregado natural grueso.

TITULO DEL ARTICULO: Uso de triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto
FUENTE: (Perez, 2012)**.**
MATERIAL: Ladrillo
METODOLOGIA
○ Identificar el agregado ○ Agregado grueso por una mezcla de concreto y ladrillo triturado ○ Analizar datos.
CONCLUSIONES
○ Este agregado reciclado se empleó en la construcción de un viaducto cerca de la ciudad de Helmond. En las obras de la compuerta del puerto de Schijndel, se emplearon alrededor de 300 m3 de concreto con agregado reciclado procedente de una mezcla de hormigón y ladrillo. ○ Desde 1994 el gobierno holandés permite el uso de este tipo de agregado reciclado en hormigón estructural, con un remplazo máximo del 20% del agregado grueso. Sin embargo, entre 1997 y 1998 se construyeron 272 casas unifamiliares empleando un 100% de agregado reciclado. Se utilizó para la construcción de muros de carga de concreto en masa y elementos de concreto para fachada y suelos.

Tabla 4. Uso de triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto.
Fuente: (Perez, 2012).

5.6.1.4. ITALIA

El ladrillo es una de las unidades de mampostería más comunes como material de construcción debido a sus propiedades. Se han realizado muchos intentos para incorporar desechos en la producción de ladrillos. Por ejemplo, hay caucho, polvo de piedra caliza, aserrín de madera, cenizas volantes, poliestireno y lodos. Reciclar estos desechos incorporándolos a los materiales de construcción es una solución práctica para el problema de la contaminación. Este artículo revisa el reciclaje de diferentes desechos en ladrillos de arcilla cocida. Se ha discutido una amplia gama de materiales reciclados con éxito y sus efectos sobre las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos. La mayoría de los ladrillos fabricados con diferentes tipos de residuos han mostrado efectos positivos al producir ladrillos livianos, aumentar la porosidad y mejorar las conductividades térmicas de los ladrillos de arcilla cocida. Sin embargo, también se demostraron reducciones en el número de casos en términos de propiedades mecánicas.

TITULO DEL ARTICULO: An overview of wastes recycling in fired clay bricks
FUENTE: (Kadir & Sarani, 2012)
MATERIAL: Ladrillo
METODOLOGIA
○ Revisión bibliográfica

CONCLUSIONES
○ Sobre la base de revisión de la literatura, revelo que muchos intentos exitosos de incorporar diferentes tipos de residuos en la producción de ladrillos de arcilla cocida, incluyendo lodo, cenizas volantes, poliestireno, residuos de pulpa kraft, procesados té de desecho, cáscara de arroz, hojas de piña, paja, baggase, aserrín, residuos de tabaco, hierba, papel, colillas de cigarrillos y otros.

Tabla 5. An overview of wastes recycling in fired clay bricks aeslina.
Fuente: (Kadir & Sarani, 2012)

5.6.1.5. AUSTRALIA

Dado que la gran demanda se ha puesto en la industria de materiales de construcción, especialmente en la última década debido al aumento de la población que causa una escasez crónica de materiales de construcción, los ingenieros civiles han tenido el desafío de convertir los residuos en materiales de construcción y construcción útiles. El reciclaje de tales residuos como alternativas de materia prima puede contribuir al agotamiento de los recursos naturales; la conservación de recursos no renovables; mejora de la preocupación por la salud y la seguridad de la población con respecto a cuestiones ambientales y reducción de los costos de eliminación de desechos. En la revisión de la utilización de esos desechos, este documento revisó el reciclaje de diversos materiales de desecho en la producción de ladrillos. Se revisarán los efectos de esos desechos en las propiedades de los ladrillos como propiedades físicas y mecánicas, y se darán recomendaciones para futuras investigaciones a medida que surja esta revisión. Este enfoque revisado sobre la fabricación de ladrillos a partir de residuos es útil para proporcionar una solución potencial y sostenible (Shakir, Naganathan, Nasharuddin, & Mustapha, 2013).

TITULO DEL ARTICULO: Development of bricks from waste material: a review paper
FUENTE: (Shakir et al., 2013)
MATERIAL: Ladrillo
METODOLOGIA
○ Separación manual del cartón e impurezas del yeso.
CONCLUSIONES
○ Se han revisado los diversos residuos que actualmente se reciclan en la fabricación de ladrillos. Los efectos de se revisan esos desechos en las propiedades de los ladrillos. El mejor desempeño en términos de hacer más ambiental y un ladrillo económico que no consume recursos energéticos ni emite gases contaminantes brinda una opción económica para diseñar el edificio ecológico. Ciertos ladrillos se producen sin cocción, lo que es una ventaja sobre otros fabricantes de ladrillos en términos de material de baja energía incorporada. El estudio, a su vez, es útil para varias personas de recursos que participan en el uso de material de desecho industrial o agrícola para desarrollar material de construcción sostenible.

Tabla 6. Development of bricks from waste material: a review paper.
Fuente: (Shakir et al., 2013)

5.6.1.6. ESTADOS UNIDOS

Se llevó a cabo una investigación sobre el rendimiento de flexión de vigas de concreto reforzado hechas con agregado de ladrillo reciclado. Para esto, se hicieron 24 muestras de vigas de concreto reforzado de 200 mm de ancho, 250 mm de altura y 2100 mm de longitud con agregados de ladrillos reciclados, agregados de ladrillos de estacas y agregados de ladrillos. Las pruebas de flexión de las vigas se realizaron mediante una prueba de carga de cuatro puntos. Durante la carga, se registraron las deflexiones de las vigas en los lugares medio y tercio medio. También se registraron anchos de grietas y espaciado de grietas. Las vigas se cargaron gradualmente hasta el fallo. Los resultados de las vigas hechas con agregados de ladrillos reciclados se compararon con los mismos resultados que las vigas hechas con agregados de ladrillos vírgenes, es decir, agregados de ladrillos de estacas y agregados de ladrillos.

TITULO DEL ARTICULO: Flexural performance of RC beams made with recycled brick aggregate
FUENTE: (Mohammed, Das, Mahmood, Rahman, & Awal, 2017a)
MATERIAL: Ladrillo
METODOLOGIA
○ Se identifican los materiales de la mezcla. ○ Se determinan los casos a investigar y las porciones de la mezcla. ○ La carga se aplicó gradualmente hasta el fallo. ○ La desviación de las vigas se registró en un intervalo regular de carga.
CONCLUSIONES
○ No se encontraron diferencias significativas en el comportamiento de carga y desplazamiento de las vigas de concreto reforzado hechas con agregado reciclado y agregados de ladrillo virgen, ○ En comparación con los agregados de ladrillos vírgenes, la utilización de agregados de ladrillos reciclados en el concreto no reduce el momento de craqueo, así como la capacidad de momento final de las vigas de concreto reforzadas, y ○ Las disposiciones de ACI 318-14 se pueden usar de manera segura para calcular el momento de craqueo y la capacidad del momento final de las vigas de hormigón reforzado hechas con ladrillo reciclado y agregados de ladrillo virgen.

Tabla 7. Flexural performance of RC beams made with recycled brick aggregate.
Fuente: (Mohammed, Das, Mahmood, Rahman, & Awal, 2017b)

5.6.1.7. CHINA

Los residuos sólidos han sido un subproducto inevitable de las operaciones de las sociedades industrializadas. Un resultado del crecimiento económico es un aumento en la generación de desechos sólidos que normalmente se tiraban en vertederos y causaban la contaminación del suelo, el agua y el aire de sustancias tóxicas como bifenilos policlorados (PCB), asbestos, productos químicos de construcción, metales pesados, pero la escasez de áreas de relleno de tierras, el

crecimiento industrial y las estrictas regulaciones ambientales en las economías desarrolladas y en desarrollo han llevado a la reevaluación global de los métodos empleados para reciclar y utilizar los desechos de construcción y demolición (C&D) como agregado reciclado para la ingeniería civil. Dependiendo de su calidad, el agregado reciclado producido a partir de residuos de C&D puede emplearse en diversas obras de ingeniería civil, que pueden ayudar en gran medida a la sostenibilidad económica y ambiental de los respectivos países. Con más investigación y desarrollo para superar las barreras técnicas y de mercado, se puede lograr un aumento considerable en las tasas de recuperación con las tecnologías existentes en las economías desarrolladas.

TITULO DEL ARTICULO: A review of recycled aggregate in concrete applications (2000–2017)
FUENTE: (Tam, Soomro, & Evangelista, 2018)
MATERIAL: Ladrillo
METODOLOGIA
○ Revisión bibliográfica.
CONCLUSIONES
○ Como lo demuestra la abundancia de trabajos de investigación, ha habido un notable incremento no solo en los métodos de recuperación de residuos de C&D en agregados reciclados, sino en las formas y técnicas de su utilización en la industria de la construcción. Las regulaciones y la legislación de los gobiernos de varios países del mundo han estructurado y constituido un mercado para materiales de construcción y productos derivados de los flujos de residuos de C&D. Según, la generación de residuos C&D se produce durante todas las fases principales del ciclo de vida del edificio: construcción, renovación y demolición. La fase de demolición, por lo tanto, parece ser la clave específica que debe considerarse para la adopción de prácticas más sostenibles, para contribuir con porcentajes más altos de los residuos de C&D generados.

Tabla 8. A review of recycled aggregate in concrete applications.
Fuente: (Tam et al., 2018)

El objetivo principal de este estudio es revisar la literatura sobre la producción y utilización de áridos reciclados en concreto, pavimentos de concreto, construcción de carreteras y otras obras de ingeniería civil, y se ha incluido una discusión sobre el ahorro en las emisiones de CO_2. Los datos publicados a nivel mundial sobre estándares agregados reciclados (documentos normativos) de varios países se han analizado y evaluado sistemáticamente, y se mencionan algunas barreras.

TITULO DEL ARTICULO: Mechanical properties of recycled concrete with demolished waste concrete aggregate and clay brick aggregate
FUENTE: (Zheng et al., 2018)**.**
MATERIAL: Ladrillo
METODOLOGIA
○ Proporción de mezcla ○ Prueba de propiedades mecánicas

○ Análisis de microscopía electrónica de barrido
CONCLUSIONES
○ Para el hormigón con RCA, el desarrollo de la resistencia continúa después de los 28 días de curado; mientras que, para el concreto con RBA, el desarrollo de la resistencia se vuelve muy lento después de los 28 días de curado. Esto es especialmente cierto para el concreto de grado C50 con alta tasa de reemplazo de RBA. La comparación de los resultados experimentales actuales con los reportados en la literatura para concreto endurecido con RCA o RBA demuestra la efectividad en mejorar la resistencia a la compresión utilizando la gradación óptima de agregados reciclados.

Tabla 9. Mechanical properties of recycled concrete with demolished waste concrete aggregate and clay brick aggregate. Fuente: (Zheng et al., 2018)

Este artículo presenta una investigación experimental sobre el efecto de la sustitución del agregado natural grueso (NCA) con agregado de concreto reciclado (RCA) o agregado de ladrillo de arcilla reciclado (RBA) sobre las resistencias a la compresión del concreto endurecido. Se investigaron dos calidades (C25 y C50) de concreto, que se lograron utilizando diferentes proporciones de agua a cemento. En cada grado se consideraron cinco tasas diferentes de reemplazo, 0%, 25%, 50%, 75% y 100%. Con el fin de mejorar el rendimiento de los agregados reciclados en las mezclas de concreto, el RCA y el RBA se tamizaron cuidadosamente utilizando la degradación óptima. En general, el concreto con RCA tiene mejor desempeño que el concreto con RBA. La comparación de los resultados experimentales actuales con los reportados en la literatura para concreto endurecido con RCA o RBA demuestra la efectividad en el mejoramiento de la resistencia a la compresión mediante el uso de la gradación óptima de los agregados reciclados.

5.6.2. APROVECHAMIENTO A NIVEL NACIONAL

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 RCD.

La Resolución 472 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" (Minambiente, 2017b, p. 1).

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.

Los residuos provenientes de las actividades constructivas realizadas en Bogotá D.C, están siendo limitados a una disposición final, fomentando la clausura de los RCD e introduciéndolos al grupo de los residuos no aprovechables (Forero Lache, 2016).

Lo que a su vez ocasiona cambios en el uso y ocupación del suelo, originando impactos ambientales, debido a la presión por erosión y afectación a zonas blandas y arborizadas, impactos sobre el recurso hídrico y emisión de material particulado a la atmósfera. Todo ello a la falta de una gestión urbana sustentable integral de los RCD generados en Bogotá, que implique interacción de los involucrados en su gestión, e infraestructuras necesarias de aprovechamiento y/o recuperación de estos residuos (SDA, 2015).

Por otra parte, es importante resaltar qué debido a la falta de estandarización de la producción de los ladrillos hace que cada empresa solamente tenga que garantizar unas propiedades físicas que tienen que ver con la resistencia, permeabilidad y porosidad, eso quiere decir que afecta en gran medida a la calidad de los ladrillos, a su vez la falta de inclusión de los productores artesanales hace que no se tenga un control en estas microempresas, que aunque individualmente no producen una gran cantidad de ladrillos, sumando la cantidad de empresas artesanales hace que estas se conviertan en productores que deben ser considerados (Corporación Ambiental Empresarial - CAEM, n.d.).

Por otro lado, al carecer de lugares para la disposición final o de aprovechamiento dentro del perímetro urbano, hace que algunas constructoras generadoras de residuos provenientes de la construcción dispongan los RCD´s en lugares que no autorizados lo que hace que se genere un mayor impacto (Forero Lache, 2016).

5.6.2.1. MEDELLLIN

Este artículo aborda la confección de un concreto usando agregados reciclados obtenidos de la valorización de escombros de concreto y mampostería. Se muestran aspectos como resistencia al esfuerzo de la compresión a 3, 7, 14, 28, 56 y 91 días; porosidad, velocidad de pulso ultrasónico y carbonatación; costo económico en comparación con un concreto convencional; y una reseña de las políticas públicas de Construcción Sostenible y aprovechamiento de escombros formuladas en Medellín, Colombia. La resistencia al esfuerzo de la compresión y las medidas de velocidad de pulso ultrasónico en algunas mezclas fueron del orden del 98 % de la mezcla de referencia; así mismo la mezcla confeccionada con 100 % de agregados reciclados, mostró una diferencia en cuanto a la profundidad de carbonatación de tan solo 0.7 mm con respecto a la mezcla de referencia para una edad simulada de 27 años. Los resultados obtenidos con sustituciones de agregados naturales por agregados reciclados gruesos y finos en porcentajes del 25 %, 50 % y 100 %, y el avance en los lineamientos político-administrativos de la municipalidad en los once años recientes, permiten deducir la posibilidad de confeccionar concretos estructurales y no estructurales para uso masivo en la construcción.

TITULO DEL ARTICULO: El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana
FUENTE: (Bedoya & Dzul, 2015)
MATERIAL: Ladrillo
METODOLOGIA
○ Selección de materias primas ○ Ensayos de resistencia y durabilidad ○ Normatividad y contexto político-administrativo
CONCLUSIONES
○ En este trabajo se confirma que los agregados obtenidos del reciclaje de escombros, aunque presentan diferencias en algunas de sus características, pueden ser susceptibles de emplearse como materias primas en un nuevo material para la construcción como el concreto, pues no todas las mezclas se requieren para uso estructural. Sin embargo, es factible confeccionar concretos de uso estructural si se observa que la mezcla con sustituciones del 25 % se mantiene prácticamente igual en su desempeño resistencia, porosidad y costos con respecto a la mezcla de referencia, especialmente si se tiene en cuenta que en todas las mezclas recicladas se sustituyeron los agregados gruesos y finos.

Tabla 10. El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana.
Fuente: (Bedoya & Dzul, 2015)

5.6.2.2. BOGOTA

Esta monografía gira alrededor del aprovechamiento de RCD en la ciudad de Bogotá, se plantean parámetros para las actividades de separación, recolección selectiva y procesos de ransformación

que complementan la gestión integral en pro de un aprovechamiento de RCD con el fin de disminuir los volúmenes de residuos que se llevan a las escombreras actualmente a disposición de la ciudad de Bogotá.

TITULO DEL ARTICULO: Diagnóstico técnico y económico del aprovechamiento de residuos de construcción y demolición en edificaciones en la ciudad de Bogotá
FUENTE: (Escandon, 2011)
MATERIAL: Ladrillo
METODOLOGIA

○ Separación manual del cartón e impurezas del yeso.
○ Separador magnético
  ○ Es un equipo ubicado entre la trituradora primaria y secundaria, encargado de retirar los materiales metálicos parcialmente separados por la trituradora primaria. Son retirados para evitar impurezas y problemas en las propiedades físicas de los futuros agregados reciclados, al presentarse oxido en estos residuos. Adicionalmente estos residuos metálicos pueden ser acopiados para ser reciclados por otras plantas de reciclaje.
○ Separador de plásticos
  ○ Funciona como un canon de aire que empuja las partículas de menor densidad como el plástico, la madera y los recubrimientos entre otros materiales que pueden pasar la separación selectiva in-situ. Este equipo puede instalarse en compañía del separador magnético en cualquier parte de la línea de producción enseguida de la trituración primaria

CONCLUSIONES
○ Aunque en Bogotá y en general en Colombia existe una cierta apatía a la utilización de las materias primas recicladas debido a que estos se asocian con mala calidad y desempeño en las diferentes aplicaciones. A lo largo de este trabajo se expuso que esta creencia no tiene fundamentos y se mostró técnicamente en base a estudios nacionales e internacionales que las materias primas recicladas si poseen características inferiores a las materias primas naturales, pero esto no es un impedimento para lograr buenos resultados en diferentes aplicaciones.

Tabla 11. Diagnóstico técnico y económico del aprovechamiento de residuos de construcción y demolición en edificaciones en la ciudad de Bogotá.
Fuente: (Escandon, 2011)

5.6.2.3. CARTAGENA

En este proyecto se evalúan las características más importantes de los adoquines con diferentes porcentajes de agregados reciclados, como su porcentaje de absorción de agua, la resistencia ala flexo tracción y la resistencia al desgaste ajustable por medio de un índice. Para la elaboración de los adoquines y la evaluación de estas propiedades, los escombros fueron triturados y evaluados como agregados, con los cuales se elaboraron las mezclas previamente diseñados según proporciones agregado natural y reciclado encontradas en estudios previos, teniendo en cuenta la proporción agua cemento recomendada para la fabricación de adoquines.

TITULO DEL ARTICULO: Aprovechamiento de escombros como agregado para la fabricación de adoquines estándar
FUENTE: (Virgilio & Cornejo, 2007)
MATERIAL: Ladrillo
METODOLOGIA

○ Investigación experimental
  ○ Recolección, transporte y disposición de escombros Para
  ○ Trituración de los escombros
  ○ Determinación de las propiedades de los agregados
  ▪ Análisis granulométrico
  ▪ Peso unitario suelto y compactado
  ▪ Determinación de la gravedad específica y porcentaje de absorción de agregados grueso
  ○ Diseño de mezclas
  ▪ Tipos de mezcla
  ○ Elaboración de las mezclas
  ○ Elaboración de los Adoquines
  ○ Fraguado
  ○ El curado
  ○ El reposo

CONCLUSIONES
○ Técnicamente no es viable remplazar en su totalidad el agregado natural por reciclado para la fabricación de adoquines, pero si un buen porcentaje de este, recalcando que por el bajo nivel de compactación y vibrado utilizado en esta investigación para la fabricación de los adoquines, debido a la carencia de la maquinaria adecuada se pudo haber obtenido mejor resultados en todas las evaluaciones técnicas. ○ La industria de los agregados a nivel mundial para obtener una buena granulometría hace uso de máquinas de trituración especiales que permiten obtener de la materia prima la granulometría que se necesita, teniendo en cuenta esto para realizar proyectos que involucren agregados reciclados es necesario un buen equipo de trituración.

Tabla 12. Aprovechamiento de escombros como agregado para la fabricación de adoquines estándar.
Fuente: (Virgilio & Cornejo, 2007).

Los resultados obtenidos de peso unitario suelto y compactado en esta investigación fueron favorables con respecto a las referencias bibliográficas de investigaciones hechas en Canadá y Serbia, teniendo en cuenta que las fuentes de materiales de estos países son diferentes a las de Colombia, por tanto, estos agregados mostraran diferencias en sus características, pero ajustándose a los requerimientos de cada País.

El porcentaje de absorción en este tipo de investigaciones con agregados reciclados siempre tiende a ser elevada, por consiguiente desfavorable, de tal manera, los resultados de absorción obtenidos estuvieron por debajo de los que se obtuvieron en las investigaciones tomadas como referencia

hechas en Canadá para el concreto y en Serbia para el ladrillo, teniendo en cuenta que estos países tienen el uso del agregado reciclado en cuenta en sus reglamentos para la fabricación de estos materiales, pone en buena posición la viabilidad técnica de los agregados evaluados en esta investigación.

Un adoquín con un proceso de compactación y vibrado de más calidad tendrá menos vacíos, y el porcentaje de absorción será mucho más bajo. Específicamente en esta investigación cabe señalar que, este valor máximo del índice de abrasión se tiene para adoquines que son fabricados con máquinas vibradoras y compactadoras, que en este proyecto no fueron implementadas, lo cual directamente afecta todas las características de los adoquinas.

5.6.2.4. SOGAMOSO

El reciclado y la reutilización de ladrillos procedentes de defectuosa fabricación podría, conducir a la industria de la construcción a un escenario de mayor sostenibilidad, reduciendo el uso de recursos no renovables y el impacto negativo que causa al medio ambiente el manejo inadecuado de los residuos sólidos. Este artículo examina la posibilidad de utilizar triturado de ladrillo como agregado grueso en la elaboración de concreto. Para esto fue sustituido el agregado natural grueso por triturado de ladrillo en diferentes proporciones (0, 10, 20 y 30%). Se analizaron las propiedades químicas del ladrillo reciclado, así como las propiedades mecánicas del concreto endurecido (flexión y compresión a los 28 días). Los resultados del ensayo indican la viabilidad de utilizar triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto siempre y cuando este no supere el 30% del agregado natural grueso.

TITULO DEL ARTICULO: Uso de triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto
FUENTE: (Perez, 2012)
MATERIAL: Ladrillo
METODOLOGIA
○ Identificar el agregado ○ Agregado grueso por una mezcla de concreto y ladrillo triturado ○ Analizar datos.
CONCLUSIONES
○ Este agregado reciclado se empleó en la construcción de un viaducto cerca de la ciudad de Helmond. En las obras de la compuerta del puerto de Schijndel, se emplearon alrededor de 300 m3 de concreto con agregado reciclado procedente de una mezcla de hormigón y ladrillo.

○ Desde 1994 el gobierno holandés permite el uso de este tipo de agregado reciclado en hormigón estructural, con un remplazo máximo del 20% del agregado grueso. Sin embargo, entre 1997 y 1998 se construyeron 272 casas unifamiliares empleando un 100% de agregado reciclado. Se utilizó para la construcción de muros de carga de concreto en masa y elementos de concreto para fachada y suelos.

Tabla 13. Uso de triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto.
Fuente: (Perez, 2012).

5.6.2.5. BARRANQUILLA

En los últimos años ha crecido significativamente la construcción en la ciudad de Barranquilla, lo cual ha generado que los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) se hayan convertido en un problema ambiental, puesto que, debido a su cantidad y disposición inadecuada, se han configurado en focos de contaminación de suelos y aguas superficiales. Por eso, en este artículo se presentan los resultados de un estudio realizado a 75 obras localizadas en las diferentes zonas de la ciudad de Barranquilla, en donde se realizaron encuestas en temas de manejo, tratamiento y disposición final, al tiempo que se indagó sobre el conocimiento de la legislación local para el manejo de los RCD. A partir de los resultados obtenidos, se identificó que las prácticas de gestión de RCD que actualmente el gremio de la construcción está llevando a cabo no son las adecuadas y como solución se plantea una propuesta de mejora para el modelo de gestión (involucrando aprovechamiento y transformación) con el propósito de que sea implementado en la ciudad en los siguientes años.

TITULO DEL ARTICULO: Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión
FUENTE: (Pacheco Bustos et al., 2017)
MATERIAL: Ladrillo
METODOLOGIA
○ Principales entidades involucradas en la gestión de los RCD ○ Conocimiento de la normatividad por parte de los generadores de los RCD en la ciudad de Barranquilla ○ Generación y composición de los RCD en la ciudad ○ Metodología de almacenamiento y recolección ○ Disposición final de los RCD en Barranquilla
CONCLUSIONES
○ Es de gran importancia promover acciones a fin de lograr un mayor cono- cimiento de la normatividad vigente en el país y en la región y un cambio cultural en los actores relacionados a la industria de la construcción. De otra parte, se evidencia la necesidad de incrementar la normatividad local ajustada a las condiciones de la ciudad y los mecanismos efectivos de aplicación para ejercer un control sobre el manejo de los RCD. ○ La cantidad de residuos del concreto, la madera, el ladrillo y los materiales cerámicos es mayor con respecto a los otros que componen los RCD en la ciudad de Barranquilla, lo que les da ventaja para

las prácticas de aprovechamiento, además de contar con un grado de avance en la investigación efectuada sobre estos a nivel mundial. o La cantidad de residuos del concreto, la madera, el ladrillo y los materiales cerámicos es mayor con respecto a los otros que componen los RCD en la ciudad de Barranquilla, lo que les da ventaja para las prácticas de aprovechamiento, además de contar con un grado de avance en la investigación efectuada sobre estos a nivel mundial.

Tabla 14. Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión.
Fuente: (Pacheco Bustos et al., 2017).

5.6.2.6. CALI

La industria alfarera del municipio de Candelaria en su proceso de fabricación genera un alto impacto ambiental desde la explotación de la materia prima, hasta el manejo inadecuado de los residuos sólidos provenientes de la producción. En este trabajo se estudia la influencia de la incorporación de los residuos cerámicos en el proceso productivo de elementos de arcilla cocidos, teniendo como referencia dos empresas (La Gloria y Tres Puertas) del sector alfarero de Candelaria. Fueron efectuados ensayos para la caracterización de la materia prima como: granulometría, humedad n4atural, límites de consistencia, límite de contracción y gravedad específica. Adicionalmente, se realizan ensayos sobre los ladrillos de cada una de las ladrilleras y sobre los prototipos elaborados en el laboratorio para determinar dos características de calidad que los ladrillos deben cumplir, resistencia a la compresión y absorción. Las propiedades de caracterización muestran que las ladrilleras no hacen usos de cuatro diferentes suelos como ellos lo expresan y los ensayos de calidad indican que el residuo cerámico puede ser empleado como material para la producción de ladrillos. Para el caso de la ladrillera La Gloria, se pudo establecer que la adición de residuo cerámico no genera cambios significativos en las propiedades de resistencia y absorción del producto terminado, pero es recomendable utilizar un 10% de adición de residuo cerámico. Respecto a la ladrillera Tres Puertas, se determinó que la adición de residuo cerámico no tiene efectos significativos sobre la resistencia a la compresión, pero si sobre la absorción, donde una adición de residuo cerámico del 5% permite tener mejorar los resultados en la absorción del producto.

TITULO DEL ARTICULO: Uso de residuos cerámicos en la producción de ladrillos de arcillas del sector alfarero de candelaria
FUENTE: (Lozano & Gonzalez, 2016)
MATERIAL: Ladrillo
METODOLOGIA
o Descripción el sector alfarero del municipio de candelaria

○ Identificación de la secuencia productiva de las ladrilleras a analizar ○ Evaluación del diseño de mezcla para ladrillos cocidos de arcilla ○ Análisis de la incorporación de residuos
CONCLUSIONES
○ Según la dosificación con diferentes porcentajes de residuos, la mezcla y la tierra fina, son arcillas con plasticidad media pertenecientes a las montmorillonitas, la greda es una arcilla con plasticidad media perteneciente a las ilitas.

Tabla 15. Uso de residuos cerámicos en la producción de ladrillos de arcillas del sector alfarero de candelaria.
Fuente: (Lozano & Gonzalez, 2016).

5.6.3. USO DE LA ECONOMIA CIRCULAR COMO MODELO DE APROVECHAMIENTO DEL LADRILLO

5.6.3.1. De la Cuna a la Cuna

Cradle to Cradle o también denominada C2C, en los noventa, McDonough (arquitecto estadounidense) y Braungart (químico alemán) desarrollan la filosofía de diseño, que considera los materiales involucrados en los procesos industriales y comerciales como nutrientes, clasificándolos en: técnicos y biológicos (Geissdoerfer, Savaget, Bocken, & Hultink, 2017). Este modelo se centra en el impacto positivo que genera los flujos de productos, a diferencia del enfoque tradicional centrado en la reducción de los impactos negativos (Hermida & Domínguez, 2014).

El modelo de diseño C2C representa la aplicación de la economía circular al mundo del diseño y la producción industrial. Plantea las bases de un nuevo paradigma de diseño inteligente basado en el cierre del ciclo de vida de los productos, tal y como ocurre en la naturaleza (Blomsma & Brennan, 2017).

Figura 11. Diagrama de los principios de la sostenibilidad.
Fuente: (Hermida & Domínguez, 2014).

La filosofía de diseño de la Cuna a la Cuna representa la aplicación de la economía circular al mundo del ecodiseño y la producción industrial. En la figura 12, se presenta el diagrama del modelo de economía circular.

Figura 12. Diagrama del modelo de economía circular.
Fuente: (Hermida & Domínguez, 2014).

5.6.3.2. DINAMARCA

El proyecto REBRICK apunta a un manejo más ingenioso de los residuos de demolición a través de la limpieza automática de ladrillos de arcilla. Dado que la quema de nuevos ladrillos consume mucha energía y recursos, la reutilización de los ladrillos ahorra al medio ambiente 0,5 kilo de CO_2 por ladrillo (GamleMursten, 2013). Una forma de manejar eficientemente los recursos dentro de los residuos de construcción y demolición, y así reducir el impacto ambiental, es prolongar el ciclo de vida de los ladrillos de arcilla limpiando los ladrillos y reutilizándolos.

El proyecto REBRICK tiene como objetivo crear la primera adopción en el mercado de una tecnología que permita un cambio de paradigma en el manejo y reciclaje de residuos de demolición en Europa. Actualmente, los residuos de construcción y demolición, incluidos el cemento, el mortero y los ladrillos, se rellenan o se trituran y reciclan. Esto sucede a pesar del hecho de que los ladrillos pueden durar varios siglos. La producción de nuevos ladrillos es muy intensiva en energía y recursos, por lo tanto, la capacidad de reutilizar los ladrillos tendrá un gran impacto ambiental mediante la reducción de las emisiones de CO_2 y la reducción de residuos. (GamleMursten, 2013)

A través de una unidad de demostración a gran escala en el área metropolitana de Copenhague, el proyecto REBRICK desarrolla y demuestra la capacidad técnica para producir ladrillos reutilizables dentro de las especificaciones del mercado. Eeste proyecto se centra en desarrollar y modificar la tecnología para lograr una producción a escala comercial. La producción se puede personalizar según los diferentes requisitos regionales dentro de Europa con diferencias en los costos de mano de obra, el peso del ladrillo y los tipos de mortero. Al mismo tiempo, REBRICK busca garantizar una rápida replicación en el mercado europeo. Esto ocurre a través del desarrollo de una estrategia de marketing integral y el establecimiento de canales de venta (GamleMursten, 2013).

5.6.3.3. HOLANDA

Debido a la falta de disponibilidad de agregados gruesos ya se han llevado a cabo varios proyectos piloto donde se ha remplazado el 20% del agregado grueso por una mezcla de concreto y ladrillo triturado. Este agregado reciclado se emplea en la construcción de un viaducto cerca de la ciudad de Helmond. En las obras de la compuerta del puerto de Schijndel, se emplearon alrededor de 300 m3 de concreto con agregado reciclado procedente de una mezcla de hormigón y ladrillo. Desde 1994 el gobierno holandés permite el uso de este tipo de agregado reciclado en hormigón estructural, con un remplazo máximo del 20% del agregado grueso. Sin embargo, entre 1997 y 1998 se construyeron 272 casas unifamiliares empleando un 100% de agregado reciclado. Se utilizó para la construcción de muros de carga de concreto en masa y elementos de concreto para fachada y suelos (Rao, Jha, & Misra, 2007).

5.6.3.4. ALEMANIA

El uso de agregado reciclado data desde 1950 y se ha usado principalmente para la construcción de viviendas. En 1996 y 1997, se desmanteló una zona militar a las afueras de Itzehoe que produjo aproximadamente 50000 toneladas de escombros cerámicos, los cuales se utilizaron para la edificación nuevamente de esa misma zona.

5.6.3.5. REINO UNIDO

La primera experiencia práctica en la que se utilizó concreto con agregados reciclados se llevó a cabo en Cardington, para la construcción de la losa de la segunda planta de un edificio de esta ciudad. La losa estaba fuertemente armada y tenía 50 cm de espesor. Se optó por una sustitución

del 20% del agregado grueso y se emplearon unas 100 toneladas de agregado reciclado. La dosificación del concreto fue la misma que la de la losa construida en la primera planta de ese mismo edificio y para ambos concretos se obtuvieron unas resistencias similares. El uso de agregado no afectó el bombeo ni la puesta en obra del concreto.

5.6.3.6. ESTADOS UNIDOS

De los aproximadamente 2,7 millones de toneladas anuales de agregado reciclado se utiliza actualmente de 10 a 15% para pavimentación, de 20 a 30% para construcción de carreteras y otros trabajos de mantenimiento y alrededor del 60 a 70% se utilizan para la elaboración de concreto estructural.

5.6.3.7. ESPAÑA

Para la construcción de la ciudad olímpica de Barcelona, las construcciones situadas en esta zona fueron demolidas alcanzando una cantidad de escombros de 1.5 millones de toneladas, para ello se utilizaron procedimientos selectivos de demolición realizando in-situ una primera eliminación de impurezas. Estos materiales se utilizaron para construir las calles y carreteras de la ciudad y estructuras de escollera en la línea litoral.

5.6.3.8. JAPÓN

Aunque Japón ha investigado por más de un cuarto de siglo sobre la reutilización de agregados de demolición para la elaboración de concreto, este reciclado no ha sido posible en su totalidad, debido a que este material no cumple a cabalidad con la norma JIS A-5308, que establece las especificaciones de concreto premezclado. Sin embargo, en la actualidad este material se está utilizando en un 96% como sub-base en la construcción de carreteras.

5.6.3.9. HONG KONG

Construcción del Hong Kong Wetland Park el cual se localiza en la parte occidental cerca de la frontera entre Hong Kong y Shenzhen. La primera fase del proyecto fue inaugurada en diciembre de 2000 y la totalidad del proyecto se completó en el 2005. El parque de Hong Kong cuenta con 10.000 m2 que comprenden; galerías, teatros, cafés, áreas de juegos para los niños, aulas y un centro de recursos. En esta construcción se utilizaron alrededor de 13.000 m3 de concreto reciclado elaborado con un 20, 30 y 35 % de sustitución del agregado grueso natural por residuos de

demolición. Las aplicaciones del concreto reciclado dependieron de la resistencia de estos, por ejemplo; losas de tierra, obras exteriores, concreto estructural, entre otras.

5.6.3.10. COLOMBIA

Utilizando materiales de RCD`s como los ladrillos, se propone la implementación de un proceso para producir estos ladrillos ecológicos a escala industrial y la descripción de las operaciones del proceso, además de los activos necesarios (Ramírez, 2014).

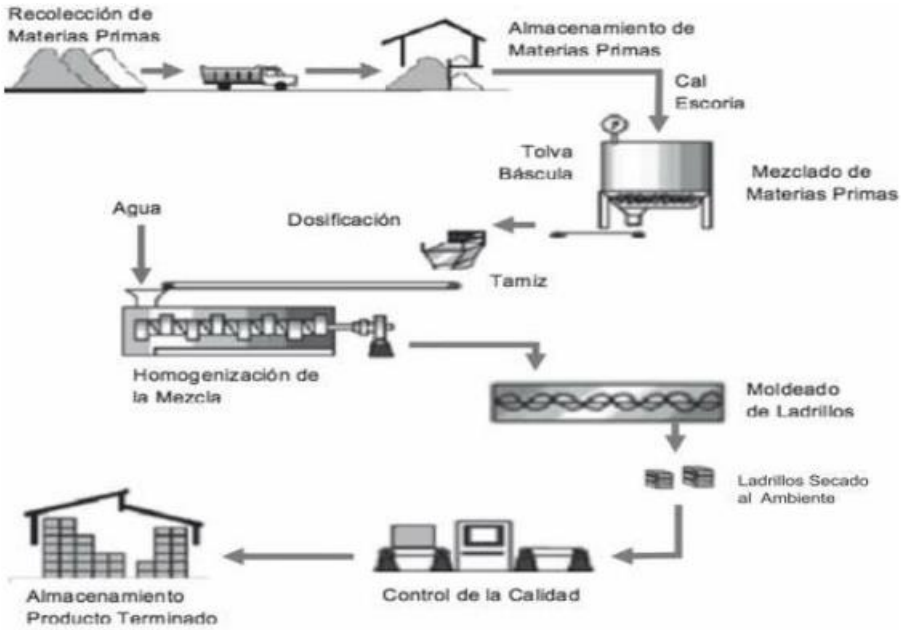

Figura 13. Proceso producción de ladrillos ecológicos.
Fuente: (B., Silva, Guerra, & Silva, 2014).

- Almacenar materia prima: La escoria y la cal se transportan en volquetas y se almacenan cubiertas en patio. La escoria se debe someter a un proceso de molienda para controlar su granulometría.
- Mezclar materias primas: Las materias primas se mezclan en tolvas en la proporción establecida.
- Preparar masa: Se adiciona agua a la mezcla en la tolva y se homogeniza, luego se transporta mediante tornillo sinfín a la extrusora.
- Elaborar ladrillo: La masa conformada se somete a presión de 300 kgf/cm2 para conformar bloques de 7 cm de alto y luego la extrusora corta el bloque para moldear los ladrillos de dimensiones: 20 cm × 10 cm × 7 cm.

- Secar ladrillos: Los ladrillos se transportan a un patio de secado en donde permanecen hasta eliminar su humedad a temperatura ambiente.
- Almacenar producto terminado: Los ladrillos deshidratados se alma- cenan hasta su entrega a los clientes.

Este trabajo de investigación se enfoca en la producción de elementos constructivos a partir de un mortero híbrido obtenido mediante la activación alcalina de un residuo de ladrillo cocido (RL) procedente de la industria y la adición de un 10 % en peso de cemento Portland (OPC) con respecto al RL (Andres Robayo-Salazar, Mejía de Gutiérrez, & Jimena Mulford-Carvajal, 2016).

5.7. EMPRESAS RELACIONADAS

5.7.1. PRODUCTORES DE LADRILLOS

Existen 6 principales productores de ladrillos en Colombia dentro de los cuales están empresas como la Ladrillera Santa Fe, en la siguiente tabla se observa la fracción del mercado que produce cada una de las ladrilleras de ladrillo de arcilla.

LADRILLERA	FRACCION DEL MERCADO
Ladrillera Santa Fe	21%
Ladrillera San Cristóbal	20%
Ladrillera OVINDOLI	16%
Ladrillera el Chircal	14%
Ladrillera Santander	17%
Ladrillera Arca	12%

Tabla 16. Principales ladrilleras en Colombia.
Fuente: (Ochoa Garcia, Forero Avila, & Reyes Rodriguez, 2017)

5.7.2. GENERADORES DE RCD

Los generadores de RCD en Bogotá deben registrarse en la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA), allí obtienen un Número Único de Inscripción (PIN), el cual se crea para identificarlos como gestores de la generación, recolección, transporte y disposición final de los RCD. Los generadores mayores a 1m3 de RCD, deben reportar en la SDA la cantidad de RCD producida en cada obra (Forero Lache, 2016).

Las entidades públicas o las empresas privadas son las encargadas de la ejecución de la construcción de las obras urbanas en la ciudad de Bogotá, dependiendo del tipo de proyecto, del área a intervenir y del responsable de la obra. Teniendo en cuenta lo anterior, las obras de construcción se dividen en dos grandes grupos, las obras privadas y las obras públicas (Universidad Industrial de Santander & Unidad de Planeación Minero Energético, 2018).

En el periodo de 2012 a 2015, se generaron por parte del sector privado 23.676.786 toneladas, de los cuales 6.700.730, equivalente al 28,30 % de los residuos se generaron en obras a cargo de las 15 empresas (grandes generadores). El otro 71,70 %, o sea 16.976.056 toneladas, concierne a 600 constructoras, aproximadamente, reguladas por la Secretaría Distrital de Ambiente (Universidad Industrial de Santander & Unidad de Planeación Minero Energético, 2018).

5.7.3. PRINCIPALES GESTORES DE RCD EN COLOMBIA

El manejo de los residuos provenientes de la construcción en Colombia, en su mayoría van a parar a sitios de disposición final, a continuación se muestran los principales sitios en los cuales se disponen los RCD (Forero Lache, 2016).

GESTORES	UBICACIÓN	MATERIAL QUE RECIBE
Cemex, La Fiscala. Resolución 1506 de 2006	Bogotá, Av. Boyacá #72-04 sur, km 4 vía Usme	Disposición final de RCD limpios y material de excavación
Fundación San Antonio, Resolución 836 de 2015.	Bogotá, Av. Boyacá No 73-00 Sur. Cr. No. 56 - 55 Sur.	Disposición final de RCD limpios y material de excavación
Las Manas, Maquinas Amarillas. Resolución 1480 de 2014	Bogotá, Av. Cll. 71 Sur No. 8 50. Av. Cll 71 Sur No. 12 – 20.	Disposición final de RCD limpios y material de excavación
Finca el Sociego La Escuela, predio Albania lote 2. Sociedad Gilberto López Santamaría e hijos S.C.S. - Gloshi S.C.S. Resolución No. 2276 del 07/10/2014	Cota, Cundinamarca, lote Albania 2, vereda pueblo viejo	Material de excavación
Aeronáutica civil, Resolución No. 1000 de 2013 de la ANLA y Resolución 1886 de 2015 de la CAR	Bogotá. Cerca de la cabecera 1.3 R pista sur Aeropuerto el Dorado	Material de excavación
Sociedad Fortam S.A.S. Resolución no 2080 del 02/10/2015	Facatativá Cundinamarca. San Valentín y/o Parque Industrial Santacruz	Material de excavación y suelo orgánico

Escombrera Las Margaritas	Medellín	RCD
Escombrera Municipal Escombros Sólidos Adecuados – ESSA	Medellín	RCD
Los Lagos	Caldas	RCD
Escombrera la Tablaza	Bello	RCD
Predio ubicado en la Carrera 41# 63-302 – Barrio Coronado	Palmira	Recuperación geomorfológica con tierra y escombro seleccionado
Predio ubicado en la calle 65 # 43-148- Barrio Coronado	Palmira	Recuperación geomorfológica con tierra y escombro seleccionado
La Isabela	Candelaria	Recuperación geomorfológica con tierra y escombro seleccionado
Ladrillera La Iriarte	Candelaria	Recuperación geomorfológica con tierra y escombro seleccionado
Trece (13) predios	Candelaria	Recuperación geomorfológica con tierra y escombro seleccionado
Hacienda San Jorge	Yumbo	Planta de manejo integral de RCD. PROGEA DEL VALLE S.A.S. E.S.P.
Parque Ambiental Los Pocitos	Galapa, kilómetro 11, vía Barranquilla-Tubara	RCD

Tabla 17. Gestores de RCD en Colombia.
Fuente: (Minambiente, 2017a).

6. MARCO LEGAL

En Colombia Con la Expedición de la Resolución 0472 de 2017 por parte del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, se reglamentó la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición. Los empresarios del sector de la construcción deben observar la reglamentación, e implementar los cambios necesarios dentro de su actividad ya que la misma se encuentra vigente desde el 01 de enero de 2018 (MaatSolucionesAmbientales, 2017). Cabe resaltar dos definiciones fundamentales:

- Residuos de Construcción y Demolición
- Plan de Manejo Ambiental

TIPO NORMATIVIDAD	NORMA	JUSTIFICACIÓN
RCD`S	Resolución 541 de 1994	Por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación"
	Decreto 948 de 1995	Reglamenta la prevención y control de la contaminación atmosférica y protección de la calidad del aire
	Decreto 1713 de 2002	De acuerdo con el artículo 44 "Recolección de escombros. Es responsabilidad de los productores de escombros su recolección, transporte y disposición en las escombreras autorizadas.
	Decreto 4741 de 2005	Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.
	Resolución 1138 de 2013	Por la cual se adopta la Guía de Manejo Ambiental para el Sector de la Construcción y se toman otras determinaciones
	Decreto 2981 de 2013	Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo
	Decreto 586 de 2015	Por medio del cual se adopta el modelo eficiente y sostenible de gestión de los Residuos de Construcción y Demolición - RCD en Bogotá D.C.
	Resolución 472 de 2017	Gestión integral de los residuos generados en las actividades de Construcción y Demolición (RCD) y se dictan otras disposiciones.
Materiales	Resolución 90708 de 2013 con ajustes al 2015	RETIE: En tal sentido el Ministerio de Minas y Energía como máxima autoridad en materia energética, adopta los reglamentos técnicos orientados a garantizar la protección de la vida de las personas contra los riesgos que puedan provenir de los bienes y servicios relacionados con el sector a su cargo.

Tabla 18. Normatividad colombiana.
Fuente: (Autor).

Según la Tabla 18 se evidencia que, aunque en Colombia existe normatividad, el distrito ha encaminado esfuerzos y recursos con el ánimo de mejorar la gestión de RCD, incorporando normas y regulaciones, aunque con importantes carencias y limitaciones, las cuales, si no se resuelven en el corto plazo, el proceso encaminado a mejorar la sostenibilidad del sector se interrumpe y las medidas tomadas hasta el momento se vuelven ineficaces.

6.1. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA (NTC)

Los ladrillos, bloques de arcilla y demás productos cubiertos por esta norma deben demostrar su aptitud para el uso de acuerdo con lo establecido en las siguientes normas o en normas técnicas internacionales o de reconocimiento internacional vigente como ISO, ASTM, etc (ICONTEC, 2013).

NORMA	PRODUCTO
NTC 296	Ladrillos y bloques de arcilla fabricados bajo sistemas de coordinación modular. (ICONTEC, 2000)
NTC 4205-1, NTC 4205-2, NTC 4205-3	Ladrillos y bloques de arcilla para muros de mampostería estructurales, no estructurales o de fachada. (ICONTEC, 2009)
NTC 3829	Ladrillos de arcilla para pavimentos (adoquines) para tráfico peatonal y vehicular liviano. (ICONTEC, 2004a)
NTC 5282	Ladrillos de arcilla para pavimentos (adoquines) para tráfico vehicular pesado. (ICONTEC, 2004b)
NTC 2086	Tejas de arcilla. (ICONTEC, 1996)

Tabla 19. Normas técnicas para la elaboración de ladrillos.
Fuente: (Autor).

6.2. NORMAS INTERNACIONALES

PAÍS	NORMA	JUSTIFICACIÓN
ESPAÑA	LEY 22/2011, de 28 de julio	Esta Ley tiene por objeto regular la gestión de los residuos impulsando medidas que prevengan su generación y mitiguen los impactos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente asociados a su generación y gestión, mejorando la eficiencia en el uso de los recursos. Tiene asimismo como objeto regular el régimen jurídico de los suelos contaminados
	ORDEN AAA/699/2016, de 9 de mayo	La presente Orden modifica la operación R1 del anexo II de la Ley de residuos y suelos contaminados, en relación con la operación de valorización sobre la «Utilización principal como combustible u otro modo de producir energía», respecto al valor de la fórmula de eficiencia energética que se multiplicará por el factor de corrección climático (FCC)
	RESOLUCIÓN de 16 de noviembre de 2015	Mediante Acuerdo del Consejo de Ministros de 6 de noviembre de 2015, y a propuesta de la Ministra de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, se aprueba el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022.
	RESOLUCIÓN de 20 de enero de 2009	El Consejo de Ministros, en su reunión del día 26 de diciembre de 2008, ha adoptado el Acuerdo por el que se aprueba el Plan Nacional Integrado de Residuos para el período 2008-2015. Los objetivos y medidas incluidas en este Plan tienen, en muchos casos, carácter estratégico y pretenden servir de guía para el desarrollo de políticas específicas de gestión destinadas a cambiar la gestión de los residuos en España, por lo que resulta prioritario avanzar en el

		establecimiento de requisitos comunes entre las Administraciones competentes y los sectores afectados, mejorando los intercambios de información y colaboración con el Instituto Nacional de Estadística para la aplicación del Reglamento Comunitario de Estadísticas sobre Residuos.
	ORDEN MAM/304/2002	De conformidad con lo establecido en el segundo párrafo del apartado 2 de la disposición final tercera de la Ley 10/98, de 21 de abril, de Residuos, en el anejo 1 de la presente Orden se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos, establecidas mediante la Decisión 96/350/CE, de la Comisión, de 24 de mayo. El anejo 1 de la presente Orden será aplicable a todos los residuos incluidos en el ámbito de aplicación de la Ley 10/98.
	ORDEN APM/1007/2017	Sobre normas generales de valorización de materiales naturales excavados para su utilización en operaciones de relleno y obras distintas a aquellas en las que se generaron. Eximir de autorización como gestor de residuos a las personas físicas y jurídicas que pretendan utilizar, en operaciones de relleno y obras que están ejecutando, tierras y rocas naturales procedentes de otras obras. Para ello, se establecen una serie de condiciones que deben cumplir los valorizadores, los productores o poseedores iniciales y los propios materiales naturales excavados.
	REAL DECRETO 105/2008, de 1 de febrero	Por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición. Este Real Decreto tiene por objeto establecer el régimen jurídico de la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición, con el fin de fomentar, por este orden, su prevención, reutilización, reciclado y otras formas de valorización, asegurando que los destinados a operaciones de eliminación reciban un tratamiento adecuado, y contribuir a un desarrollo sostenible de la actividad de construcción.
	REAL DECRETO 180/2015, de 13 de marzo	El Real Decreto 180/2015 de 13 de marzo, por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado, entró en vigor el 7 de mayo de 2015 y deroga el contenido del Real Decreto 833/1988, de 20 de julio; modifica la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados y recoge el contenido del reglamento comunitario 1013/2006, de 14 de junio.
BOLIVIA	NB 1211001:2009	Ladrillos cerámicos - Ladrillos huecos - Clasificación y requisitos. Esta norma establece la clasificación, características y requisitos que deben cumplir los ladrillos cerámicos macizos que se emplean en la construcción
	NB 1211002:2007	Ladrillos cerámicos - Métodos de ensayo Esta norma establece la clasificación, características y requisitos que deben cumplir los ladrillos cerámicos macizos que se emplean en la construcción.
	NB 1211003:2009	Ladrillos cerámicos - Ladrillos macizos – Requisitos Esta norma establece la clasificación, características y requisitos que deben cumplir los ladrillos cerámicos macizos que se emplean en la construcción
MEXICO	NOM-161-SEMARNAT-2011	La presente Norma Oficial Mexicana tiene los siguientes objetivos. Establecer los criterios que deberán considerar las Entidades Federativas y sus Municipios para solicitar a la Secretaría la inclusión de otros Residuos de Manejo Especial, de conformidad con la fracción IX del artículo 19 de la Ley.

		Establecer los criterios para determinar los Residuos de Manejo Especial que estarán sujetos a Plan de Manejo y el Listado de estos.
	NOM-145-SEMARNAT-2003	Establecer las especificaciones técnicas para la protección al medio ambiente durante la selección del sitio, la construcción, operación y cierre de confinamientos de residuos en cavidades construidas por disolución en domos salinos geológicamente estables y en cavidades preexistentes en domos salinos.
	NOM-083-SEMARNAT-2003	La presente Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones para la selección del sitio, el diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y postclausura de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

Tabla 20. Normatividad internacional.
Fuente: (Autor).

7. METODOLOGÍA

Según la norma internacional ISO 14040, un ACV trata los aspectos e impactos ambientales de un sistema del producto, para esto se siguen las siguientes fases: (ICONTEC, 2007)

7.1. DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y EL ALCANCE

Para definir el alcance es necesario discutir y analizar cada una de los LCA, revisando que la amplitud, profundidad y detalle del estudio cumplieran con los objetivos.

7.2. ANÁLISIS DEL INVENTARIO - LCI

En este punto se van a identificar las entradas y salidas de materia y energía, incluyendo todas las emisiones del sistema definido que puedan generar impactos sobre el entorno.

7.3. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL - LCIA

En esta etapa se identifica cada salida del inventario con las categorías de impacto a fin de determinar impactos potenciales (enfoque midpoint) y categorías de daño respectivamente. Se analizan los potenciales impactos en la salud humana y en el ambiente de los recursos y emisiones identificados durante la fase de inventario estableciendo una relación entre el producto o proceso y su potencial impacto. Por otra parte, la evaluación de impactos provee información para la etapa de interpretación. (Herrera, 2014)

Como herramienta de soporte para el análisis y cuantificación de impactos se hizo uso del Software SimaPRO 8.5, se cargaron los datos del inventario y fueron analizados cuantitativamente a través

del método de evaluación IMPACT 2002, dicha plataforma permite el uso de diferentes bases de datos de procesos para este estudio se hace uso de la base de datos de ECOINVENT.

7.3.1. SIMAPRO

El estudio se ha realizado usando el programa SimaPRO 8.5, que es una herramienta informática desarrollada para estudios de ACV, este programa analiza y compara sistemática y consistentemente los aspectos ambientales de un producto según la norma ISO 14040. El programa SimaPRO ha sido usado, desde su primera versión en 1990, por empresas, consultoras, centros de estudio y de investigación. (Red Peruana de Ciclo de Vida, 2012)

7.3.2. ECOINVENT

ECOINVENT es una base de datos que cuenta con información de más de 4.000 procesos. Esta base de datos cuenta con una muy buena documentación y especificación de los datos inciertos. En el presente estudio se utilizó ECOINVENT para modelar los procesos comunes tales como transportes y generación de energía, entre otros. (Red Peruana de Ciclo de Vida, 2012)

7.4. ANÁLISIS

Por último, se identificaron los impactos más significativos, los cuales ayudarán a la toma de decisiones, ya que se evaluarán cada uno de los procesos relacionados con la extracción de materias primas, producción y disposición final o reutilización del ladrillo, que para este caso se compararán entre la disposición final y la reutilización del ladrillo.

7.5. ALTENATIVAS

7.5.1. IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DEL LADRILLO

De acuerdo con la revisión hecha anteriormente se identificarán las posibles alternativas que serán viables en el lugar de estudio.

7.5.2. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DEL LADRILLO

Se evaluarán las alternativas identificando las necesidades para su adopción e implementación. Se hará uso de herramientas matriciales como la FODA para evaluar las posibles alternativas que se pueden implementar.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según la norma internacional ISO 14040, un ACV trata los aspectos e impactos ambientales de un sistema del producto, para esto se siguen las siguientes fases en conjunto con las utilización de la herramienta SimaPro 8.5 (ICONTEC, 2007):

8.1. DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y EL ALCANCE

El objetivo de este estudio es evaluar y cuantificar los impactos ambientales de los ladrillos producidos de manera mecanizada, utilizando el ACV como herramienta de gestión. Es por esto por lo que el alcance del proyecto va desde la extracción de las materias primas necesarias hasta su disposición final y así compararla con el proceso si se reciclara.

8.2. ANÁLISIS DEL INVENTARIO

En este punto se identificaron las entradas y salidas de materia y energía, incluyendo todas las emisiones del sistema definido que pueden generar impactos sobre el entorno para la elaboración de un ladrillo de arcilla de 1 Kg. Así mismo se tomó como referencia una de las principales empresas productoras de ladrillos en Colombia, la Ladrillera Santafé. Esta información se ve a continuación:

8.2.1. CICLO DE VIDA

Lo primero se debe considerar es el proceso de producción del ladrillo de forma mecanizada.

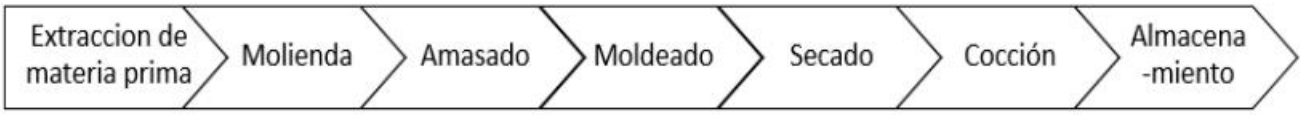

Figura 14. Proceso de producción del ladrillo.
Fuente: (Guarniz, 2010).

8.2.2. TRANSPORTE

Este trasporte ser refiere a todos los que se evaluaron durante todo el ciclo de vida del ladrillo, así mismo el tipo de vehículo que fue utilizado para realizar los diferente transportes que se llevaron a cabo a lo largo del ciclo de vida el cual es un camión de 32 toneladas cubicas, como se ve en la siguiente tabla:

TRAYECTO		DISTANCIA (Km)	VEHICULO
DESDE	HASTA		
Extracción	Producción	10.25	Camión de 32 ton3 bajo la norma EURO 3
Producción	Mercadeo	28.7	
Mercadeo	Construcción	19.7	
Construcción	Disposición	35.2	
Construcción	Reciclaje	14.9	

Tabla 21. Transportes y distancias utilizadas.
Fuente: (Autor).

Para la determinación de los lugares que se tomaron como referencia durante todo el proceso se tuvo que estos lugares cumplieran con la capacidad que requiere una empresa de la magnitud que tiene la Ladrillera Santafé (Castaño, Misle, Lasso, Gómez, & Ocampo, 2013), por lo anterior, el punto de extracción de la materia prima se escogió una vereda del municipio de Soacha, así mismo la producción se realizó en la planta de la Ladrillera Santafé sede Soacha. Posteriormente su comercialización se hace en la sede de Suba. Por otro lado, el lugar de construcción se tomó como caso de estudio la sede centro de la Universidad de La Salle, para posteriormente hacer su disposición final en la empresa Canigravas, ubicada en el Km 3 vía Madrid o llevarlo a un punto de aprovechamiento en la empresa Maquinas Amarillas SAS para reciclarlo ubicado al sur de la ciudad de Bogotá.

8.2.3. MATERIA PRIMA

Las cantidades de materia prima que se necesitan para elaborar un kilogramo de ladrillo de arcilla son las siguientes:

MATERIA PRIMA	CANTIDAD (Kg/ladrillo)
Arcilla	0.833
Arena	0.455
Agua	0.242

Tabla 22. Materia prima para la fabricación del ladrillo.
Fuente: (Ladrillera Santafé, 2017).

8.2.4. ENERGIA CONSUMIDA

El valor de energía que tomo en cuenta para este caso se calculó sumando la energía consumida durante el proceso de producción del ladrillo, como se especifica en la siguiente tabla:

EQUIPO	ENERGIA (KW)
Horno Rodillo	0.0002799756
Mezcladora	0.00034995
Extrusora	0.0010498499
TOTAL	**0.0016797755**

Tabla 23. Energía consumida.
Fuente: (Sacoto, 2013).

8.3. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

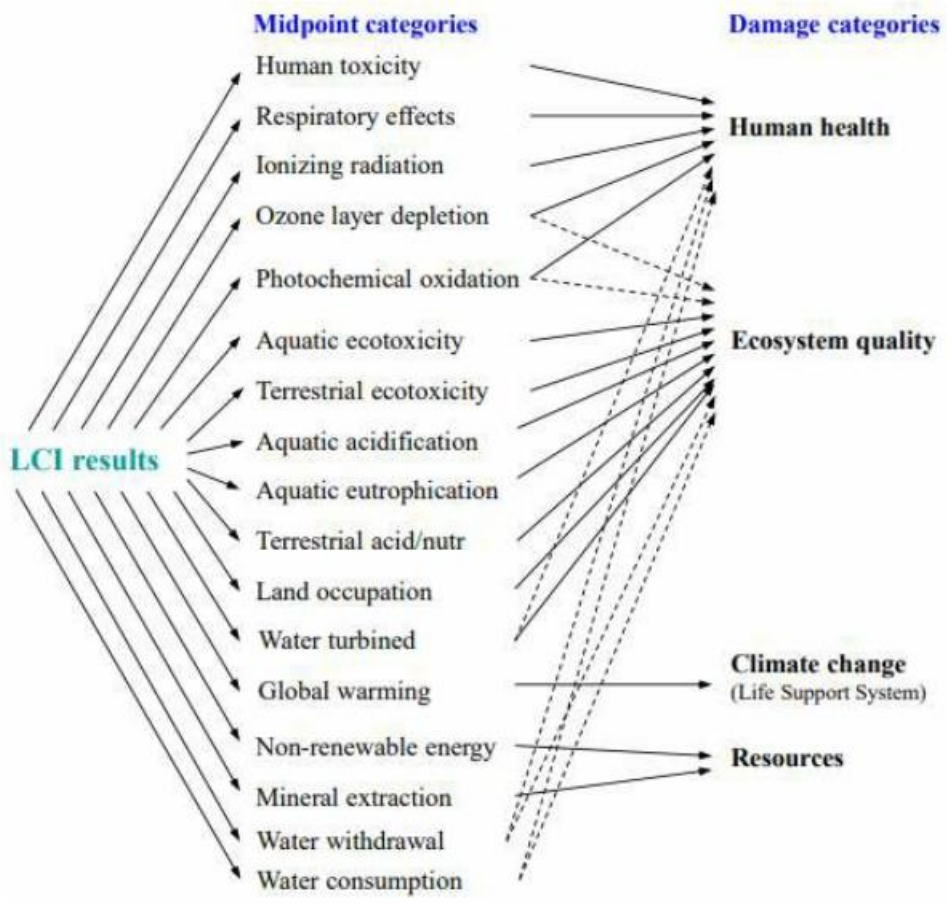

Ilustración 1. Vínculo entre las categorías de punto medio con las categorías de daños.
Fuente: (Humbert et al., 2015).

En cuanto a la evaluación del impacto ambiental del ladrillo de acuerdo con el programa SimaPRO 8.5, los resultados del inventario asignan a categorías de impacto a nivel de punto medio. Un indicador de punto medio caracteriza los flujos elementales y otras intervenciones ambientales que contribuyen al mismo impacto.

El término "punto medio" expresa el hecho de que este punto se encuentra en algún lugar en una posición intermedia entre los resultados de LCI y el daño en la vía de impacto. En consecuencia, un paso adicional puede asignar estas categorías de punto media a una o más categorías de daño, representando estos últimos cambios de calidad del medio ambiente. El resultado de un indicador de daño es la representación cuantificada de este cambio de calidad y se calcula multiplicando el factor de daño con los datos del inventario (Humbert, Margni, Jolliet, & PRe, 2015).

Como se ve en la ilustración anterior las flechas que son de línea continua simboliza que se conoce una ruta de impacto relevante y se modela cuantitativamente, por otro lado las flechas punteadas representan las vías de impacto entre el punto medio y los niveles de daño que se supone existen, pero que no se modelan cuantitativamente debido a la falta de conocimiento o que están en desarrollo o que están contando dos veces (Humbert et al., 2015).

8.4. ANÁLISIS

Por último, se identificarán los impactos más significativos, los cuales ayudarán a la toma de decisiones, ya que se evaluarán cada uno de los procesos relacionados con la extracción de materias primas, producción y disposición final o reutilización del ladrillo, que para este caso se compararán entre la disposición final y la reutilización del ladrillo.

8.4.1. DIAGRAMA DE RED

El diagrama de red que se ve a continuación nos muestra el porcentaje que tiene cada uno de los procesos del ciclo de vida del ladrillo, así mismo se ve el porcentaje que aporta cada uno de los procesos a la generación de impactos, a simple vista podemos decir que la disposición final aporta casi el doble de impactos de lo que lo hace el aprovechamiento.

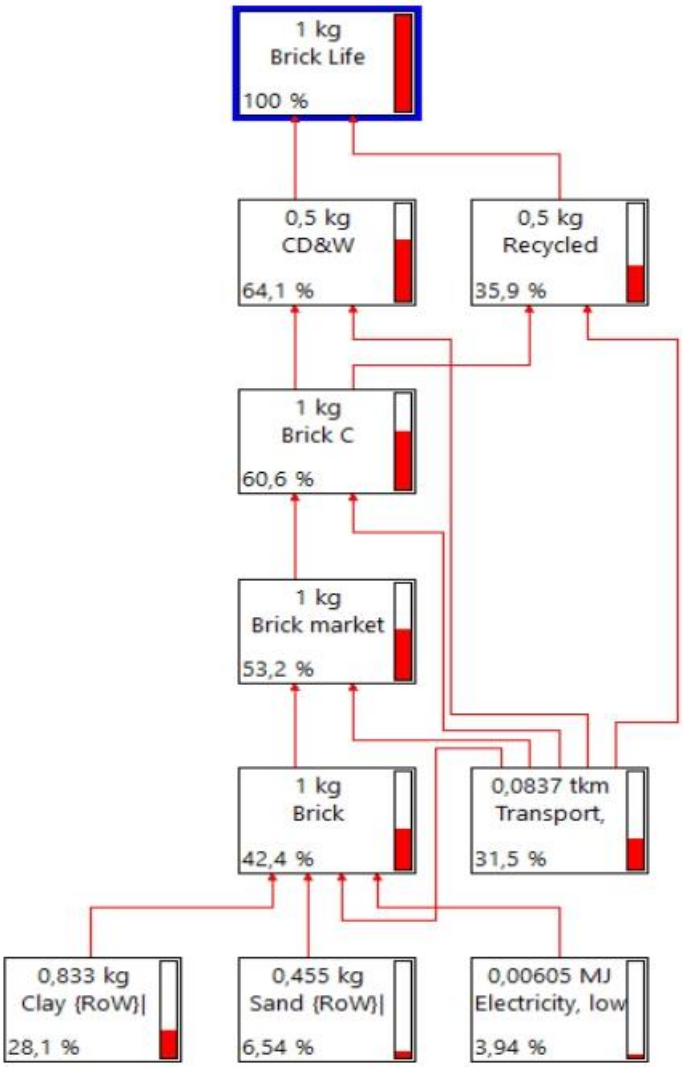

Ilustración 2. Diagrama de red ACV del ladrillo.
Fuente: (Autor).

La producción de un ladrillo mecanizado con disposición final impacta al ambienta en un 28.2% más que la producción de un ladrillo mecanizado con reutilización, debido al consumo de energía y trasporte de los materiales y los insumos en producción de ladrillos mecanizados.

8.4.2. PERFIL MEDIOAMBIENTAL

El perfil medioambiental muestra los aportes de cada uno de los procesos en las diferentes categorías que se evaluaron.

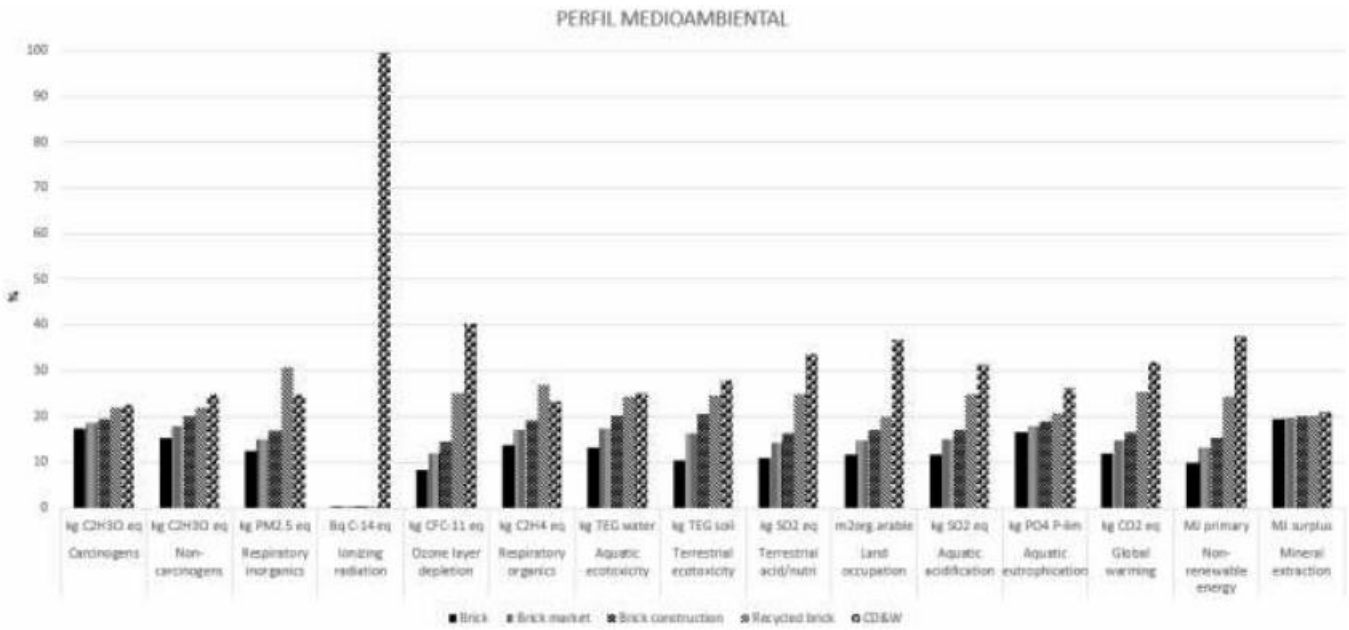

Ilustración 3. Perfil Medioambiental de todo el ciclo de vida.
Fuente: (Autor).

Como se ve en la Ilustración 3 en todas las categorías de medio punto que se evalúan, el proceso que tiene más concentración es el de la disposición final, exceptuando las categorías de orgánicos e inorgánicos respiratorios, en este caso el proceso de reciclaje los sobrepasa por unos cuantos puntos, por otra parte, la categoría de radiación ionizante nos muestra que el 99% del aporte lo realiza el proceso de disposición final, así mismo observamos que este proceso genera el mayor impacto en las categorías restantes.

La categoría de radiación ionizante tiene dos elementos relevantes las cuales son el Carbono 14, este a estar expuesto a altas temperaturas reacciona directamente con la mayoría de los metales para formar carburos, así mismo cuando se mezcla con el oxígeno forma monóxido y dióxido de carbono (Alonso-Rodríguez & Cano, n.d.), estos se puede observar durante el proceso de cocción del ladrillo. Así mismo, el radón se emana con facilidad del suelo y pasa al aire, allí se desintegra y emite partículas radiactivas, este está presente en el gas natural debido al uranio y el radio presente en la roca del lugar de extracción. Estas partículas al ser inhaladas se depositan en las células las que recubren las vías respiratorias y ahí puede alterar el ADN y provocar cáncer de pulmón (Organización Mundial de la Salud, 2016).

Por otro lado, los halones y los compuestos clorofluorocarbonados (CFC) son los principales causantes del agotamiento de la capa de ozono, esto debido a hacen parte del llamado "ciclo de

destrucción catalítica del ozono", ya que estos por acción de la radiación ultravioleta liberan cloro (Cl) y bromo (Br) (Torrado, 2004), esto son encontrados en el sistema de refrigeración de los hornos en el proceso de cocción.

Dentro de las energías no renovables que se identificaron está el petróleo en crudo, el gas natural y el carbón, esto se mide en Mega Joules (MJ), con esto se mide la cantidad de energía necesaria para extraer el recurso (Humbert et al., 2015).

La ocupación de tierras se mide de acuerdo con los metros cuadrados de tierra que pueden ser cultivables, y el componente que más afecta es la ocupación de rellenos en donde se hace su disposición final, así mismo el espacio o terreno que se utiliza para la extracción de las materias primas.

Las sustancias que más aportan acido nutrientes a la tierra son los NOx, este hace referencia a gases que contienen nitrógeno y oxígeno en diversas proporciones. Esto se forman cuando se quema combustibles, estos pueden contribuir a la formación de ozono fotoquímico (smog o niebla contaminante) y tener consecuencias para la salud. También contribuye al calentamiento global y puede provocar lluvia ácida (GreenFacts, n.d.). Así mismo hay presencia de dióxido de azufre (SO2), y este en presencia de humedad forma ácidos y produce material particulado PM 2.5 (Fundación para la Salud Geoambiental, n.d.). Esto ocurre en la fase de cocción y también durante los diferentes transportes que se realizan durante el ciclo de vida.

El calentamiento global se mide por los kilogramos de la emisión de gases de efecto invernadero equivalente a los kilogramos de dióxido de carbono, en este caso el Óxido Nitroso (N_2O), es en su mayoría aportado por el proceso de disposición final esto debido a la quema de combustibles fósiles durante los transportes y a la deforestación para la extracción de nuevas materias primas.

Los efectos respiratorios causados por sustancias inorgánicas son en su mayoría por los NOx y los SO_2, dentro de las afectaciones a la salud, éstos pasan directamente al sistema circulatorio humano a través de las vías respiratorias, este se asocia con problemas de bronquitis y asma, por otro lado, el aporte de las sustancias orgánicas lo hacen los hidrocarburos entre los más relevantes están el Heptano (C_7H_{16}), Butano (C_4H_{10}) y Hexano (C_6H_{14}). Esto es debido a la cantidad de combustible

y energía que se necesita durante el ciclo de vida del ladrillo y estos elementos se relacionan al consumo energético.

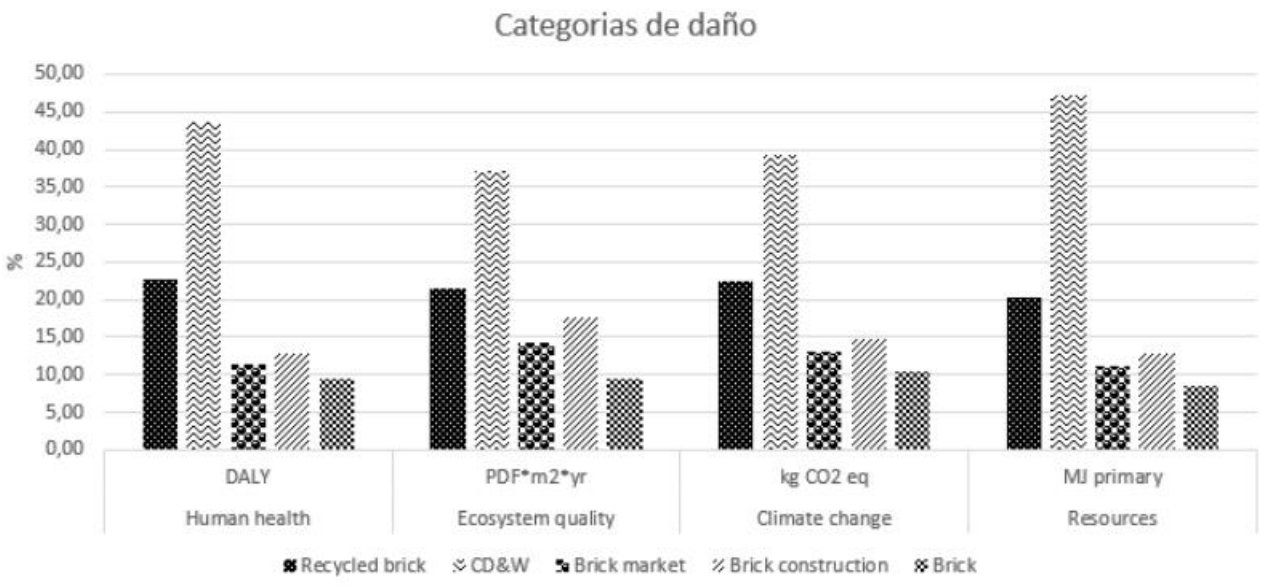

Ilustración 4. Categorías de daño de la disposición final y el reciclaje.
Fuente: (Autor).

Por otra parte, como se ve en la Ilustración 4 las categorías de daño nos muestran que existe una diferencia marcada entre el proceso de aprovechamiento y el de disposición final, aunque hay más diferencia en las categorías de daño de recursos y salud humana. La salud humana se evalúa en unidades DALY, la cual es la unidad de medida tomada del sistema de salud pública que se traduce en "años de vida potencialmente perdidos por discapacidad o Disability Adjusted Life Year, es decir, la fracción de vida que una persona puede acabar perdiendo en caso de sufrir una enfermedad discapacitante debida, por ejemplo, a la exposición continua a una determinada sustancia química de carácter industrial (Alvis & Valenzuela, 2010).

Así mismo la calidad del ecosistema se evalúa en PDF*m_2*y ("Fracción de especies potencialmente desaparecida en una cierta cantidad de m2 durante una cierta cantidad de año") es la unidad para "medir" los impactos en los ecosistemas. El PDF*m_2*y representa la fracción de especies desaparecidas en 1 m2 de superficie terrestre durante un año.

En cuanto al cambio climático, este se mide en Kg CO_2eq ("Equivalente en kg de dióxido de carbono equivalente") expresa la cantidad de una sustancia de referencia s que iguala el impacto del contaminante considerado dentro de los estudios de categoría de punto medio, se expresa en

unidades de carbono equivalente (CO2eq), una unidad que además del CO2 toma en cuenta los otros gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global.

Los recursos necesarios se miden en MJ ("Mega Joules"), este mide la cantidad de energía extraída o necesaria para extraer el recurso.

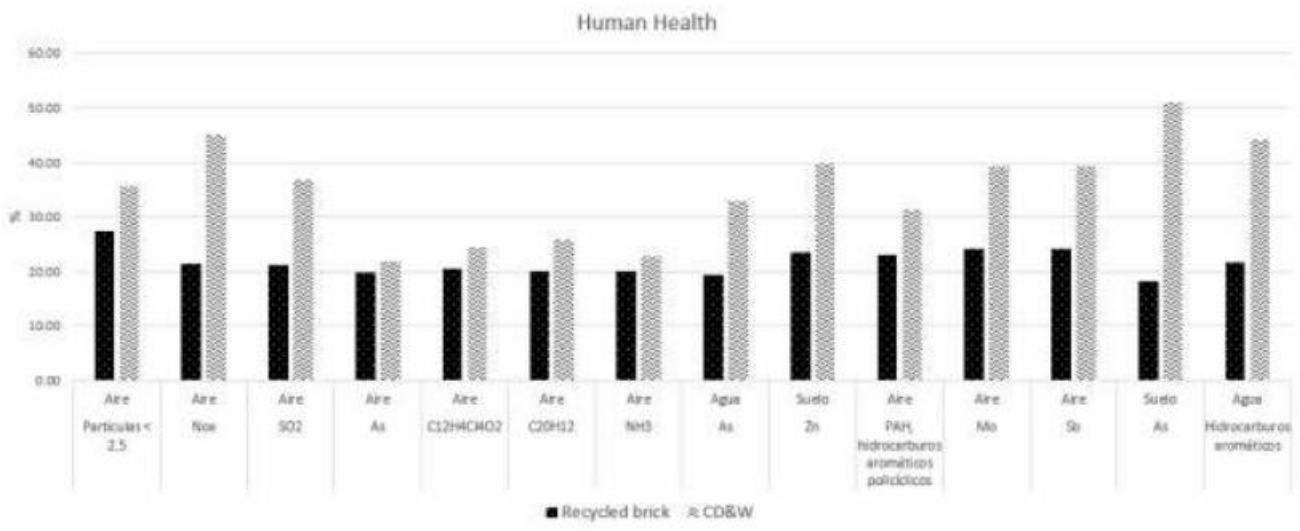

Ilustración 5. Evaluación del daño a la salud humana.
Fuente: (Autor).

En la Ilustración 5 se muestra de manera detallada los principales contaminantes que afectan específicamente a la salud humana, dentro de los más destacados está el arsénico presente en el

suelo, los óxidos de nitrógeno presentes en el aire, hidrocarburos aromáticos presentes en el agua, ademas del molibdeno y antimonio presentes en el aire, entre otros.

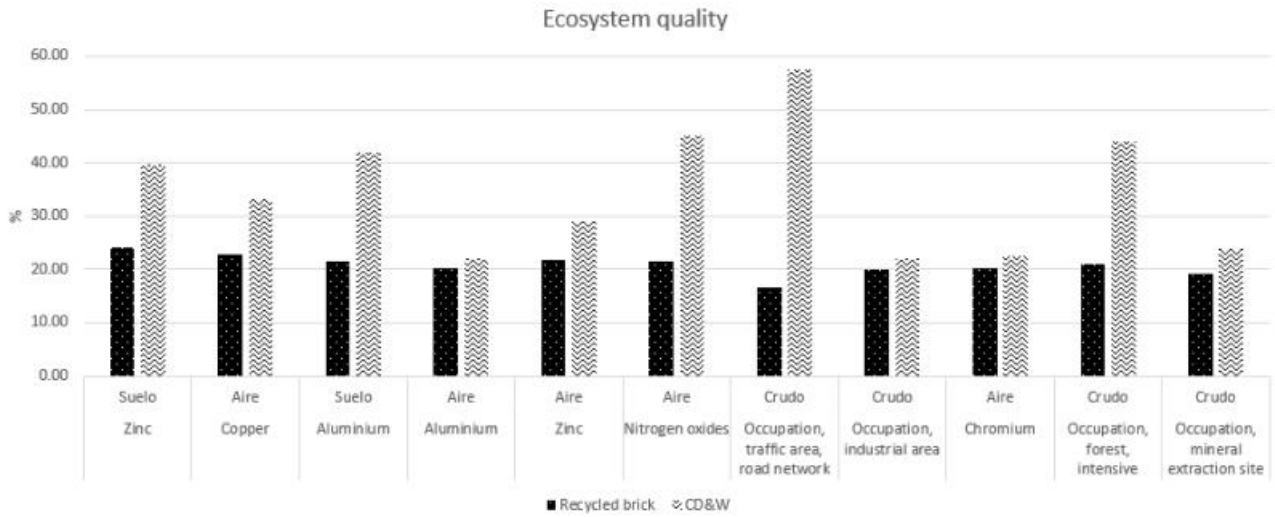

Ilustración 6. Evaluación del daño a la calidad del ecosistema.
Fuente: (Autor).

En la Ilustración 6 se muestra que las principales sustancias contaminantes de la calidad del ecosistema son el óxido de nitrógeno en el aire, la ocupación, área de tráfico, red de carreteras y la ocupación, forestal, intensiva en estado crudo, además el aluminio en el suelo.

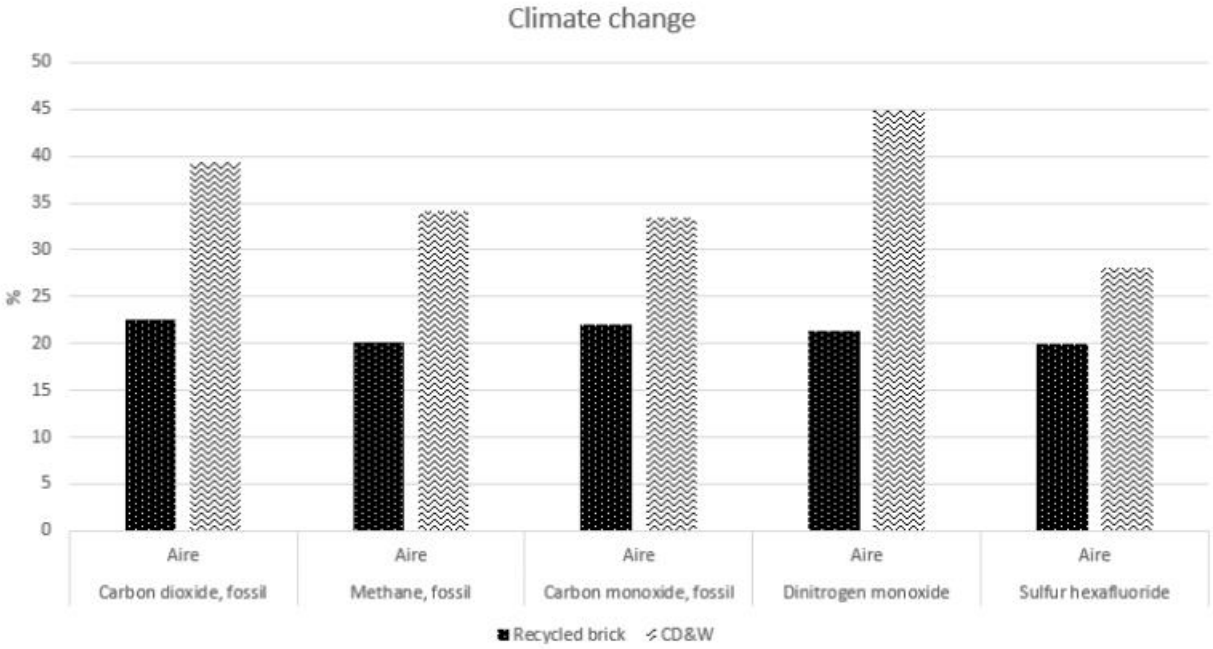

Ilustración 7. Evaluación del daño al cambio climático.
Fuente: (Autor).

La Ilustración 7 muestra las sustancias presentes en el proceso que contribuyen al cambio climático son el dióxido de carbono, el metano y el monóxido de carbono, todos estos en estado fósil, así mismo el monóxido de di-nitrógeno y hexafloruro de azufre, todos presentes en el aire.

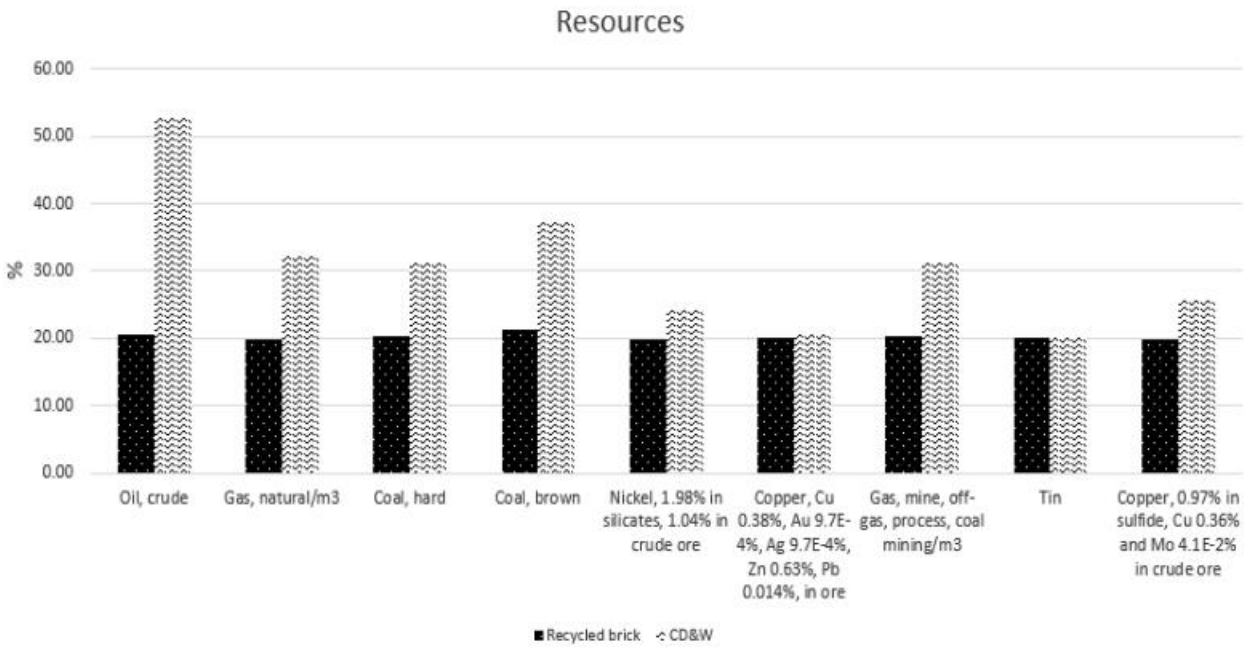

Ilustración 8. Evaluación del daño a los recursos.
Fuente: (Autor).

En la Ilustración 8 las sustancias que afectan más los recursos son el petróleo, carbón marrón y gas natural todos en crudo. En la evaluación de daño se ve que en la mayoría de las sustancias que se evalúan en cada categoría el mayor aporte se da por el proceso de disposición final.

8.5. ALTERNATIVAS

8.5.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL APROVECHAMIENTO DEL LADRILLO

8.5.1.1. VENTAJAS

El reciclaje de los escombros urbanos puede representar ventajas socioeconómicas, si va acompañado por una serie de medidas, como la reducción o eliminación de descargas ilegales, pues la limpieza de estas áreas tiene costos importantes. Por otra parte, el aprovechamiento de este residuo hace que se disminuya la disposición final de estos materiales en rellenos para los escombros, aliviando sobrexplotación de estos lugares.

Adicionalmente, los escombros reciclados sustituyen a los agregados tradicionales provenientes de reservas naturales que, muchas veces, son devastadas en la actividad de extracción. Por consiguiente esto hace que disminuyan los impactos ambientales generados por esta actividad (Formats Construction Machinery Co Ltd, 2015).

Es importante mencionar que, las mezclas confeccionadas con agregados reciclados presentan un costo muy parecido a la mezcla tradicional, dado que, si bien consumen más cemento, el costo del agregado reciclado es menor que el natural. Como se presenta en varios artículos, es muy favorable su factibilidad económica y las posibilidades de ser producido a escala urbana con el aval de la legislación.

8.5.1.2. DESVENTAJAS

El reciclado de los escombros urbanos posee, potencialmente, una calidad inferior al agregado tradicional, y principalmente, puede tener características muy variables de un lote a otro, debido a la heterogeneidad de los residuos, justificando la utilización de los agregados reciclados en hormigón y argamasas no estructurales.

Por lo tanto, es necesario fomentar la investigación y estudio de los materiales reciclados locales con el fin de determinar su comportamiento real en comparación con el comportamiento de los materiales internacionales para las diferentes aplicaciones descritas en este trabajo.

La falta de la maquinaria necesaria hace que el trabajo se dificulte, ya que esta influye en las eficiencias de los resultados. Sin embargo, las materias primas recicladas si poseen características inferiores a las materias primas naturales.

8.5.1.3. CUADRO COMPARATIVO VENTAJAS Y DESVENTAJAS

APROVECHAMIENTO DEL DRYWALL	
VENTAJAS	**DESVENTAJAS**
Es factible económicamente y tiene facilidad de ser producido a escala urbana	Es necesario tener maquinaria de calidad que garantiza la eficiencia del proceso
los escombros reciclados sustituyen a los agregados tradicionales provenientes de reservas naturales	Las materias primas recicladas poseen características inferiores a las materias primas naturales.
las mezclas confeccionadas con agregados reciclados presentan un costo muy parecido a la mezcla tradicional	Hace falta mas investigaciones que profundicen sobre los diferentes tipos de alternativas para la reutilización.
Disminucion de los impactos ambientales generados por esta actividad	No existe una autoridad que garantice el cumplimiento de la normatividad vigente.
Mitiga la sobreexplotación de los lugares autorizados para la disposición de estos materiales	
Reduce o elimina la disposición de estos materiales en lugar no autorizados	
Fomenta la investigación de la reutilización de estos materiales.	

Tabla 24. Cuadro comparativo de ventajas y desventajas del aprovechamiento del Ladrillo.
Fuente: (Autor).

8.5.1.4. ESCENARIO DE REFERENCIA

A continuación, se presenta una tabla comparativa para todos los artículos, de los anteriormente enunciados, con el fin de visualizar las similitudes, diferencias, ventajas y aplicabilidad para el proyecto que se está realizando:

PAÍS	ARTÍCULO	LR	L	W	E	C	A	BPM	I+	I-	V	NV	T	M	MN
MEXICO	(Ossa & Garcia, 2015)	x		x	x	x	x	x	x		x			x	x
ESPAÑA	(Bueno, 2018)	x		x	x	x	x		x		x			x	x
PAISES BAJOS	(Perez, 2012).	x		x	x	x	x	x	x		x			x	x
ITALIA	(Kadir & Sarani, 2012)	x		x		x	x		x			x	x		
AUSTRALIA	(Shakir et al., 2013)	x		x			x		x			x	x		
USA	(Mohammed et al., 2017a)	x		x	x	x	x		x		x			x	
CHINA	(Tam et al., 2018)	x		x		x	x		x			x	x		x
	(Zheng et al., 2018).	x		x	x	x	x	x	x		x			x	
COLOMBIA	ARTÍCULO	LR	L	W	E	C	A	BPM	I+	I-	V	NV	T	M	MN
MEDELLIN	(Bedoya & Dzul, 2015)	x		x	x	x	x	x	x		x			x	x
BOGOTA	(Escandon, 2011)	x		x	x		x	x	x		x			x	x
CARTAGENA	(Virgilio & Cornejo, 2007)	x		x	x	x	x	x	x		x			x	x
SOGAMOSO	(Perez, 2012)	x		x	x	x	x	x	x		x			x	x
B/QUILLA	(Pacheco Bustos et al., 2017)	x			x		x	x	x		x			x	x
CALI	(Lozano & Gonzalez, 2016)	x		x	x	x	x	x	x		x			x	x

Tabla 25. Cuadro comparativo de los escenarios de referencia.
Fuente: (Autor).

LR Ladrillo Reciclado
L Otro tipo de ladrillo
W Agua
E Energía
C Cemento, cemento reciclado y/o cal
A Agregados (Cerámica, porcelana, fibras, plástico)
BPM Buenas Propiedades Mecánicas
I+ Impactos positivos
I- Impactos negativos
V Viable
NV No Viable aún
T Teórico
M Metodología
MN Marco Normativo

8.5.1.5. ESCENARIO DE ALTERNATIVAS PROPUESTAS

Según lo analizado anteriormente las alternativas que se van a presentar son la que se podrían llevar a cabo de forma exitosa

A. Producción de elementos constructivos a partir de residuos de ladrillo activados alcalinamente.
B. Uso del ladrillo reciclado para la producción de adoquines estándar.
C. El concreto reciclado con escombros (triturado de ladrillo) como generador de hábitats urbanos sostenibles.

8.5.2. EVALUACION DE ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DEL LADRILLO

Proporciona información relacionada con las variables que puedan favorecer o amenazar el proyecto. El éxito de la construcción de la matriz MAFE, que contempla el estudio del entorno dependerán de los conocimientos que sobre el tema posea quienes estén encargados de la preparación del proyecto y la información secundaria disponible, permite conocer la forma cómo ha evolucionado en los últimos años el sector o subsector en los que pertenece y su situación actual

	ANALISIS DEL ENTORNO	
	OPORTUNIDADES	AMENAZAS
ANALISIS INTERNO	1- .... 2- 3-	1- .... 2- .... 3- ....
FORTALEZAS 1- .... 2- 3-	ESTRATEGIAS OFENSIVAS (MAXI-MAXI)	ESTRATEGIAS DEFENSIVAS (MAXI-MINI)
DEBILIDADES 1- .... 2- 3-	ESTRATEGIAS ADAPTATIVAS (MINI-MAXI)	ESTRATEGIAS DE SUPERVIVENCIA (MINI-MINI)

Figura 15. Matriz DOFA - Generación de estrategias.
Fuente: (DeGerencia, 2007).

El nombre es un acrónimo de las iniciales de los factores analizados: Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas. En primer lugar, se identifican los cuatro componentes de la matriz, divididos en los aspectos internos que corresponden a las fortalezas y las debilidades, y los aspectos externos o del contexto en el que se desenvuelve la organización que corresponden a las oportunidades y las amenazas. Para finalizar se generan las estrategias y acciones, con base en el enfrentamiento por pares de los factores:

- Estrategias y Acciones FO: Conducentes al uso y potencialización de las fortalezas internas de una organización con el objeto de aprovechar las oportunidades externas.
- Estrategias y Acciones DO: Dirigidas a mejorar cada una de las debilidades utilizando las oportunidades identificadas.
- Estrategias y Acciones DA: Conducentes a minimizar los peligros potenciales en el sector donde nuestras debilidades se encuentran con las amenazas.
- Estrategias y Acciones FA: Dirigidas a Estrategias para prevenir el impacto de las amenazas identificadas utilizando las fortalezas existentes en la organización.

8.5.2.1. MATRIZ MAFE

ALTERNATIVA A

Producción de elementos constructivos a partir de residuos de ladrillo activados alcalinamente.

	Oportunidades	**Amenazas**
MATRIZ **Producción de elementos constructivos a partir de residuos de ladrillo activados alcalinamente**	Fabricar elementos constructivos, tipo bloque, adoquín y teja, con propiedades incluso superiores a las mínimas establecidas en las normas técnicas colombianas (NTC) Los “bloques estructurales de clase alta”, son un 31.5 % más resistentes y un 18.8 % menos absorbentes que los requerimientos establecidos en la norma NTC 4026.	La falta de regulación que existe en las empresas hace que estas no sean constantes al momento de reutilizar algún material.
Debilidades	**Estrategias DO**	**Estrategias DA**
Se pierde tiempo en el proceso ya que es necesario que el material que se va a utilizar como materia prima este “limpio”, es decir que no tenga mezcla con ningún otro material, ya que el estudio se realizó con cantidades específicas.	Conocimiento de instituciones que pueden apoyar a la formación e implementación del proyecto. Invertir en maquinaria de mejor tecnología que disminuya los impactos ambientales negativos que se generan.	Incremento de la participación de las empresas generadoras de RCD`s proponiendo incentivos para las empresas que lo hagan.
Fortalezas	**Estrategias FO**	**Estrategias FA**
Los resultados obtenidos muestran la viabilidad de utilizar el residuo de ladrillo (RL) como precursor primario de un mortero activado alcalinamente de tipo híbrido apto para fabricar	Desarrollo de nuevos productos. Implementar programas de producción más limpia dentro del proyecto. Invertir en maquinaria de mejor tecnología que disminuya los	Promover la separación en la fuente de los residuos de construcción y demolición de las empresas generadoras. Proponer técnicas nuevas para facilitar la separación de los RCD`s

elementos constructivos, tipo bloque, adoquín y teja, Los adoquines de RL producidos cumplen con los requisitos mínimos establecidos en la norma NTC 2017. Las tejas fabricadas se clasifican como tejas de alto perfil (tipo I), al presentar una proporción altura:ancho mayor a 1:5.	impactos ambientales negativos que se generan.	

Tabla 26. Matriz MAFE - Generación de estrategias Alternativa A.
Fuente: (Autor).

ALTERNATIVA B

Uso del ladrillo reciclado para la producción de adoquines estándar.

	Oportunidades	**Amenazas**
MATRIZ **Uso del ladrillo reciclado para la producción de adoquines estándar**	Para realizar proyectos que involucren agregados reciclados es necesario un buen equipo de trituración. Un adoquín con un proceso de compactación y vibrado de más calidad tendrá menos vacíos.	Técnicamente no es viable remplazar en su totalidad el agregado natural por reciclado para la fabricación de adoquines, pero si un buen porcentaje de este. La presencia de agregados reciclados en la mezcla afecta de manera directa la resistencia a la abrasión de los adoquines.
Debilidades	**Estrategias DO**	**Estrategias DA**
No fue posible el uso de una trituradora para este proyecto por lo tanto la trituración se realizó manualmente. Los resultados obtenidos no satisfacen completamente los requeridos por la norma en Colombia con un error del 19%.	Conocimiento de instituciones que pueden apoyar a la formación e implementación del proyecto Existe en crecimiento en la industria de la construcción, lo que hace aumentar la demanda de ladrillos	Incremento de la participación ciudadana. La economía circular está tomando cada vez más fuerza en el país, lo que hace que se creen nuevas tecnologías
Fortalezas	**Estrategias FO**	**Estrategias FA**
Los resultados obtenidos de peso unitario suelto y compactado en esta investigación fueron favorables con respecto a las referencias bibliográficas de investigaciones hechas en Canadá y Serbia. Los resultados obtenidos ponen en buena posición la viabilidad técnica de los agregados evaluados en esta investigación.	Organizar una estructura que facilite el trabajo con los RCD. Proponer un plan piloto que tenga el apoyo de interesados para su replicación en la industria.	Disponibilidad de infraestructura necesaria para la caracterización de los áridos reciclados a partir de los residuos Implementar muevas tecnologías que garanticen la calidad de la materia prima que se utiliza.

Tabla 27. Matriz MAFE - Generación de estrategias Alternativa B.

Fuente: (Autor)

ALTERNATIVA C

El concreto reciclado con escombros (triturado de ladrillo) como generador de hábitats urbanos sostenibles.

	Oportunidades	**Amenazas**
MATRIZ **El concreto reciclado con escombros (triturado de ladrillo) como generador de hábitats urbanos sostenibles.**	Las prácticas de reciclaje de escombros ayudarían a reducir significativamente el uso urbano de los recursos. Los resultados, llevaron a confeccionar prototipos de elementos prefabricados de uso común en la construcción. Confeccionar prototipos de elementos prefabricados de uso común en la construcción en la ciudad de Medellín	El modelo de gestión no es viable a nivel urbano, ya que este depende de muchos factores externos, como los generadores de residuos, la ciudadanía y las empresas encargadas del aseo en la ciudad.
Debilidades	**Estrategias DO**	**Estrategias DA**
Llevar este ejercicio a la escala de un modelo de gestión a nivel urbano, donde se analicen las interrelaciones entre el desarrollo de un material no convencional y las políticas de manejo de residuos de la municipalidad,	Coordinar el proyecto con la empresa de aseo de la ciudad, para trabajar en conjunto esta alternativa. Facilidad de la reincorporación del material triturado, haciendo que este no se desperdicie.	Incentivar los proyectos que favorezcan o estén en pro de la reutilización de ladrillo reciclado. Identificar interesados que inviertan en el modelo que se quiere implementar. Tener un personal idóneo para el buen funcionamiento del proyecto.
Fortalezas	**Estrategias FO**	**Estrategias FA**
Su resistencia a la compresión a nivel de concreto para ser empleado en columnas y vigas, lo hace un proyecto viable. Los costos por metro cúbico de cada tipo de concreto arrojan un ahorro del 7% al elaborar concretos reciclados en comparación con un concreto natural o tradicional.	Desarrollo de nuevos productos. Implementar programas de producción más limpia dentro del proyecto. Realizar convenios con las empresas recolectoras de RCD`s en la ciudad.	Establecer un plan de evaluación del proyecto, que identifique en que parte del proceso se materializo una amenaza. Identificar las falencias del proyecto para poder mejorar esos aspectos.

Tabla 28. Matriz MAFE - Generación de estrategias Alternativa C.
Fuente: (Autor)

8.5.3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DEL LADRILLO

8.5.3.1. ALTERNATIVAS EVALUADAS

ANALISIS DE ESTRATEGIAS				
ALTERNATIVA	**DO**	**DA**	**FO**	**FA**
A	Conocimiento de instituciones que pueden apoyar a la formación e implementación del proyecto	Incremento de la participación de las empresas generadoras de RCD`s.	Desarrollo de nuevos productos. Implementar programas de producción más limpia dentro del proyecto.	Promocionar la separación en la fuente de los residuos de construcción y demolición.
B	Conocimiento de instituciones que pueden apoyar a la formación e implementación del proyecto	Incremento de la participación ciudadana.	Organizar una estructura que facilite el trabajo con los RCD	Disponibilidad de infraestructura necesaria para la caracterización de los áridos reciclados a partir de los residuos
C	Conocimiento de instituciones que pueden apoyar a la formación e implementación del proyecto	Incremento de la participación de las empresas generadoras de RCt*55D`s.	Desarrollo de nuevos productos. Implementar programas de producción más limpia dentro del proyecto.	Establecer un plan de evaluación del proyecto, que identifique en que parte del proceso se materializo una amenaza

Tabla 29. Resumen análisis de estrategias.
Fuente: (Autor)

9. CONCLUSIONES

- Una de las dificultades que se han encontrado a lo largo de este informe ha sido que el ladrillo como residuo de construcción y demolición es catalogado como el material pétreo esto quiere decir que no se tiene un valor exacto de que cantidad de ladrillos se están disponiendo ya que este se mezcla con materiales de mampostería, esto quiere decir que se mezcla con cerámicas o residuos de cemento.
- El problema más importante que se ha encontrado para la reutilización de los ladrillos es que se desconocen las características físicas del ladrillo como residuo, ya que no se saben que propiedades presenta ni la cantidad exacta de los elementos presentes en el ladrillo.
- La calidad del ladrillo depende de cada una de las empresas productoras, ya que dependiendo de las propiedades que se deseen, se determina la cantidad de materia

prima que se va a utilizar para su fabricación, además de la maquinaria que se utiliza, esto hace que la calidad del producto varíe en cada empresa.

- Otro aspecto importante es la falta de estandarización de la producción de ladrillos artesanales que garanticen una buena calidad y que además facilite su caracterización y estudio.
- La falta de estandarización de los ladrillos hace que no se garantice la buena recuperación de este material, debido a que no sabemos las proporciones de materia prima que se usaron debido a que solamente se tiene que garantizar que cumpla con unos requisitos de características físicas.
- Por otro lado, es importante resaltar que existe gran variedad de ladrillos que se fabrican en Colombia, los cuales en su mayoría su estructura hace que se tenga una mayor adherencia al mortero, al pegante o cemento que se esté utilizando para pegar ladrillos entre sí, esto dificulta su recuperación para ingresarlo al mismo al mismo sistema de fabricación de ladrillos.
- Es importante resaltar que dentro de los artículos encontrados en los cuales se reutilizaron los residuos de ladrillo, no se encontró ninguno en el cual se reintegrará este material para la elaboración de un nuevo ladrillo, esto debido a que a que no solamente en Colombia sino también en muchas partes del mundo no se tiene claridad de qué cantidad o de qué calidad es la materia prima y qué características físicas poseen estos ladrillos.
- Así mismo, en la mayoría de los artículos encontrados se utilizó este material de residuo de construcción y demolición como un agregado para la fabricación de otro elemente, es decir se integra en otro ciclo.
- Si se replican las alternativas propuestas en Bogotá, los resultados que se obtendrá van a ser distintos debido a lo que ya hemos mencionado anteriormente, que cada ladrillo tiene una materia prima diferente además de sus características físicas y químicas, por esto se deben conocer estos datos previamente.
- Según el perfil medioambiental obtenido por el programa SimaPRO el proceso de disposición final es mucho más contaminante que el de aprovechamiento, esto se evidencio ya que de las 15 categorías de medio punto que se evaluaron en 13 de estas el proceso que tenía más relevancia era el de disposición final.
- De acuerdo con los resultados obtenidos se puede determinar que el proceso que mas contamina durante el ciclo de vida del ladrillo es el de disposición final, ya

que este hace que se tenga que extraer nuevamente materia prima, además de aumentar la cantidad de residuos que se generan que podrían ser reutilizados.

- Aunque la aplicación del programa SimaPRO fue una herramienta fundamental para la elaboración de este ACV, se tuvieron varios inconvenientes ya que solo se pudo evaluar el impacto generado por la producción mecanizada esto debido a la falta de información sobre la producción artesanal, lo cual es un preocupante ya que se debería contar con bases de datos las cuales ayuden a la investigación de esta producción.
- Por lo anteriormente explicado el no tener datos e información que analizar sobre la producción artesanal de los ladrillos hace que no se pueda determinar en su totalidad cuales son los impactos generados por la producción de ladrillos.
- Por otro lado, el ACV debe ser visto por las grandes empresas productoras de ladrillo como una herramienta fundamental para la toma de decisiones, ya que esto no solo ayuda a la conservación del medio ambiente, sino que también ayuda a identificar los costos de producción, los cuales son uno de los principales factores de decisión en una empresa.
- La economía circular constituye el marco de trabajo en el que se desarrolla el ecodiseño, como un modelo circular integral. Se toma el ecodiseño como la principal herramienta necesaria para la fabricación de productos y servicios que cumplan los criterios requeridos de eficiencia, sostenibilidad, socialmente responsables y diferenciadores.
- El uso de agregado triturado de ladrillo reciclado en la elaboración de concreto es una alternativa ofrece una solución prometedora para el problema de los residuos de ladrillo provenientes de defectuosa fabricación, construcciones nuevas o demoliciones.

10. RECOMENDACIONES

- Es fundamental el apoyo por parte de las autoridades competentes para el incentivo a las empresas que realicen cambios significativos durante el ciclo de producción del ladrillo, los cuales conlleven a una disminución significativa de los impactos generados por ladrilleras convencionales fomentando estudios que identifiquen alternativas para su reutilización y así cambiar la economía lineal por una circular.

- En el proceso de obtención de los ladrillos mecanizados se podría implementar tecnologías que consuma menos energía o utilizar otras fuentes de energías que sean más renovables
- La recomendación, es que se incorporen reformas durante las etapas de cocción (uso de combustible alternativo) y mezclado (utilización de otro tipo de combustible o implemento), disminuyendo así el impacto ambiental potencial, generando beneficios al reducir la exposición de la población a elementos perjudiciales para su salud y disminuyendo el daño en los recursos.
- Cabe resaltar que las estrategias y acciones sugeridas anteriormente varían dependiendo del entorno en el que se esté desarrollando esta alternativa.

11. BIBLIOGRAFIA

Alonso-Rodríguez, A., & Cano, F. (n.d.). *Trabajo datacion carbono 14*.

Alvis, N., & Valenzuela, M. (2010). Los QALYs y DALYs como indicadores sintéticos de salud QALYs and DALYs as synthetic indicators of health. *Revista Médica de Chile*, *138*(Supl 2), 83–87.

Andres Robayo-Salazar, R., Mejía de Gutiérrez, R., & Jimena Mulford-Carvajal, A. (2016). Producción de elementos constructivos a partir de residuos de ladrillo activados alcalinamente Production of building elements based on alkali-activated red clay brick waste Produção de elementos construtivos a partir de resíduos de tijolo ativados alcali. *Revista Facultad de Ingeniería (Rev. Fac. Ing*, *25*(43), 21–30. https://doi.org/10.19053/01211129.v25.n43.2016.5294

B., L. Q., Silva, H. M. D., Guerra, M. I. M., & Silva, H. F. C. (2014). Implementación de procesos sostenibles vinculando industrias regionales: reciclaje de residuos siderúrgicos como proyecto de cambio de la manpostería en Boyacá-Colombia. *Revista EAN*, *0*(77), 82–103. https://doi.org/10.1007/s40846-015-0064-1

Bedoya, C., & Dzul, L. (2015). El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana. *Revista Ingenieria de Construccion*, *30*(2), 99–108. https://doi.org/10.4067/S0718-50732015000200002

Bedoya Montoya, C. M. (2003). El concreto reciclado con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles “la ciudad como ecosistema semi-cerrado, una

utopía cultural." *Zhurnal Eksperimental'noi i Teoreticheskoi Fiziki*, 98. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Beltran, S., Omaña, M., Cobaleda, D., Gonzalez, P., Alcazar, R., Torres, J., & Aristizabal, J. (n.d.). AUTOCONSTRUCCIÓN.

Bianucci, M. (2009). *EL LADRILLO. Orígenes y Desarrollo*. Resistencia. Retrieved from https://arquitecnologicofau.files.wordpress.com/2012/02/el-ladrillo-2009.pdf

Blomsma, F., & Brennan, G. (2017). The Emergence of Circular Economy: A New Framing Around Prolonging Resource Productivity. *Journal of Industrial Ecology*, *21*(3), 603–614. https://doi.org/10.1111/jiec.12603

Bueno, B. (2018). La reutilización de ladrillos. Ventajas ecologicas y viabilidad constructiva. Retrieved from http://oa.upm.es/50511/1/TFG_Bueno_de_la_Cuesta_Barbara.pdf

Castaño, J., Misle, R., Lasso, L., Gómez, A., & Ocampo, M. (2013). Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá : perspectivas y limitantes, *17*(38), 121–129.

Civancik-Uslu, D., Ferrer, L., Puig, R., & Fullana-i-Palmer, P. (2018). Are functional fillers improving environmental behavior of plastics? A review on LCA studies. *Science of the Total Environment*, *626*, 927–940. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.149

Corporación Ambiental Empresarial - CAEM. (n.d.). *Resultados proyecto Eficiencia Energética en Ladrilleras EELA Colombia*.

DeGerencia. (2007). Deficiencias en el uso del FODA. Causas y sugerencias - deGerencia.com. Retrieved June 22, 2019, from https://degerencia.com/articulo/deficiencias_en_el_uso_del_foda_causas_y_sugerencias/

Escandon, J. (2011). *Diagnostico tecnico y economico del aprovechamiento de residuos de construccion y demolicion en edificaciones en la ciudad de Bogota*. Pontificia Univerad Javeriana. https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-8082.2011.06.013

Eurostat. (2017). Estadísticas sobre residuos - Statistics Explained. Retrieved June 20, 2019, from https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-

explained/index.php/Waste_statistics/es

Forero Lache, D. (2016). *Residuos de construccion y demolicion (RCD) en Bogota (2013-2014): LINEAMIENTOS DE GESTION URBANA SUSTENTABLE*. *IOSR Journal of Economics and Finance*. Universidad Piloto de Colombia. https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-b-000238666

Formats Construction Machinery Co Ltd. (2015). Recuperación valor de Escombros y Tecnología de reciclaje de Escombros,Planta de reciclaje de Escombros. Retrieved June 21, 2019, from http://trituradoras-de-roca.com/wiki/Recuperación-valor-de-Escombros-y-Tecnología-de-reciclaje-de-Escombros.html

Fundación para la Salud Geoambiental. (n.d.). El dióxido de azufre SO2. Retrieved September 2, 2019, from https://www.saludgeoambiental.org/dioxido-azufre-so2

GamleMursten. (2013). The Rebrick Project. Retrieved from http://www.gamlemursten.eu/

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, *143*, 757–768. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048

Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, *114*, 11–32. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007

GreenFacts. (n.d.). Óxidos de nitrógeno (NOx). Retrieved September 2, 2019, from https://www.greenfacts.org/es/glosario/mno/oxidos-nitrogeno-nox-oxido-nitrico-no-dioxido-nitrogeno-no2.htm

Guarniz, A. (2010). Producción de Ladrillos. Retrieved July 21, 2019, from https://es.slideshare.net/alexanderguarniz/produccin-de-ladrillos-5907811

Hermida, C., & Domínguez, M. (2014). Economía circular como marco para el ecodiseño: el modelo ECO-3. *Dialnet*, *78*(1), 82–90. https://doi.org/10.23850/22565035.71

Herrera, A. (2014). *Estudio ambiental y social del Ciclo de Vida de la producción de ladrillos artesanales, utilizando combustibles tradicionales y alternativos en el*

Algarrobal, Mendoza. Universidad Nacional de Cuyo. Retrieved from http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/6110/herrera-analia-tesinairnr.pdf

Humbert, S., Margni, M., Jolliet, O., & PRe, various authors. (2015). IMPACT 2002 + : User Guide. *Work*, *21*, 45. Retrieved from http://www.pre-sustainability.com/download/DatabaseManualMethods.pdf

ICONTEC. (1996). NTC 2086. Retrieved from https://www.vallegres.com/norma-tecnica-colombiana-ntc-2086/

ICONTEC. NTC 296 (2000). Retrieved from https://kupdf.net/download/ntc-296-dimensiones-modulares-de-ladrillo-piezas-ceramicas-y-arcilla-cocida_5a12177fe2b6f59d1b568e26_pdf

ICONTEC. NTC 3829 (2004). Retrieved from https://tienda.icontec.org/producto/e-book-ntc3829-adoquin-de-arcilla-para-transito-peatonal-y-vehicular-liviano/?v=42983b05e2f2

ICONTEC. NTC 5282 (2004). Retrieved from https://www.libreriadelau.com/ntc-5282-adoquin-de-arcilla-para-trafico-vehicular-pesado-icontec-null-ingenieria-civil/p

ICONTEC. NTC 14040 (2007). Colombia. Retrieved from http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000127-a0991a28c5/NTC-ISO14040-2007 Analisis_CicloVida.pdf

ICONTEC. NTC 4205 (2009). Retrieved from https://www.vallegres.com/norma-tecnica-colombiana-ntc-4205-1/

ICONTEC. NTC 6033 (2013). Retrieved from http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/Otros/NTC/2013/NTC_6033_2013.pdf

Jimenez, K. (2017). *La implementacion: Economia circular, procesos comerciales y marketing*. Retrieved from http://www.albayan.ae

Kadir, A. A., & Sarani, N. A. (2012). An Overview of Wastes Recycling in Fired Clay Bricks. *International Journal of Integrated Engineering*, *4*(2), 53–69.

Ladrillera Santafé. (2017). *Caracteristicas de los componentes de la mamposteria*.

Lausselet, C., Borgnes, V., & Brattebø, H. (2018). LCA modelling for Zero Emission

Neighbourhoods in early stage planning. *Building and Environment, 149*(December 2018), 379–389. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.034

Lett, L. A. (2014). Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. *Revista Argentina de Microbiologia*, *46*(1), 1–2. https://doi.org/10.1016/S0325-7541(14)70039-2

Lozano, M., & Gonzalez, S. (2016). *Uso de residuos ceramicos en la produccion de ladrillos de arcillas del sector alfarero de Candelaria*. Pontificia Universidad Javeriana.

MaatSolucionesAmbientales. (2017). ¿Cómo cumplir con la Resolución 472 de 2017 en los proyectos de construcción en Colombia? Retrieved from http://www.maat.com.co/cumplir-la-resolucion-472-2017-proyectos-construccion-colombia/

Macarthur, E. (2010). Circular economy. Retrieved from https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept

Mart, M. (2018). Ecodiseño y Economía Circular, 32. Retrieved from http://www.degren.eu/wp-content/uploads/2018/03/Ecodiseno_Economia_Circular.pdf

Minambiente. (2017a). *La paz está en nuestra naturaleza*. Retrieved from http://www.cornare.gov.co/memorias/memorias-rcd/Ministerio-de-Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible.pdf

Minambiente. (2017b). Minambiente reglamenta manejo y disposición de residuos de construcción y escombros. Retrieved from http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros

Ministerios de vivienda ciudad y territorio. Decreto 2981 (2013).

Mohammed, T. U., Das, H. K., Mahmood, A. H., Rahman, M. N., & Awal, M. A. (2017a). Flexural performance of RC beams made with recycled brick aggregate. *Construction and Building Materials*, *134*(March), 67–74. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.135

Mohammed, T. U., Das, H. K., Mahmood, A. H., Rahman, M. N., & Awal, M. A.

(2017b). Flexural performance of RC beams made with recycled brick aggregate. *Construction and Building Materials*, *134*, 67–74. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.135

Molina, S., Vizcaino, A., & Ramírez, F. (2015). Estudio de las características físico - mecánicas de ladrillos elaborados con plástico reciclado en el municipio de Acacias (meta). *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015*, *1*. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Ochoa Garcia, S. M., Forero Avila, I. A., & Reyes Rodriguez, J. C. (2017). *Diseño y construccion de una planta para la elaboracion de ladrillos de plastico reciclado de equipos de computo y perifericos en Bogota DC*. Universidad Piloto de Colombia.

Organización Mundial de la Salud. (2016). El radón y sus efectos en la salud. Retrieved September 1, 2019, from https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health

Orrego, A. (2012). El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en propuesta metodológica para la evaluacione de la sostenibilidad de sistemas productivos, 106.

Ossa, A., & Garcia, J. (2015). Residuos de construcción y demolición. Retrieved from http://www.iingen.unam.mx/es-mx/Publicaciones/GacetaElectronica/Febrero2015/Paginas/Residuosdeconstruccion.aspx

Pacheco Bustos, C. A., Fuentes Pumarejo, L. G., Sánchez Cotte, É. H., Rondón Quintana, H. A., Pacheco Bustos, C. A., Fuentes Pumarejo, L. G., … Rondón Quintana, H. A. (2017). Residuos de construccion y demolicion (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestion. *Ingeniería y Desarrollo*, *35*(2), 533–555. Retrieved from http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v35n2/2145-9371-inde-35-02-00533.pdf

Paz-Gonzales, E. E. (2014). Análisis De La Determinación De Las Propiedades Físico Y Mecánicas De Ladrillos Elaborados Con Plástico Reciclado. Retrieved from http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2921/MTpagoee003.pdf?sequence=1;universidad

Perez, A. (2012). Uso de triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la

elaboración de concreto, 10.

Ramírez, A. M. (2014). *Análisis del proceso de fabricación de las empresas ladrilleras de las localidades de Santa Cruz y Santa Rosa de Chanango del distrito de Bella Vista-Jaén-Cajamarca*. Universidad Nacional de Cajamarca. Retrieved from http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/624

Rao, A., Jha, K. N., & Misra, S. (2007). Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, *50*(1), 71–81. https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2006.05.010

Red Peruana de Ciclo de Vida. (2012). *Estudio de análisis de ciclo de vida comparativo entre ladrillos artesanales y ladrillos mecanizados*. Lima. Retrieved from http://www.redladrilleras.net/assets/files/98b76b9168060e49090cdf8e656579cf.pdf

Reike, D., Vermeulen, W. J. V., & Witjes, S. (2018). The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. *Resources, Conservation and Recycling*, *135*(February 2017), 246–264. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027

Rieznik, N., & Hernández, A. (2005). Análisis del ciclo de vida. *Capítulo 3. Metodología Del Análisis Del Ciclo De Vida*, 37. Retrieved from https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250504/2013/Analisis del Ciclo de Vida.pdf

Sacoto, J. (2013). *DISEÑO DEL PROYECTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA FÁBRICA PRODUCTORA DE LADRILLO EN LA CIUDAD DE AZOGUES*. Universidad Politécnica Salesiana. Retrieved from https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5700/1/UPS-CT002797.pdf

SDA. (2015). *Gestión integral de RCD*. Bogota. Retrieved from http://www.ambientebogota.gov.co/web/publicaciones-sda/cartilla-rcd

Secretaria Distrital de Ambiente. (2015). Guía Para La Elaboración Del Plan De Gestión De Residuos De Construcción Y Demolición - Rcd En La Obra, 40. Retrieved from http://www.ambientebogota.gov.co/web/publicaciones-sda/cartilla-rcd

Shakir, A. a, Naganathan, S., Nasharuddin, K., & Mustapha, B. (2013). Development Of Bricks From Waste Material: A Review Paper. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, *7*(8), 812–818.

Tam, V. W. Y., Soomro, M., & Evangelista, A. C. J. (2018). A review of recycled aggregate in concrete applications (2000–2017). *Construction and Building Materials*, *172*, 272–292. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.240

Torrado, S. (2004). NTP 666: Sustitutos y alternativas para los halones de extinción, (Ci). Retrieved from https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_666.pdf

Universidad Industrial de Santander, & Unidad de Planeación Minero Energético. (2018). UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO-ENERGÉTICA Universidad Industrial de Unidad de Planeación Minero Energética Autores : Dirección técnica Unidad de Planeación Minero Energética Helena Giovahanna Guayara Universidad Industrial de Santander Revisión editorial, (3).

Vega, J. (2012). *Aprovechamiento y disposicion de RCD*. Retrieved from http://ambientebogota.gov.co/documents/664482/0/Johao-Ariel-Cemex.pdf

Virgilio, J., & Cornejo, G. (2007). Aprovechamiento De Escombros Como Agregado Para La Fabricación De Adoquines Estándar, 1–67.

Zheng, C., Lou, C., Du, G., Li, X., Liu, Z., & Li, L. (2018). Mechanical properties of recycled concrete with demolished waste concrete aggregate and clay brick aggregate. *Results in Physics*, *9*(April), 1317–1322. https://doi.org/10.1016/j.rinp.2018.04.061