



**EVALUACIÓN DE UNA ALTERNATIVA DE LADRILLO NO
CONVENCIONAL USANDO RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y
DEMOLICIÓN (RCD) DESDE EL IMPACTO AMBIENTAL Y SU
APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE EN BOGOTÁ,
COLOMBIA.**

Santiago Peña Castañeda

Hernando Rincón Pineda

Universidad El Bosque

Facultad de Ingeniería

Programa Ingeniería Ambiental

Bogotá, 2018

**EVALUACIÓN DE UNA ALTERNATIVA DE LADRILLO NO
CONVENCIONAL USANDO RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y
DEMOLICIÓN (RCD) DESDE EL IMPACTO AMBIENTAL Y SU
APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE EN BOGOTÁ,
COLOMBIA.**

Santiago Peña Castañeda
Hernando Rincón Pineda

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director:

José Francisco Ibla Gordillo, cPhD

Línea de Investigación:
Gestión y productividad sustentable

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia
2018

Acta de sustentación

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Dedicatoria

Su uso es opcional. En ella el autor del trabajo dedica su trabajo en forma especial a quienes considere y/o entidades

Por ejemplo:

A mis padres. ...

Agradecimientos

Reconocimiento a las personas y a las instituciones que ayudaron en la realización de la investigación.

Tabla de contenido

1. Introducción	1
2. Planteamiento del problema	2
3. Objetivos.....	4
3.1. <i>Objetivo general</i>	4
3.2. <i>Objetivos específicos</i>	4
4. Justificación.....	5
5. Marcos de referencia.....	6
5.1. <i>Estado del arte</i>	6
5.2. <i>Marco conceptual.....</i>	9
5.2.1. <i>Sostenibilidad</i>	9
5.2.2. <i>Impacto ambiental</i>	9
5.2.3. <i>Residuo sólido</i>	9
5.2.4. <i>Residuo de Construcción y Demolición (RCD)</i>	10
5.2.5. <i>Construcción sostenible</i>	10
5.2.6. <i>Diseño experimental</i>	10
5.2.7. <i>Reciclaje de Residuos de Construcción y demolición.....</i>	10
5.2.8. <i>Tratamiento de Residuos de Construcción y Demolición</i>	10
5.3. <i>Marco teórico.....</i>	10
5.4. <i>Marco normativo.....</i>	13
5.5. <i>Marco geográfico</i>	15
6. Metodología.....	16
6.1. <i>Diseño metodológico</i>	16
6.1.1. <i>Enfoque de la investigación</i>	16
6.1.2. <i>Métodos de la investigación</i>	16
6.1.3. <i>Variables de análisis.....</i>	17
6.1.4. <i>Alcance de la investigación.....</i>	17
6.1.5. <i>Unidad de análisis</i>	17
6.1.6. <i>Diseño de la investigación</i>	17
6.1.7. <i>Variables, técnicas e instrumentos de recolección, organización y sistematización de datos</i>	19
6.1.8. <i>Técnicas e instrumentos para el análisis de la información.</i>	25
7. Plan de trabajo	25
7.1. <i>Etapas y fases del proyecto.....</i>	25
8. Resultados	26
8.1. <i>Objetivo específico N°1: Elaborar el prototipo de ladrillo no convencional usando Residuos de Construcción y Demolición (RCD).....</i>	26

8.1.1.	<i>Recolección de RCD's</i>	26
8.1.2.	<i>Trituración de RCD's</i>	27
8.1.3.	<i>Tamizado de PVC</i>	28
8.1.4.	<i>Fabricación de moldes</i>	29
8.1.5.	<i>Determinación de masas de los componentes</i>	30
8.1.6.	<i>Mezclado</i>	30
8.1.7.	<i>Moldes con muestras</i>	31
8.1.8.	<i>Secado de muestras</i>	32
8.2.	<i>Objetivo específico N°2: Analizar las características físicas del ladrillo no convencional</i>	33
9.2.1	<i>Porcentaje de absorción de agua</i>	33
9.2.2.	<i>Microscopía óptica</i>	35
9.3.	<i>Objetivo específico N°3: Realizar la evaluación de impacto ambiental en el proceso de elaboración del ladrillo no convencional para proponer su aplicabilidad en la construcción sostenible.</i>	41
10.	Análisis y discusión de resultados	47
10.1.	<i>Objetivo específico N°1: Elaborar el prototipo de ladrillo no convencional usando Residuos de Construcción y Demolición (RCD).</i>	47
10.2.	<i>Objetivo específico N°2: Analizar las características físicas del ladrillo no convencional</i>	51
10.2.1.	<i>Prueba de absorción</i>	51
10.2.2.	<i>Microscopía óptica</i>	53
11.	Conclusiones	58
12.	Recomendaciones	59
13.	Referencias bibliográficas	60

Listado de figuras

Figura 1. Elaboración del ladrillo no convencional.	11
Figura 2. Clasificación de los RCD	12
Figura 3. <i>Mapa de la ciudad de Bogotá D.C.</i> Fuente: Google imágenes, 2018.	15
Figura 4. <i>Ubicación Universidad El Bosque - Sede Usaquén.</i>	16
Figura 5. Etapas y fases del proyecto.	26
Figura 6. <i>Trituración de RCD's.</i>	28
Figura 7. <i>Tamizado de residuo de PVC.</i>	28
Figura 8. <i>Diseño de los moldes para la elaboración de prototipos. Herramienta utilizada: AutoCad.</i>	29
Figura 9. <i>Diseño de molde 3D. Herramienta utilizada: SketchUp</i>	30
Figura 10. <i>Mezclado de muestras.</i>	31
Figura 11. <i>Moldes con muestras</i>	31
Figura 12. <i>Secado de muestras.</i>	32
Figura 13. <i>Desmoldado de muestras</i>	32
Figura 14. <i>Gráfica porcentajes de absorción.</i>	35
Figura 15. Micrografía óptica: Muestra 1 Zoom 3.7x. Categoría A: PVC Categoría B: Ladrillo Categoría C: Mezcla cemento-arena Fuente: Autores, 2018.	35
Figura 16. Micrografía óptica: Muestra 1 Zoom 54x Categoría A: PVC Categoría B: Ladrillo Categoría C: Mezcla cemento-arena	36
Figura 17. Micrografía óptica: Muestra 2 3.7x Categoría A: PVC Categoría B: Ladrillo Categoría C: Mezcla cemento-arena	36
Figura 18. Micrografía óptica: Muestra 2 Zoom 54x Categoría A: PVC Categoría B: Ladrillo Categoría C: Mezcla cemento-arena	37
Figura 19. Micrografía óptica: Muestra 3 Zoom 3.7x Categoría A: PVC Categoría B: Ladrillo Categoría C: Mezcla cemento-arena	37
Figura 20. Micrografía óptica: Muestra 3 Zoom 54x Categoría A: PVC Categoría B: Ladrillo Categoría C: Mezcla cemento-arena	38
Figura 21. Micrografía óptica: Muestra 4 Zoom 3.7x Categoría A: PVC Categoría B: Ladrillo Categoría C: Mezcla cemento-arena	38
Figura 22. Micrografía óptica: Muestra 4 Zoom 54x Categoría A: PVC Categoría B: Ladrillo Categoría C: Mezcla cemento-arena	39
Figura 23. Micrografía óptica: Muestra 5 Zoom 3.7x Categoría A: PVC Categoría B: Ladrillo Categoría C: Mezcla cemento-arena	39
Figura 24. Micrografía óptica: Muestra 5 Zoom 54x Categoría A: PVC Categoría B: Ladrillo Categoría C: Mezcla cemento-arena	40
Figura 25. Micrografía óptica: Muestra 6 Zoom 3.7x Categoría A: PVC Categoría B: Ladrillo Categoría C: Mezcla cemento-arena Fuente: Autores, 2018	40
Figura 26. Micrografía óptica: Muestra 6 Zoom 54x Categoría A: PVC Categoría B: Ladrillo Categoría C: Mezcla cemento-arena Fuente: Autores, 2018.	41
Figura 27. Identificación de materiales. Fuente: Calculadora LEED.	45
Figura 28. Porcentaje de material reutilizado en el proyecto.	46
Figura 29. Lugar de procedencia y distancia de material transportado.	46
Figura 30. Porcentaje de procedencia de materiales. Fuente. Calculadora LEED.....	47
Figura 31. Modelo estructural tridimensional de la activación alcalina en silicatos.....	48
Figura 32. Estructura química del monómero del PVC.	52
Figura 33. Comparación de absorción de agua con otros autores.....	52

Listado de tablas

Tabla 1. Normatividad relacionada.....	14
Tabla 2. Composición de muestras por porcentaje peso a peso.....	18
Tabla 3. Composición de muestras por masas.....	18
Tabla 4. Total de material utilizado.	19
Tabla 5. Valor de la Importancia del impacto.	24
Tabla 6. Valores de importancia.	25
Tabla 7. Pesos de prototipos.	33
Tabla 8. Densidades, porcentajes de absorción, comparación y clasificación según NTC 4026	34
Tabla 9. Matriz de identificación de impactos CONESA.	42
Tabla 10. Matriz de evaluación de impactos CONESA.	43
Tabla 11. Productos desmoldantes.....	49
Tabla 12. Identificación de impactos	54
Tabla 13. Medida de manejo ambiental para la generación de residuos sólidos.	55
Tabla 14. Medida de manejo ambiental para la alteración de la calidad del aire por material particulado.	56
Tabla 15. Medida de manejo ambiental para la generación de olores.	57

Listado de ecuaciones

Ecuación 1. Porcentaje de absorción.....	20
Ecuación 2. Cálculo de la densidad	21
Ecuación 3. Cálculo de Importancia	21

Resumen

El proyecto de investigación tiene como objetivo general la evaluación de un prototipo de ladrillo no convencional usando residuos de construcción y demolición (PVC y ladrillo triturado), este ladrillo se presenta como una alternativa a la producción de ladrillo convencional de arcilla, cuya principal problemática se basa en la emisión de gases tóxicos y extracción de materias primas naturales. En la investigación realizada, para poder evaluar las características físicas del ladrillo no convencional fue necesario la elaboración de 60 prototipos de 6 tipos diferentes en sus composiciones por medio de un molde tradicional. Se calculó el porcentaje de absorción de acuerdo con la NTC 4026, se determinó la densidad de los prototipos y el análisis microscópico óptico para observar las características de superficie de estos. Además, se identificaron los impactos ambientales generados en la fabricación del ladrillo no convencional mediante la matriz Conesa y el cálculo de la calculadora LEED. Acorde con los parámetros de la NTC 4026 se cumplió con los requerimientos de la norma en todas las muestras fabricadas. Por sus propiedades físicas, teniendo el menor porcentaje de absorción y su potencial en la construcción sostenible se propone como alternativa la muestra seis.

Palabras clave: Ladrillo, Construcción sostenible, Policloruro de vinilo (PVC), Residuos de Construcción y Demolición (RCD), Impacto ambiental.

Abstract

The general objective of the research project is the evaluation of an unconventional brick prototype using construction and demolition waste (PVC and crushed brick), this brick is presented as an alternative to the production of conventional clay brick, whose main problem is en It is based on the emission of toxic gases and extraction of natural raw materials. In the research carried out, in order to evaluate the characteristics of the physical characteristics of the bricks, it was not taken into account, 60 prototypes of 6 different types were elaborated in their compositions in the middle of a traditional mold. The percentage of absorption according to NTC 4026 was calculated, the density of the prototypes and the optical microscopic analysis were determined to observe the characteristics of the surface of these. In addition, the impacts generated in the manufacture of non-conventional brick were identified through the Conesa matrix and the calculation of the LEED calculator. In accordance with the parameters of NTC 4026 the requirements of the standard are met in all manufactured samples. Due to its physical properties, taking into account the lower percentage of absorption and its potential in sustainable construction, sample six is proposed as an alternative.

Keywords: Brick, Sustainable construction, Polyvinyl chloride (PVC), Construction and Demolition Waste (CDW), Environmental impact

1. Introducción

Desde sus comienzos el ser humano ha modificado su entorno para adaptarlo a sus necesidades, para ello ha hecho uso de todo tipo de materiales naturales que, con el tiempo y el desarrollo tecnológico, ha ido transformando en distintos productos. Entre los materiales de construcción más conocidos en Colombia están: arena, arcilla, grava de río, caliza y algunas puzolanas que se han utilizado en la construcción de pueblos y también de grandes ciudades. Los primeros materiales de construcción utilizados por el hombre fueron el barro, la piedra y las fibras vegetales como madera o paja, éstos probablemente fueron los ladrillos de barro o adobe que se remontan a los 13.000 años a.c mientras que los primeros ladrillos cocidos datan de 4.000 años a.c (MinMinas, 2013)

El sector de la construcción tiene diferentes impactos ambientales significativos a nivel global. En el proceso de fabricación de materiales de construcción se consume un 10% del suministro de energía global. Este sector es además el más grande contribuyente al cambio climático, se estima que es responsable de 30-40% del total de emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo. Finalmente, los residuos de construcción y demolición contribuyen aproximadamente en un 40% a la generación de residuos sólidos. (United Nations Environment Programme, 2014).

En Bogotá para el año 2012 se generó un volumen de 14.230.405 m³ de residuos de Construcción y Demolición, lo que corresponde a 38.987m³ diario. El sector privado es el de mayor generación con 8.084.159 m³/año, seguido del sector público 5.944.285m³/año y finalmente el clandestino 202.961m³. Estos residuos de construcción están compuestos principalmente de concreto (27,214%), tierra (18,864%) y ladrillo (18,461%). La inadecuada gestión de estos residuos por la falta de organización, control y manejo generan impactos socio ambientales y económicos negativos como obstaculización del tránsito, obstrucción de los sistemas de alcantarillado, aumento en costos de mantenimiento, probabilidades de inundación, disminución en la vida útil de los rellenos sanitarios y alteración en las características ecosistémicas de los humedales y otros cuerpos de agua en la región (Chavez, León, & Guarín, 2014).

Teniendo en cuenta lo anterior, por medio del presente proyecto de investigación se pretende evaluar una alternativa en la fabricación de un nuevo material constructivo, reincorporando Residuos de Construcción y Demolición, en este caso PVC y ladrillo, para así minimizar los impactos ambientales generados en su proceso de fabricación y además reducir la cantidad de materias primas naturales empleadas, de esta manera se busca aportar el desarrollo sostenible en el país desde el sector de la construcción. Se elaboraron seis muestras cada una con diez ejemplares con diferente porcentaje de composición, evaluando las características físicas como permeabilidad, densidad y estructura de la superficie.

2. Planteamiento del problema

De acuerdo a los estudios realizados por la Asociación Nacional de Fabricantes de Ladrillo y derivados de la Arcilla (Anfalit) para el año 2002 Colombia contaba con 1935 ladrilleras mecanizadas y artesanales de las cuales 88% es decir, 1703 ladrilleras se encontraban aún en operación. Según los estudios de evaluación de necesidades tecnológicas (TNA, EELA-Colombia y OPEN) para el año 2012 la región Cundí-Boyacense representaba más de la mitad de la industria ladrillera en el país (57,4%), siendo Bogotá y Cundinamarca los lugares de mayor producción (184.704 ton/mes). En cuanto al inventario tecnológico de hornos para la fabricación de ladrillo en Colombia se encontró un alto grado de ineficiencia teniendo en cuenta que se registra un número considerable de hornos tipo fuego dormido, pampa, árabes y colmena, reconocidos por su baja eficiencia térmica y altas emisiones de contaminantes. (Corporación Ambiental Empresarial - CAEM, 2013).

Para el año 2012 el consumo energético en la producción de ladrillos en el país fue de 631.90 (TCal/año) donde el mayor porcentaje del consumo energético lo representa el carbón 46,78% (295,58 TCal/año) y el Gas Natural 43.94% (277.66 TCal/año). (Corporación Ambiental Empresarial - CAEM, 2013).

Por otra parte, las emisiones de gases contaminantes provenientes de la industria ladrillera en Colombia para el año 2001 fueron principalmente Monóxido de Carbono 27.000 (ton/año), Material Particulado 22.440 (ton/año), Dióxido de azufre 5.628 (ton/año) y Óxidos de nitrógeno 1.212 (ton/año) (Unidad de Planeación Minero Energética, 2001). Las emisiones del sector Manufacturero y de la Construcción para el año 2004 en Colombia fue de 13.097,50 tCO₂eq, según el estudio realizado por el IDEAM en el inventario nacional de GEI (IDEAM, 2008). Puntualmente en Bogotá, se contabilizaron emisiones de 180.173 tCO₂eq en el 2008 para empresas de fabricación de materiales de arcilla para la construcción, ubicadas principalmente en las localidades Ciudad Bolívar, Usme, Rafael Uribe y San Cristóbal (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) la contaminación atmosférica urbana aumenta el riesgo de padecer enfermedades respiratorias agudas, como la neumonía, y crónicas, como el cáncer del pulmón y las enfermedades cardiovasculares. Por ejemplo, las personas expuestas a concentraciones elevadas de material particulado tienen un mayor riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares. Las poblaciones más vulnerables a contraer dichas enfermedades son niños, ancianos y familias menos favorecidas. Se calcula que en el mundo suman 1,3 millones las personas que mueren en un año a causa de la contaminación atmosférica urbana; más de la mitad de esas defunciones ocurren en los países en desarrollo (Organización Mundial de la Salud, s.f.).

En Bogotá para el año 2007 existían aproximadamente 107 predios dedicados a la explotación de materiales de construcción en las laderas de los cerros tutelares de la ciudad y en el valle del río Tunjuelo debido a que estos proveen arcillas, arenas, recebo y piedra (Garzón, 2013). Mediante la resolución 2001 de 2016 del ministerio de ambiente, añadió 7.000 hectáreas para minería en la Sabana de Bogotá, dejando un total de 18.000 hectáreas habilitadas, superficie similar a la que tiene Soacha. (El tiempo, 2016) Esta práctica extractiva presenta diversos impactos ambientales, uno de ellos es la afectación del suelo por el cambio en la morfología de la superficie, las condiciones edáficas, la deforestación, la inadecuada disposición de residuos sólidos y líquidos, la intervención de los cuerpos

de agua y los vertimientos en ellos. Asimismo, la expansión para la explotación del ladrillo trae consigo apertura de nuevas vías, ingreso de maquinaria para excavaciones y construcción de obras que cambian los usos del suelo, alterando el entorno y las unidades de paisaje naturales. (Sánchez & Zapata, 2013)

Finalmente, vale la pena resaltar que uno de los problemas más comunes de los elementos constructivos como el ladrillo es la exposición a altos porcentajes de humedad que pueden generar una degradación de los mismos a largo y mediano plazo. La microestructura del material bajo condiciones críticas de humedad genera que el vapor de agua presente migre a través del elemento constructivo, describiendo un gradiente térmico, condensándose en algún punto de esa trayectoria al encontrar un plano frío. Esta humedad sumada a otros factores como la luz, el oxígeno, el pH, los nutrientes y la contaminación atmosférica, origina el biodeterioro provocando lesiones en el material mecánicas y Químico Biológicas. (Avendaño, Londoño, & Vela, 2007).

Bogotá no es ajena a esta condición climática, pues la humedad relativa anual en la ciudad varía entre el 74% y 86%. De acuerdo a la clasificación y método de C. W. Thornthwaite se evidenció que Bogotá a lo largo de su extensión presenta zonas húmedas (B₃) caracterizada con lluvias entre 1000 y 1100mm, zonas muy húmedas (B₄) con precipitaciones que fluctúan entre los 1100 y 1300mm y zonas súperhúmedas (A) caracterizada por lluvias anuales que se sitúan entre los 1200 a 1400mm o más. (IDEAM, 2007).

De acuerdo con lo anterior, se entiende que la permeabilidad es una propiedad del ladrillo que está directamente relacionada con la vida útil del mismo, por lo que se hace necesario que el ladrillo no convencional tenga bajos porcentajes de absorción de agua disminuyendo la susceptibilidad al deterioro progresivo a causa de la humedad.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

- Evaluar una alternativa de ladrillo no convencional usando Residuos de Construcción y Demolición (RCD) desde el impacto ambiental y su aplicación en la construcción sostenible.

3.2. Objetivos específicos

- Elaborar un prototipo de ladrillo no convencional usando Residuos de Construcción y Demolición (RCD).
- Analizar las características físicas del ladrillo no convencional.
- Realizar la evaluación de impacto ambiental en el proceso de elaboración del ladrillo no convencional para proponer su aplicabilidad en la construcción sostenible.

4. Justificación

El ingeniero ambiental dentro de sus capacidades y haciendo uso de las diferentes herramientas debe transformar las actividades humanas hacia la sostenibilidad; en este caso la construcción, integrando los aspectos, social, cultural y biótico sin dejar de lado el beneficio y la viabilidad económica.

A nivel ecológico, con la fabricación del ladrillo no convencional se busca mitigar el impacto ambiental generado en la fabricación de ladrillos a base de arcilla, principalmente emisiones de gases contaminantes a la atmosfera. Adicionalmente reducir la extracción de materias primas naturales como arenas, gravas y arcillas reincorporando los residuos de construcción y demolición en el proceso productivo.

Socialmente hablando al mitigar la contaminación atmosférica se reduce por ende la exposición de la población a contraer enfermedades respiratorias, principalmente niños y adultos mayores, mejorando su calidad de vida. De igual manera se reducen los costos de materiales en el sector de construcción haciendo más asequible la obtención de los mismos por parte de las familias de bajos recursos.

En el ámbito económico, con la fabricación del ladrillo no convencional se busca obtener un material de menor costo conservando o mejorando las características mecánicas del ladrillo convencional además con el reciclaje de los residuos de construcción y demolición se busca reducir los costos relacionados con la limpieza por vertimiento inadecuados de los mismos.

Como material se optó por emplear residuos de construcción y demolición, dado que en diversos estudios se han comprobado que una vez tratados y reciclados siguen presentando características físicas y mecánicas favorables para ser reincorporados en la fabricación de nuevos elementos constructivos (Contreras, Rainho, & Murillo, 2016; Véliz, Zambrano, & Rivera, 2013; Robayo, Gutierrez, & Carvajal, 2015). Adicionalmente se puede considerar como una medida que contribuye a mitigar los impactos ambientales generados por la fabricación de ladrillos convencionales como la sobreexplotación de materias primas naturales e inadecuada gestión de los residuos de construcción y demolición.

5. Marcos de referencia

5.1. Estado del arte

Para la elaboración del estado del arte se abordaron artículos científicos cuyos objetivos iban encaminados a la fabricación de elementos constructivos a partir de RCD, cuantificación de las propiedades físicas de estos elementos como la resistencia a la compresión y el porcentaje de absorción de agua. Se encontró que estos estudios son diversos a nivel global, en su mayoría presentan resultados favorables en cuanto a resistencia mecánica y absorción, dando cumplimiento a la normatividad técnica de cada país. A su vez presentan ventajas económicas por la reducción de costos en su fabricación y se contempla como una medida de manejo de los RCD.

A nivel internacional, específicamente en Ecuador se llevó a cabo un estudio donde se seleccionaron los residuos de hormigón, ladrillo, y asfalto, por ser los de mayor frecuencia de desalojo en el vertedero municipal. Posteriormente se clasificaron de manera manual, lo que permitió llevar un control de volumen de cada uno, en la clasificación se eliminaron elementos contaminantes (tierra, plástico, madera, otros.) Realizada la clasificación se procedió a triturar los residuos a través de una trituradora mecánica, como resultado se obtuvo como materia prima los áridos.

Los residuos se seleccionaron y se realizaron tres formulaciones, variando las cantidades de ladrillo (10-20-40), hormigón (30-40-50) y asfalto (30-40); además, en cemento se varió en 0.5, 0.75 y 1.0. Se tomó como referencia la relación volumétrica 1:5:2 (Cemento-áridos gruesos y finos) en la elaboración del bloque. Para el cálculo volumétrico se tomó de referencia el volumen de un saco de cemento de 50 kg.

El mezclado se realizó de manera mecánica mediante una mezcladora industrial, la mezcla obtenida se llevó al molde para bloques de 10x20x40 cm de la máquina prensadora donde se vibró y compactó para luego pasar a la fase de curado. En la fase los bloques fueron compactados permanecieron en un espacio que se garantizó la protección del sol, para el curado se roció agua, con la finalidad que desarrollen las propiedades físicas y mecánicas que garantizan su calidad.

Como resultados y conclusiones se obtuvo que el contenido de los residuos influye en las características del bloque principalmente en la resistencia. Siendo el contenido de ladrillo el más influyente, ya que a menor contenido se eleva la resistencia, por otra parte, el reciclar los residuos de la construcción para la elaboración de bloques de hormigón es una alternativa en el manejo de los mismos, puesto que cumplen con las características de un bloque tradicional y al mismo tiempo minimiza el uso de los recursos naturales. (Véliz, Zambrano, & Rivera, 2013).

Otra investigación llevada a cabo en Chile tenía como objetivo determinar la viabilidad del uso de áridos reciclados de residuos de hormigón en la fabricación de hormigón y bloques de hormigón. Para el desarrollo de la investigación primero se recolectaron los residuos de hormigón procedentes de la demolición de pavimentos rígidos los cuales posteriormente fueron triturados. Segundo, se realizó la caracterización del material con los ensayos de densidad aparente, densidad real, absorción y partículas menores. De igual manera se caracterizó el material natural, que correspondía al árido procedente de cantera y que ha sido sometido a trituración, molienda y clasificación. Por último, se diseñó mediante la metodología Faury-Josel la mezcla de hormigón con material natural y/o de reciclado para posteriormente construir bloques de hormigón y se determinaron las propiedades mecánicas del hormigón y de los bloques de hormigón para establecer la viabilidad de su uso.

Dentro de los resultados se obtuvo que, existe una menor densidad en el material de residuo de hormigón; sin embargo, dichos valores se encuentran dentro de los rangos estipulados en la normativa chilena. En cuanto a la absorción de agua del material reciclado se estableció que el porcentaje era aproximadamente un 3% superior a lo establecido en la norma; sin embargo, no es una limitante para su uso en la fabricación de hormigones.

Por otra parte, la resistencia encontrada para las tres combinaciones utilizadas (grava y arena natural – grava reciclada y arena natural - grava y arena reciclada) es relativamente similar, pero se destaca una mayor resistencia cuando se utilizó material reciclado tanto para la arena como para la grava. El mejor comportamiento de resistencia lo tiene la mezcla con grava y arena natural, seguida de la combinación de grava reciclada y arena natural. Finalmente, la resistencia del hormigón fabricado con grava reciclada y arena natural resulta ser menor; esto explica la decisión de fabricar los bloques con este material para compararlos con el material natural y así establecer la condición más desfavorable en el estudio.

Como conclusiones los autores señalan que es factible reutilizar gravas y arenas recicladas en la fabricación de hormigón ya que se alcanzan resistencias similares al hormigón construido con materiales naturales y cuya magnitud difiere máximo un 10%. Los bloques diseñados mediante el método de dosificación Faury-Joisel y confeccionados con áridos pueden ser utilizados como elementos constructivos estructurales en la medida en que cumplen los estándares exigidos por la normativa chilena. Los porcentajes de absorción de agua de los materiales reciclados son mayores que el árido natural, pero dicha característica no afecta el diseño ni la resistencia final de los bloques de hormigón (Valdés, Reyes, & González, 2011).

En Brasil investigadores del Departamento de Física aplicada de la Universidad de Huelva y de las Universidades Estatal Paulista y del Oeste fabricaron un ladrillo a partir de nuevos materiales más resistentes provenientes de una materia prima de muy bajo costo. El material es extraído directamente de las plantas de gestión de residuos de construcción sin necesidad de un tratamiento complejo y evita tener que invertir en material de relleno. Se usaron lima y cemento como agentes aglutinantes y se prensaron usando una prensa hidráulica uniaxial. Después de 21 días del curado se sometió a pruebas de compresión, las sondas presentaron una resistencia promedio mayor que 4 MPa, que es más alto que los estándares. También se determinó la absorción de agua, la porosidad aparente y la densidad donde tuvieron resultados favorables según los estándares brasileiros. Los resultados muestran que es posible producir ladrillos de bajo costo con excelentes propiedades físicas utilizando RCD como agregado y cal o cemento como aditivo.

En las conclusiones del estudio se afirma que los bloques pueden fabricarse sin ninguna inversión previa ahorrando los costos de fabricación. Por lo que se propone como una alternativa viable en países en vía de desarrollo en los que el acceso a la materia prima comúnmente utilizada es difícil. (Contreras, Rainho, & Murillo, 2016).

A nivel nacional, en la ciudad de Cali se analizó la viabilidad de utilizar los residuos de ladrillo de arcilla roja (RL) para producir elementos constructivos, tipo bloque, adoquín y teja, mediante la técnica de activación alcalina. Como materia prima para la producción de estos elementos se utilizó un residuo de ladrillo (RL) y cemento Portland (OPC). Los autores seleccionaron el residuo de ladrillo procedente de una industria ladrillera en Cali, Colombia. La composición de estos materiales fue determinada por medio de una fluorescencia de rayos X. El mortero híbrido, utilizado como material base para la

producción de los elementos constructivos, se obtuvo con una relación precursor: arena de 1:1. Como activadores alcalinos se usó una mezcla de hidróxido de sodio NaOH y silicato sódico comercial.

Entre los resultados obtenidos los autores señalan que, de acuerdo con la NTC 4026 los bloques de RL se pudieron clasificar como “bloques estructurales de clase alta” dado que presentan una alta resistencia a la compresión de 17.09 MP y una capacidad de absorción de agua de 7.3%. Es decir, un 31.5 % más resistentes y un 18.8 % menos absorbentes que los requerimientos establecidos en la norma NTC 4026. (Robayo, Gutierrez, & Carvajal, 2015).

En Medellín estudiantes de la Universidad EAFIT diseñaron bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición. La tierra empleada en la elaboración de dichos bloques es limo de alta compresibilidad (MH) resultante del proceso de excavación para la nivelación de terreno y cimentaciones del conjunto residencial Claro Verde. Para el caso de los RCD se hizo uso de los residuos generados por el Laboratorio de Suelos, Concretos y Pavimentos de la Universidad EAFIT, concretos y materiales cerámicos.

Para la fabricación de los bloques, inicialmente se preparó la mezcla, se limpia y se lubrica el recipiente CINVA-RAM, la mezcla se vertió en tres capas donde se ejerce presión desde las cuatro esquinas y en el centro para obtener un llenado uniforme y recudir espacios de aire. Posteriormente se retira el bloque y se almacena en un lugar libre de humedad, aireado, fresco y protegido de la intemperie. Durante la semana siguiente a la fabricación del bloque fue rociado con agua en todas sus caras. A los 28 días se realizaron los ensayos de laboratorio pertinentes acorde a la normatividad.

Entre los resultados de la investigación se obtuvo que los bloques con adición de RCD triturado tienen un mejor comportamiento a la compresión que los mampuestos con agregado convencional. Todos los bloques presentaron durante el ensayo de compresión fallas plásticas, dadas por la capacidad que tiene la tierra de deformarse y soportar carga. El comportamiento capilar obtuvo resultados relacionados con el esfuerzo promedio a la compresión, en donde las muestras con adición de 60 % de agregados presentan un mejor comportamiento. Todos los bloques presentan una resistencia a la abrasión mayor de 2 cm²/g, lo cual estipula la norma como necesario para ser catalogados como BSC 20.

Los autores concluyen que los bloques en tierra con adición de RCD presentaron mejores resultados que los bloques fabricados con agregado convencional respecto a sus propiedades mecánicas. Los bloques en tierra con adición de RCD cumplen con las especificaciones físicas y mecánicas establecidos por la Norma Técnica Colombiana para ser empleados en la construcción en usos para bloques de suelo-cemento. Los bloques con un porcentaje de adición de arena convencional del 60 %, presentan la mayor resistencia a la compresión, adicionalmente son poco capilares y tiene buena resistencia a la abrasión y los bloques con adición de RCD que presentan un mejor comportamiento son aquellos con un porcentaje de adición de agregado de 70 % (Vásquez, Botero, & Cavajal, 2015).

Para la elaboración del presente proyecto estos artículos contribuyeron a la estructuración de la metodología, conocimiento de normas, técnicas e instrumentos, comportamiento de los RCD según su naturaleza y la obtención de resultados para su posterior comparación. Vale la pena añadir que dentro de los artículos encontrados no se evidenció el uso de PVC como material de fabricación de los ladrillos, tampoco se evidenció un estudio de impacto ambiental que demostrara su bajo impacto ambiental.

5.2. Marco conceptual

A partir de los términos trabajados en el presente proyecto se definieron los conceptos acordes a su relevancia y generalidad, esto con el fin de darle un orden lógico al marco conceptual. Se inició definiendo el concepto de sostenibilidad o desarrollo sostenible el cual hizo su primera aparición en el informe de Brundtland elaborado por diferentes naciones en el año 1987, posteriormente se definieron conceptos menos generales según la normatividad colombiana, finalizando con el término *tratamiento de residuos de construcción y demolición* que está contenido en los lineamientos de la política de residuos de construcción y demolición en Bogotá.

5.2.1. Sostenibilidad

Satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (Naciones Unidas, 1987). La organización de las naciones unidas para la alimentación (FAO) define sostenibilidad como la gestión y conservación de la base de recursos naturales, y la orientación del cambio tecnológico e institucional de tal manera que se asegure el logro y la satisfacción continua de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras (FAO, 1991). Según Robledo (2010) es el conjunto de principios, suma de valores, con la finalidad de mantener y mejorar las condiciones de la población actual y las próximas generaciones. Es de esta manera una apuesta rotunda a las generaciones futuras.

5.2.2. Impacto ambiental

Cualquier alteración en el medio ambiental biótico, abiótico y socioeconómico, que sea adverso o beneficioso, total o parcial, que pueda ser atribuido al desarrollo de un proyecto, obra o actividad. (Decreto 2041, 2014). De acuerdo con Orea & María (2013) impacto ambiental hace referencia a la alteración que introduce una actividad humana en su entorno, interpretada en términos de salud y bienestar humano o más detalladamente en la calidad de vida de la población. Es un cambio de las condiciones iniciales en el medio ambiente que implica aspectos sociales y económicos como la provisión de condiciones adecuadas para la salud, disponibilidad de recursos y biodiversidad (Miedzinski, 2013). A su vez tiene componentes espaciales y temporales y se puede describir como el cambio de un parámetro ambiental, durante un período específico y dentro de un área definida, como resultado de una actividad particular en comparación con la situación que habría tenido si la actividad no se hubiera iniciado. (Wathern, 1988)

5.2.3. Residuo sólido

Cualquier objeto, material, sustancia o elemento principalmente sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador presenta para su recolección por parte de la persona prestadora del servicio público de aseo. (Decreto 2981, 2013). Se entiende también por residuo sólido cualquier material desechado que pueda o no tener utilidad alguna. El término residuo no corresponde con la acepción de la palabra desecho, pues ésta trae implícita la no utilidad de la materia (Jiménez, 2001)

5.2.4. Residuo de Construcción y Demolición (RCD)

Todo residuo sólido resultante de las actividades de construcción, reparación o demolición, de las obras civiles o de otras actividades conexas, complementarias o análogas. (Decreto 2981, 2013)

5.2.5. Construcción sostenible

Manera de la industria de la construcción de actuar hacia el logro del desarrollo sostenible, tomando en cuenta aspectos medio ambientales, socioeconómicos y culturales. Específicamente, implica cuestiones tales como diseño y administración de edificaciones, construcción y rendimiento de materiales y uso de recursos - todas, dentro de la órbita más amplia del desarrollo y la gestión urbanos (United Nations Environment Programme, 2014)

5.2.6. Diseño experimental

Procedimiento de planeación y conducción de experimentos, así como la definición del análisis estadístico para evaluar los resultados, con el objetivo de tener conclusiones válidas y objetivas. El procedimiento incluye la definición de factores a modificar, la manera de su aplicación y el número de pruebas a realizar. (Mellado Bosque, J. A. 2015)

5.2.7. Reciclaje de Residuos de Construcción y demolición

Proceso mediante el cual se procesan y transforman los residuos de construcción y demolición, para valorizar su potencial de reincorporación como materia prima o insumos para la obtención de nuevos productos. (Resolución 01115, 2012)

5.2.8. Tratamiento de Residuos de Construcción y Demolición

Conjunto de operaciones, procesos o técnicas mediante los cuales se modifican las características de los residuos de construcción y demolición, las cuales posibilitan la reincorporación del nuevo material a ciclos productivos. (Decreto 586, 2015)

5.3. Marco teórico

La elaboración del ladrillo convencional a base de arcilla consta de cinco etapas principales como se muestra a continuación.

	ETAPAS PRODUCCIÓN LADRILLO	IMPACTO Y DETERIORO
1	EXTRACCIÓN MATERIA PRIMA	Impacto ambiental, destrucción ecosistema sin opción de renovar
2	PREPARACIÓN Y MOLDEO	Consumo de energía
3	SECADO	Fuga de gases e impacto
4	COCCIÓN	Calentamiento, gasto de energía y alta producción de gases
5	PRODUCTO TERMINADO	Distribución, consumo gasolina e impacto ambiental, saturación de los espacios verdes en la ciudad

Figura 1. *Elaboración del ladrillo no convencional.*

Fuente: (Ocampo, 2012)

La extracción de materia prima es el proceso donde se realizan las operaciones mineras de arranque, cargue y transporte del mineral (arcilla) al lugar donde se realiza el beneficio o maduración de la misma, junto con otras operaciones auxiliares. Se realiza de manera superficial, a cielo abierto, por intermedio de automotores que se utilizan varios días de la semana. Esto a su vez, genera un impacto ambiental desmedido, ya que se extrae del subsuelo, sin compensar de forma alguna el impacto generado, siendo este el mayor problema en la elaboración de los ladrillos.

Para el segundo ciclo industrial, se presenta el preparado y moldeo. La materia prima ya mezclada se carga desde la excavadora, a la máquina trituradora primaria para separarla en piezas pequeñas que son molidas en partículas finas por medio de un molino de rodillos; este funciona, en su gran mayoría, con luz. Un alimentador de caja coloca una cantidad específica de arcilla molida dentro de la mezcladora; se le añade agua (otro elemento indispensable, pero que hace parte del deterioro y consumo de ecosistemas) hasta obtener una textura adecuada; además de ser moldeada en columnas rectangulares largas que en su momento dan la forma del ladrillo, estas son cortadas por alambres muy finos dando la medida.

Para el secado se retira gran parte de la humedad del mismo, esto se realiza, bien sea por aireación natural o artificial por hornos.

La cocción es la etapa de mayor impacto en la elaboración del ladrillo, puesto que deben estar expuestos a temperaturas muy elevadas para poder llevar a feliz término el procedimiento, lo que hace que se consuma mucha energía, se liberen gases tóxicos y se usen grandes cantidades de combustibles orgánicos. El proceso finaliza con la etapa de transformación, correspondiente a la cocción o quema del producto en hornos de tipo colmena. (Ocampo, 2012)

El producto final es implementado en la construcción de viviendas, áreas comunes, senderos peatonales, fachadas, entre otros. Sin embargo, este tipo de material no es aprovechado en su totalidad

debido a las actividades propias de construcción, remodelación, rehabilitación, reforma, demolición y mantenimiento de edificios o infraestructuras, generando residuos de construcción y demolición (RCD). Los RCD están constituidos por tierras y áridos mezclados, piedras, restos de hormigón, ladrillos, cristales, restos de pavimentos, asfálticos, materiales refractarios, plásticos, yesos y maderas. La generación de estos RCD aumenta como consecuencia del crecimiento urbano (Bravo, 2010).

Para efecto de un adecuado manejo, la Secretaría Distrital de Ambiente desarrolló una clasificación de los RCD.

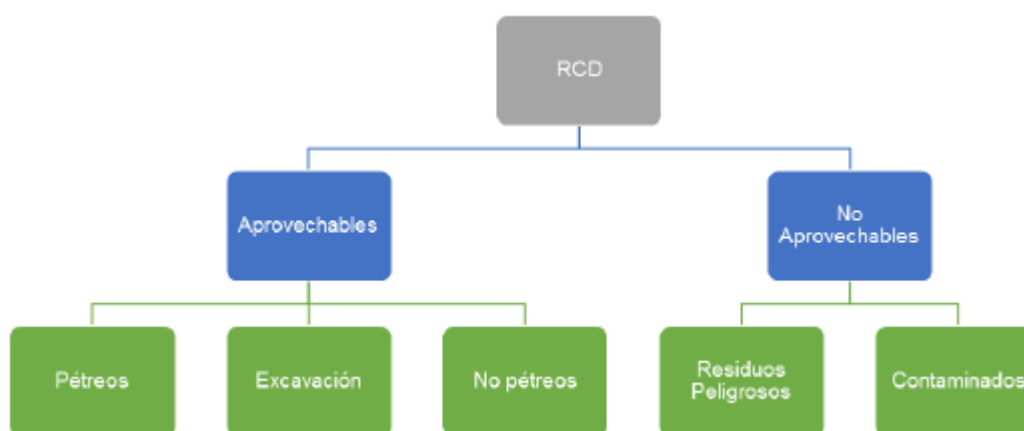


Figura 2. Clasificación de los RCD
Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente, 2016.

- *Pétreos*. Residuos de hormigón, arenas, gravas, gravillas, trozos de ladrillos y bloques, cerámicas, sobrantes de mezcla de cementos y concretos, principalmente.
- *Excavación*. Tierras negras, arcillas, bentonitas y similares.
- *No pétreos*. Vidrios, aceros, hierros, madera, plásticos, metales, cartones, yesos, dry Wall.
- *Residuos peligrosos*. Contienen alguno de los residuos o sustancias tratados en los anexos del Decreto Nacional 4741 de 2005 como lo son el amianto, asbesto, cemento, electrónicos, biosanitarios, entre otros.
- *Contaminantes*. Cuando por alguna circunstancia relacionada con el inadecuado manejo de los RCD éstos se contaminan entran en la categoría de residuos contaminados, pues no son susceptibles de aprovechamiento. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2016)

A través del reciclaje de los RCD se obtienen nuevos áridos que pueden ser reutilizados y comercializados como materiales constructivos completos. Con mínimas transformaciones se puede obtener: hormigón, rellenos de canteras, ladrillos, gravas para jardines, bases y sub-bases de pavimentos para carreteras, entre otros. La reutilización de estos materiales no solamente reporta ventajas medioambientales sino también económicas. Esta actividad también contribuye a frenar la sobreexplotación de áridos naturales y de canteras (Bravo, 2010).

Es imperante la necesidad de ordenar y mejorar la actual gestión y valorización de los residuos de un sector que genera alrededor de 800 m³ por persona y año, (los residuos urbanos se sitúan en aproximadamente 525 m³ por persona y año) y que todavía, de forma mayoritaria, van a parar a los vertederos controlados e incontrolados, según datos del Ministerio de Medio Ambiente

correspondientes a los años 2005 y 2004 en España. Las opciones ambientalmente más recomendables son la reutilización y el reciclaje. (Cuchí & Sagrera, 2007).

La reutilización y el reciclaje de los residuos de la construcción a lo largo del ciclo de vida de los edificios y las infraestructuras es una de las estrategias fundamentales para alcanzar la sostenibilidad en este sector. Y para ello, el concepto de “residuo” debería tender a desaparecer y dejar paso a la consideración de este flujo de materiales como un “recurso”. (Cuchí & Sagrera, 2007)

La manera más opcional de reciclaje de estos residuos es la fabricación de nuevos elementos constructivos que contribuyan a la construcción sostenible. El término de construcción sostenible pretende conceptualmente racionalizar, ahorrar, conservar y mejorar. A grandes rasgos los requisitos que deben cumplir los edificios sostenibles incluyen un consumo racional de la energía y del agua a lo largo de su ciclo de vida, la utilización de materiales no dañinos con el medio ambiente y materiales de las tres “R” (reducir, reutilizar, reciclar), la minimización de residuos durante la construcción y el ciclo de vida, el uso racional del suelo e integración natural en el entorno o la satisfacción de las necesidades presentes y futuras de los usuarios / propietarios. (Ramírez, 2002)

Entre las ventajas que presenta la construcción sostenible está la opción de obtener una acreditación LEED, el sistema LEED, acrónimo en inglés de “Liderazgo en Diseño Energético y Ambiental”, el cual consiste en la evaluación del acabado de una construcción según seis criterios principales: sostenibilidad, eficiencia en el aprovechamiento del agua, energía e impacto atmosférico, materiales y recursos empleados, calidad del ambiente interior e innovación y proceso de diseño. Específicamente dentro de la sección de Materiales y Recursos (MR), en lugar de decir que un producto es bueno o malo en función de un atributo, por ejemplo: contenido reciclado.

El uso eficiente de la energía es el valor que más puntúa en la certificación LEED. Una construcción que siga el tipo de certificado LEED, comparada con la otra convencional, reduce entre el 30% y el 70% de consumo de energía, del 30% al 50% el consumo de agua, entre el 50% y el 90% del coste de los residuos y aproximadamente el 35% de las emisiones de dióxido de carbono. (Portela, Huertas, Manuel, & Pastor, 2010).

LEED permite a los equipos de proyectos tener un dialogo más sólido con los fabricantes acerca de la optimización de los impactos ambientales, sociales y de salud y una mejor comprensión de las compensaciones. Esta categoría está diseñada para considerar todo el ciclo de vida del edificio, desde la extracción y la fabricación, hasta el transporte, operaciones y el mantenimiento, y finalmente la vida útil. (LEED, s.f.).

Para contribuir a un desarrollo sostenible, equilibrado y compatible con la conservación del medio natural, es preciso aplicar herramientas que contribuyan a la gestión ambiental, aplicando principios de prevención y/o corrección de los deterioros causados al ambiente y potenciando los impactos positivos, siendo la evaluación del impacto ambiental un instrumento que permite determinar estas alteraciones para su gestión posterior (SDA, 2013)

5.4. *Marco normativo*

Como punto de partida está la Constitución Política de 1991 del cual se derivan las normas y políticas relacionadas con el proyecto investigativo. Entre las que se encuentra la Política Nacional de

producción más Limpia la cual establece las causas del deterioro ambiental en Colombia y la manera que se pueden minimizar estos impactos introduciendo la dimensión ambiental en los sectores productivos, de igual manera se encuentran algunas resoluciones y decretos relacionadas con la gestión de los RCD en Bogotá. Por último, se tiene la Norma Técnica Colombiana 4026 que establece los requisitos técnicos que deben cumplir el ladrillo no convencional y la norma internacional ASTM C67 que establece el método para la determinación del porcentaje de absorción del ladrillo.

Tabla 1. *Normatividad relacionada.*

Norma	Descripción	Reglamentado por
Constitución política de 1991.	Es el conjunto de reglas que establece la forma que debe ser el comportamiento de todos los colombianos para que exista bienestar y se pueda vivir en paz.	Asamblea Nacional Constituyente.
Ley 99 de 1993.	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental SINA y se dictan otras disposiciones.	Congreso de Colombia.
Política Nacional de Producción más Limpia.	Se define la producción más limpia como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada en los procesos productivos, los productos y los servicios, para reducir los riesgos relevantes a los humanos y al ambiente.	Ministerio de Medio Ambiente – Consejo Nacional Ambiental.
Resolución 01115 de 2012.	Por medio de la cual se adoptan los lineamientos técnico-ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción y demolición en el distrito capital	Secretaría Distrital de Ambiente Bogotá D.C
Decreto 586, 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	Secretaría Distrital de Ambiente Bogotá D.C
Proyecto Ley No. 210 de 2016.	Se establecen los lineamientos para la formulación de la Política Nacional de Construcción Sostenible, se otorgan beneficios e incentivos para su fomento e implementación y se dictan otras disposiciones	Congreso de Colombia.
ASTM C67.	Métodos de prueba estándar para Muestreo y prueba de ladrillo y arcilla estructural	American Society of Testing Materials
NTC 4026.	Unidades (bloques y ladrillos) de concreto, para mampostería estructural.	ICONTEC

Fuente: Autores, 2018.

De acuerdo a la tabla anterior se observa que existe una serie de esfuerzos por parte del gobierno colombiano por implementar una política que permita diseñar y construir de manera segura con materiales reciclables y renovables, con procesos de uso eficiente de energía. De igual modo busca conservar una vida útil de los materiales a utilizar, que se acomoden fácilmente a las necesidades sociales presentes y futuras, generando un hábito de vida sostenible. Es importante resaltar la existencia de una cantidad considerable de normas técnicas que permiten tener una confiabilidad al momento de realizar la implementación del elemento constructivo en obra..

5.5. Marco geográfico

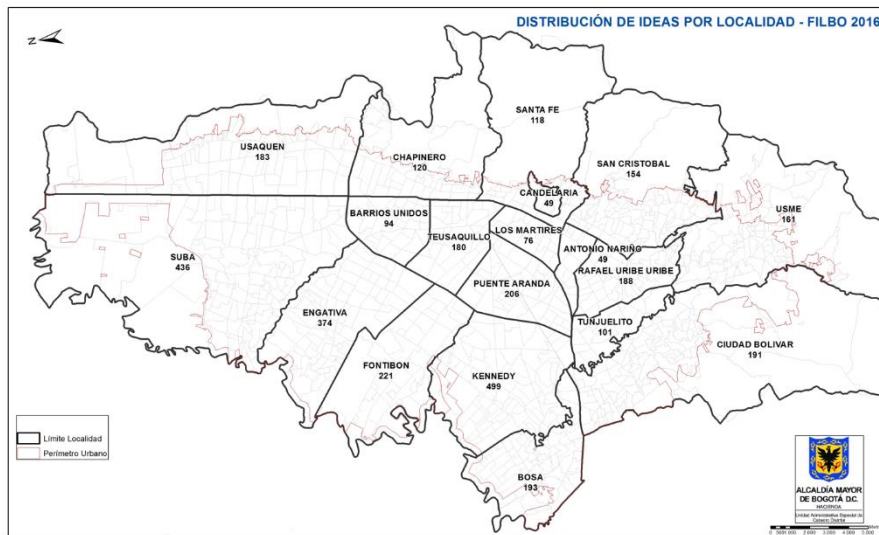


Figura 3. Mapa de la ciudad de Bogotá D.C.

Fuente: Google imágenes, 2018.

Bogotá está ubicada en el Centro del país, en la cordillera oriental, la capital del país tiene una extensión aproximada de 33 kilómetros de sur a norte y 16 kilómetros de oriente a occidente y se encuentra situada en las siguientes coordenadas: Latitud Norte: 4° 35'56" y Longitud Oeste de Greenwich: 74°04'51". Está dentro de la zona de confluencia intertropical, produciendo dos épocas de lluvia; en la primera mitad del año en los meses de marzo, abril y mayo y en la segunda en los meses de septiembre, octubre y noviembre. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2017)

El DANE junto con la Secretaría de Planeación en sus proyecciones poblacionales estima que para el año 2018 Bogotá cuenta con una población de 8'181.047. Las localidades que mayor población representan es Suba con 1'315.509 habitantes (16,08%) y Kennedy con 1'230.539 habitantes (15,04%) (Secretaría de Planeación, s.f.).

La fabricación del ladrillo no convencional se realizó en las instalaciones de la Universidad El Bosque ubicada en la Av. Cra 9 No. 131 A - 02. Se escogió este lugar por cuestiones de espacio, disponibilidad del laboratorio, disponibilidad de instrumentos y reactivos.

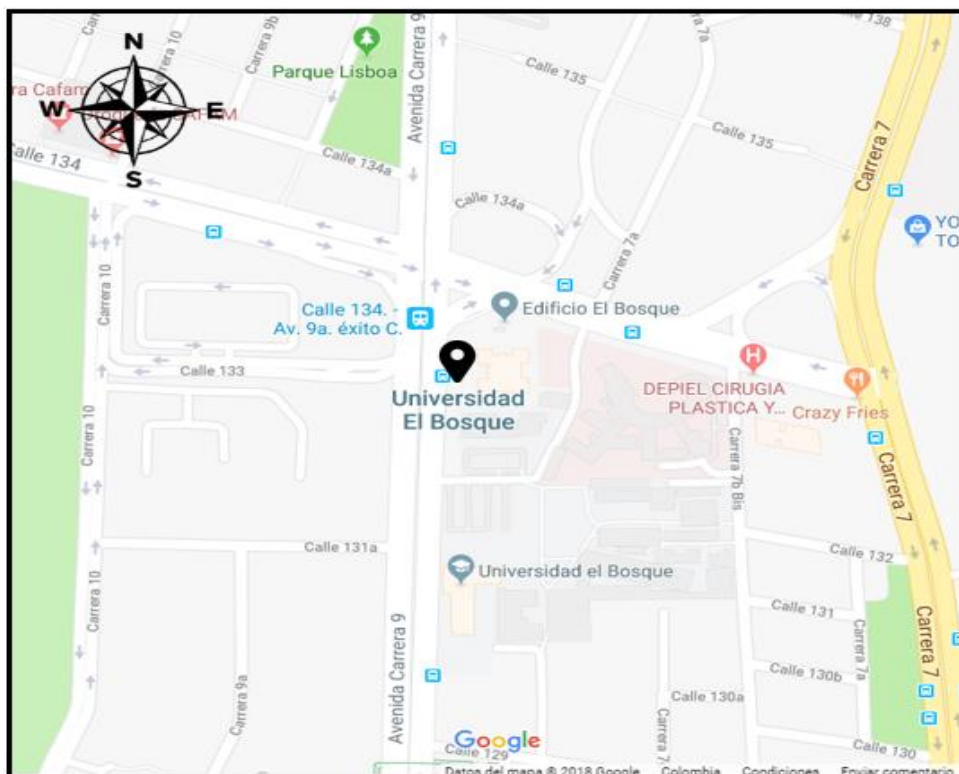


Figura 4. Ubicación Universidad El Bosque - Sede Usaquén.
Fuente: Google Maps, 2018.

6. Metodología

6.1. Diseño metodológico

6.1.1. Enfoque de la investigación

Cuantitativo. El enfoque cuantitativo representa un conjunto de procesos que son secuenciales y probatorios. Cada etapa precede de la siguiente y no se pueden eludir de pasos, con este enfoque se busca describir, explicar, comprobar y predecir fenómenos, además generar y probar teorías (Sampieri, 2014). En relación con el proyecto de investigación se buscó describir y cuantificar las propiedades físicas del ladrillo como el porcentaje de absorción, lo anterior con el fin de comparar con la norma técnica colombiana.

6.1.2. Métodos de la investigación

Experimental puro. De acuerdo con Sampieri (2014), este método es el que maneja una o varias variables independientes para observar sus cambios en las variables dependientes en una situación de control. En otras palabras, el método experimental puro pretende establecer el posible efecto de una causa que se manipula.

De acuerdo con lo anterior, la manipulación de la composición del ladrillo influye de manera directa las propiedades físicas del ladrillo no convencional.

6.1.3. Variables de análisis

Las variables de análisis son requeridas para poder evaluar las características en la fabricación del ladrillo no convencional. De acuerdo con esto, las variables son:

Variable dependiente:

- Prototipo de ladrillo no convencional.

Variable independiente:

- Composición de materiales utilizados, materia prima que contiene cemento Portland y arena amarilla y contenido de RCDs como ladrillo triturado y PVC triturado.

6.1.4. Alcance de la investigación

Descriptivo. Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, características, procesos y objetos que se sometan a un análisis. Es decir, pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o variables a las que se refieren (Sampieri, 2014). A partir del análisis de laboratorio realizado al ladrillo no convencional se recogió información para describir sus propiedades físicas y conocer el impacto ambiental que tiene el proceso de fabricación.

Correlacional. Este alcance tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto particular (Sampieri, 2014). En este caso se pretende analizar la relación de los componentes del ladrillo y cómo las variaciones de las concentraciones de estos influyen en sus propiedades físicas.

6.1.5. Unidad de análisis

Partiendo del objetivo general “Evaluar una alternativa de ladrillo no convencional usando RCD desde el impacto ambiental y su aplicación en la construcción sostenible.” Se considera como unidad de análisis el ladrillo no convencional, dado que se varía los porcentajes de su composición para su debida elaboración.

6.1.6. Diseño de la investigación

De acuerdo con el método de investigación del proyecto se diseñaron seis muestras de diez unidades, cada una con variaciones en la composición para la fabricación del ladrillo no convencional. Las dos últimas muestras fueron activadas alcalinamente con hidróxido de sodio (NaOH) 2.5 M. En la muestra 5 se agregó la solución de NaOH en temperatura ambiente, mientras en la muestra 6 la solución de NaOH se agregó en caliente. Para diferenciar estas muestras en la tabla de composición se resaltaron con color amarillo.

Tabla 2. Composición de muestras por porcentaje peso a peso.

COMPOSICIÓN LADRILLO NO CONVENCIONAL					
MUESTRA	MATERIAL		RCD's		TOTAL
	ARENA	CEMENTO PORTLAND	PVC	LADRILLO	
1	25%	25%	20%	30%	100%
2	25%	25%	30%	20%	100%
3	20%	20%	20%	40%	100%
4	20%	20%	30%	30%	100%
5	20%	20%	30%	30%	100%
6	25%	25%	20%	30%	100%

Fuente: Autores, 2018.

Tabla 3. Composición de muestras por masas.

COMPOSICIÓN LADRILLO NO CONVENCIONAL																		
MUESTRA	MATERIAL						RCD's						AGUA DESTILADA (mL)			HIDRÓXIDO DE SODIO (NaOH) (mL)		
	ARENA (g)			CEMENTO PORTLAND (g)			LADRILLO (g)			PVC (g)								
	CANTIDAD (g)	UNIDADES	TOTAL (g)	CANTIDAD (g)	UNIDADES	TOTAL (g)	CANTIDAD (g)	UNIDADES	TOTAL (g)	CANTIDAD (g)	UNIDADES	TOTAL (g)	CANTIDAD (mL)	UNIDADES	TOTAL (mL)	CANTIDAD (mL)	UNIDADES	TOTAL (mL)
1	63.5	10	635	63.5	10	635	76.2	10	762	50.8	10	508	60	10	600	-	-	-
2	63.5	10	635	63.5	10	635	50.8	10	508	76.2	10	762	60	10	600	-	-	-
3	50.8	10	508	50.8	10	508	101.6	10	1016	50.8	10	508	48	10	480	-	-	-
4	50.8	10	508	50.8	10	508	76.2	10	762	76.2	10	762	48	10	480	-	-	-
5	50.8	10	508	50.8	10	508	76.2	10	762	76.2	10	762	30	10	300	30	10	300
6	63.5	10	635	63.5	10	635	76.2	10	762	50.8	10	508	30	10	300	30	10	300

Fuente: Autores, 2018.

Tabla 4. *Total de material utilizado.*

TOTAL POR MATERIAL		
MATERIAL	TOTAL (g)	TOTAL (mL)
ARENA	3.429	-
CEMENTO	3.429	-
PVC	3.810	-
LADRILLO	4.572	-
AGUA DESTILADA	-	2.760
HIDRÓXIDO DE SODIO (NaOH)	-	600

Fuente: Autores, 2018.

6.1.7. Variables, técnicas e instrumentos de recolección, organización y sistematización de datos

6.1.7.1. *Objetivo específico No.1: Elaborar prototipo de ladrillo no convencional usando RCD.*

Previamente a la elaboración del ladrillo no convencional se requirió hacer una búsqueda bibliográfica de trabajos relacionados con la reutilización de RCD's en la fabricación de nuevos elementos constructivos, este mismo criterio se utilizó para la elaboración del estado del arte. Como fuente de información se accedió a una biblioteca electrónica nombrada SciELO la cual incluye una amplia colección de revistas científicas entre las que se encuentran Ingeniería y Desarrollo, Ingeniería y Ciencia y Facultad de Ingeniería, las cuales por medio de la publicación de artículos científicos contribuyeron a la obtención de información. También se usaron otras herramientas de búsqueda como ResearchGate y ScienceDirect, estas plataformas ofrecen acceso gratuito a artículos de revistas científicas a nivel global.

Posteriormente se establecieron los residuos a trabajar, siendo el ladrillo de arcilla y el PVC los seleccionados. El ladrillo de arcilla se escogió por ser uno de los RCD de mayor generación en Bogotá con un aproximado de 338,538 Ton/año (Chavez, León, & Guarín, 2014) adicionalmente por contar con una buena resistencia mecánica, por su parte el PVC se eligió por su característica de impermeabilidad que se buscaba obtener en el ladrillo no convencional.

Los RCD (PVC y ladrillo) fueron recolectados del proyecto residencial Gran Reserva de Oporto – Cusezar S.A ubicado en la ciudad de Bogotá en la calle 26 No. 70-51 situado en la zona urbanización centro empresarial El Salitre.

Una vez obtenidos los RCD se procedió en primera instancia a triturar el PVC por medio de un molino de cuchillas y fue filtrado mediante un tamiz de manera tal que se obtuvieran un tamaño de partículas uniforme (2.5 mm aproximadamente). En segunda instancia se trituró el ladrillo empleando un molino de bolas obteniendo trozos entre 2 mm y 3mm. Se utilizó como mezcla cemento Portland tipo I marca Argos y arena amarilla.

Posteriormente se establecieron las variaciones de porcentajes en la composición (*ver tabla 2*) donde las dos últimas variaciones fueron activadas alcalinamente con hidróxido de sodio (NaOH) con concentración 2,5 M, esto con el objetivo de darle una mayor resistencia mecánica al ladrillo acorde a lo expuesto por Torres-Carrasco & Puertas (2017).

Los moldes fueron elaborados en madera con medidas de 10cm x 5cm x 3cm (largo x ancho x alto) para cada ladrillo. Una vez vertida la mezcla en los moldes se sometió a vibración manual para mejorar su compactación. El proceso de curado se llevó a cabo durante los ocho días siguientes y se desmoldaron al octavo día.

6.1.7.2. *Objetivo específico No. 2: Analizar las características físicas del ladrillo no convencional.*

Las características físicas evaluadas del ladrillo no convencional fueron, porcentaje de absorción de agua, morfología superficial y densidad.

Para realizar la caracterización morfológica de la superficial de la muestra de los seis tipos de ladrillo se utilizó la microscopía óptica con un microscopio digital portable Celestron LCD, esta técnica se basa en análisis superficial, que consiste en enfocar sobre una muestra obteniendo imágenes con resolución de 3 megapíxeles con un acercamiento de 3.7x hasta 54x.

El porcentaje de absorción se determinó según lo establecido por la norma internacional ASTM C67 donde cada muestra se pesó seca por triplicado, se sumergió en agua destilada durante 24h, posteriormente la muestra se retiró, se secó y limpió su superficie y nuevamente se pesó por triplicado. Este proceso se repitió 48h después. Este proceso se hizo por triplicado con cada uno de los seis tipos de muestra de este estudio para mantener la confiabilidad estadística de los resultados con un límite de confianza de 95 %.

Mediante la siguiente fórmula se calculó el porcentaje de absorción.

Ecuación 1. *Porcentaje de absorción.*

$$\% \text{ absorción} = \frac{(W_s - W_d)}{W_d} \times 100$$

Donde:

W_s = peso de la muestra seca.

W_d = peso de la muestra saturada.

Se calculó la densidad de las muestras mediante el principio de Arquímedes, donde se determinó las masas con la balanza de precisión y posteriormente la densidad usando una probeta con agua, se consideró el volumen desplazado como el volumen de la muestra. Teniendo esos dos valores se dividió la masa sobre el volumen. Este valor se obtuvo con el promedio de dos prototipos por muestras para establecer la receptibilidad de la determinación experimental de la propiedad.

Ecuación 2. *Cálculo de la densidad*

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Donde:

m= Masa

v= Volumen

6.1.7.3. *Objetivo específico No. 3: Realizar la evaluación de impacto ambiental en el proceso de elaboración del ladrillo no convencional para proponer su aplicabilidad en la construcción sostenible.*

El impacto ambiental durante el proceso de fabricación del ladrillo no convencional fue evaluado por medio de la matriz Conesa, esta metodología fue propuesta por Vicente Conesa Fernandez-Vitora en 1997.

Esté método de evaluación permite determinar el impacto ambiental de cualquier actividad en el proyecto, considerando contener la mayor información de los atributos por impacto generado, logrando así una valorización más real.

Para el cumplimiento de la metodología propuesta fue necesario desarrollar en primera instancia la identificación de impactos, que consistió en identificar las actividades necesarias para el desarrollo del proyecto con los componentes ambientales dispuestos a adquirir un impacto. Debido a esto, permitió reconocer e informar los diferentes impactos que tuvo el proyecto, seguidamente, lograr la valorización de cada uno de ellos. En este caso los impactos positivos se identificaron en color verde y los impactos negativos en color rojo.

Para calcular la evaluación cuantitativa de los impactos generados del proyecto se realizó mediante la ecuación para el cálculo de la importancia (I) el cual toma valores entre 13 y 100 y consta de 11 variables.

Ecuación 3. *Cálculo de Importancia*

$$I = \pm[3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$$

Donde:

$\pm$ = Naturaleza del impacto.

I = Importancia del impacto.

IN = Intensidad del impacto.

EX = Extensión o área de influencia del impacto.

MO = Momento o tiempo entre la acción y la aparición del impacto.

PE = Persistencia o permanencia del efecto provocado por el impacto.

RV = Reversibilidad

SI = Sinergia o reforzamiento de dos o más efectos simples.

AC = Acumulación o efecto de incremento progresivo.

EF = Efecto (directo o indirecto)

PR = Periodicidad

MC = Recuperabilidad o grado posible de reconstrucción por medios humanos.

A continuación, se explica en mayor detalle a qué hace referencia cada una de estas variables según Conesa (2010).

Naturaleza del impacto ($\pm$). El signo del impacto hace alusión al carácter beneficioso (+) o perjudicial de las distintas acciones que van a actuar sobre los distintos factores considerados. El impacto se considera positivo cuando el resultado de la acción sobre el factor ambiental considerado produce una mejora de la calidad ambiental de este último. El impacto se considera negativo cuando el resultado de la acción produce una disminución de la calidad ambiental del factor ambiental considerado.

Intensidad del impacto (IN). Este término se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor, en el ámbito específico en que actúa. Expresa a su vez el grado de destrucción del factor considerado en el caso en que se produzca un efecto negativo, independientemente de la extensión afectada. Puede producirse una destrucción muy alta, pero en una extensión muy pequeña.

Extensión (EX). Es el atributo que refleja la fracción del medio afectada por la acción del proyecto. Se refiere, en sentido amplio, al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto en que se sitúa el factor.

Momento (MO). El plazo de manifestación del impacto alude al tiempo (t_m) que transcurre entre la aparición de la acción (t_0) y el comienzo del efecto (t_j) sobre el factor del medio considerado. El impacto será de manifestación inmediata cuando el tiempo transcurrido entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sea nulo, asignándole un valor (4). El impacto será de manifestación a corto plazo cuando el tiempo transcurrido entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sea inferior a un año, asignándole un valor (3). Si es un periodo de tiempo que va de 1 a 10 años, medio plazo (2) y si el efecto tarda en manifestarse más de 10 años es decir largo plazo, se le asigna valor de (1).

Persistencia o duración (PE). Se refiere al tiempo que supuestamente permanecería el efecto desde su aparición y, a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción. El Impacto temporal permanece sólo por un tiempo limitado, haya finalizado o no la acción. Mientras que el impacto permanente no cesa de manifestarse de manera continua, durante un tiempo ilimitado. Cuando la permanencia del efecto, por la circunstancia que sea es mínima o nula el efecto se considera efímero o fugaz.

Si la permanencia del efecto tiene lugar durante menos de un año, se considera que la acción produce un efecto momentáneo asignándole un valor de (1). Si dura entre 1 y 10 años, temporal propiamente

dicho o transitorio (2); y si permanece entre 11 y 15 años, persistente, pertinaz o duradero (3). Si la manifestación tiene una duración superior a los 15 años se considera el efecto como permanente o estable asignándole un valor de (4).

Reversibilidad (RV). Se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado por el proyecto, es decir la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales, una vez ésta deja de actuar sobre el medio. El impacto será reversible cuando el factor ambiental alterado puede retornar, sin la intervención humana a sus condiciones originales en un periodo inferior a 15 años. Si es a corto plazo, se le asigna un valor (1), si es a medio plazo (2), y a largo plazo (3). El impacto será irreversible cuando el factor ambiental alterado no puede retornar, sin la intervención humana, a sus condiciones originales en un periodo inferior a 15 años.

Recuperabilidad (MC). Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado como consecuencia del proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación por medio de la intervención humana, o sea, mediante la introducción de medidas correctoras y restauradoras.

Sinergia (SI). La sinergia se refiere a la acción de dos o más causas cuyo efecto es superior a la suma de los efectos individuales. Este atributo contempla el reforzamiento de dos o más efectos simples. Por ejemplo, una persona puede asimilar cierto nivel de contaminación atmosférica por polvo, pero si simultáneamente está expuesta a otros contaminantes como el SO₂, el riesgo de que contraiga una enfermedad respiratoria se incrementa sustancialmente.

Acumulación (AC). Este atributo da idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera. Cuando una acción se manifiesta sobre un solo componente ambiental, o cuyo modo de acción es individualizado, sin consecuencias en la inducción de nuevos efectos, ni en la de su acumulación ni en la de su sinergia, nos encontramos ante un caso de acumulación simple, valorándose como (1). Cuando una acción al prolongarse en el tiempo, incrementa progresivamente la magnitud del efecto, al carecer el medio de mecanismos de eliminación con efectividad temporal similar a la del incremento de la acción causante del impacto, estamos ante una ocurrencia acumulativa, incrementándose el valor a (4).

Efecto (EF). Este atributo se refiere a la relación causa-efecto, o sea a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción. El efecto puede ser directo o primario, siendo en este caso la repercusión de la acción consecuencia directa de ésta. Los impactos son directos cuando la relación causa a efecto es directa, sin intermediaciones anteriores. Así por ejemplo el movimiento de tierras genera fuertes efectos erosivos, o dicho en otras palabras impactos significativos en épocas de lluvias. Se dice que los impactos son indirectos cuando son producidos por un impacto anterior, que en este caso, actúa como agente causal. El impacto indirecto forma parte de una cadena de reacciones.

Periodicidad (PR). Se refiere a la regularidad de manifestación del efecto, bien sea de manera continua (acciones que lo producen permanecen constantes en el tiempo), o discontinua (acciones que lo producen actúan de manera regular (intermitente), o irregular o esporádica en el tiempo. Se considera la periodicidad discontinua es periódica, cíclica o intermitente, cuando los plazos de manifestación presentan una regularidad y una cadena establecida. Se califica la periodicidad como aperiódica o irregular propiamente dicha, cuando la manifestación discontinua del efecto se repite en

el tiempo de una manera irregular e imprevisible sin cadencia alguna. Se supone esporádica o infrecuente cuando la acción que produce el efecto, y por tanto su manifestación, son infrecuentes, presentándose con carácter excepcional.

Importancia del impacto (I). La importancia del impacto, o sea, la importancia del efecto de una acción sobre un factor ambiental, es la estimación del impacto en base al grado de manifestación cualitativa del efecto. (Conesa, 2010)

Los valores que pueden tomar cada una de las variables para el desarrollo de la ecuación de la importancia del impacto (I) se resumen en el siguiente cuadro.

Tabla 5. Valor de la Importancia del impacto.

IMPORTANCIA DEL IMPACTO					
NATURALEZA		INTENSIDAD (IN)		MOMENTO (MO)	
ASPECTO	VALOR	ASPECTO	VALOR	ASPECTO	VALOR
Impacto beneficioso	+	Baja o mínima	1	Largo plazo	1
		Media	2	Medio plazo	2
		Alta	4	Corto plazo	3
Impacto perjudicial	-	Muy alta	8	Inmediato	4
		Total	12	Critico	(+4)
EXTENSIÓN (EX)		REVERSIBILIDAD (RV)		ACUMULACIÓN (AC)	
ASPECTO	VALOR	ASPECTO	VALOR	ASPECTO	VALOR
Puntual	1	Corto Plazo	1	Simple	1
Parcial	2	Medio Plazo	2		
Amplio o extenso	4	Largo Plazo	3	Acumulativo	4
Total	8	Irreversible	4		
Critico	12				
PERSISTENCIA (PE)		SINERGIA (SI)		EFECTO (EF)	
ASPECTO	VALOR	ASPECTO	VALOR	ASPECTO	VALOR
Fugaz o Efímero	1	Sin sinergismo o Simple	1	Indirecto o Secundario	1
Momentaneo	1	Sinergismo moderado	2		
Temporal o Transitorio	2				
Pertinaz o Persistente	3	Muy sinérgico	4	Directo o Primario	4
Permanente y Constante	4				
PERIODICIDAD (PR)		RECUPERABILIDAD (MC)		IMPORTANCIA (I)	
ASPECTO	VALOR	ASPECTO	VALOR	Grado de manifestación	
Irregular (Aperiódico y esporádico)	1	Irregular (Aperiódico y esporádico)	1	$I = \pm (3 \text{ IN} + 2 \text{ EX} + \text{MO} + \text{PE} + \text{RV} + \text{SI} + \text{AC} + \text{EF} + \text{PR} + \text{MC})$	
Periódico o de regularidad intermitente	2	Periódico o de regularidad intermitente	2		
Continuo	4	Continuo	4		

Fuente: Conesa, 2010.

Una vez se asignan los valores a todas las variables y se desarrolla la ecuación de importancia (I) los resultados se clasifican de la siguiente manera:

Los impactos con valores de importancia inferiores a 25 son irrelevantes. Los impactos moderados presentan una importancia entre 25 y 50. Serán severos cuando la importancia se encuentre entre 50 y 75 y críticos cuando el valor sea superior a 75 (Conesa, 2010).

Tabla 6. *Valores de importancia.*

IMPORTANCIA	VALOR
Irrelevantes	<25
Moderado	25 y 50
Severos	50 y 75
Críticos	> 75

Fuente: Conesa, 2010.

Teniendo en cuenta que se consideró además la certificación LEED se calculó el puntaje del material fabricado en la sección de materiales y recursos. Este puntaje se obtuvo de una calculadora en EXCEL descargada directamente desde la página oficial de LEED. En la calculadora se tienen en cuenta algunos criterios como el costo del material, el porcentaje de material reutilizado y la distancia recorrida desde el lugar de procedencia del material, vale la pena resaltar que este último criterio es de gran importancia, dado que, si el transporte del material requiere de grandes distancias, genera mayores emisiones de gases contaminantes y mayor consumo energético, lo que afecta su puntuación final.

6.1.8. Técnicas e instrumentos para el análisis de la información.

La recolección de información para la elaboración del ladrillo no convencional se elaboró mediante revisión bibliográfica seguido de diagramas de flujo para fabricación del producto. Con respecto al análisis de las características físicas y morfológicas, se consideró un análisis de microscopía óptica de superficie, densidad y determinación de porcentaje de absorción de acuerdo a la norma ASTM C67 y NTC 4026 que establecen métodos de prueba estándar para muestreo y prueba de ladrillo y arcilla estructural. Para la elaboración del estudio de impacto ambiental se tuvo en cuenta la matriz de impacto ambiental propuesta por Vicente Conesa Fernandez-Vitora, seguidamente detallando y analizando valores resultantes. Por último, se realizó la puntuación del material por medio de la calculadora LEED teniendo en cuenta la naturaleza del material, el porcentaje de valor reciclado y el origen del material.

En el Anexo II se evidencia la matriz metodológica que se realizó en el proyecto.

7. Plan de trabajo

7.1. Etapas y fases del proyecto

El plan de trabajo que se muestra enseguida representa las etapas y fases necesarios para el desarrollo del proyecto investigativo. En la figura 5 permite planear las actividades a realizar por cada uno de los objetivos específicos.

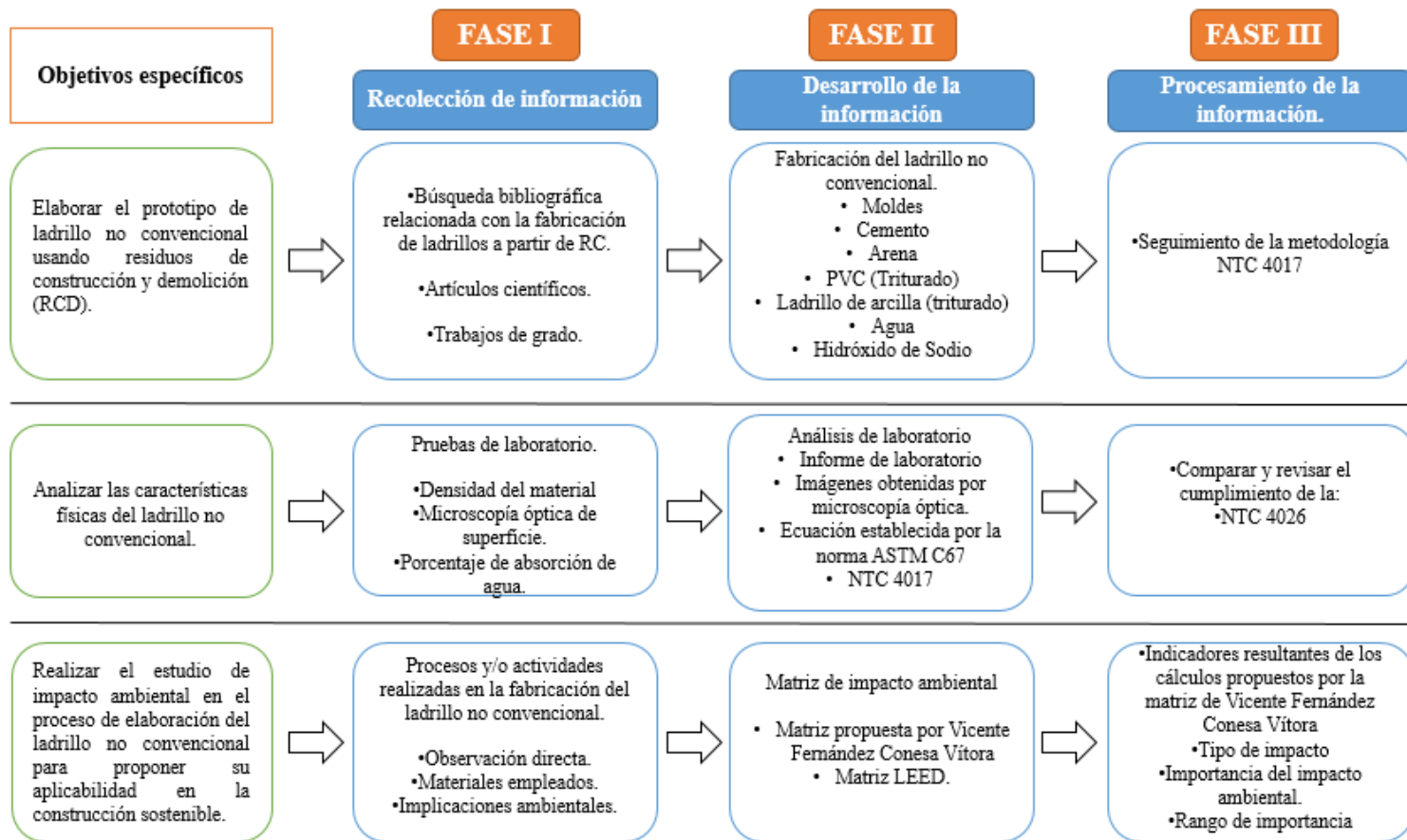


Figura 5. Etapas y fases del proyecto.
Fuente: Autores, 2018.

8. Resultados

8.1. Objetivo específico N°1: Elaborar el prototipo de ladrillo no convencional usando Residuos de Construcción y Demolición (RCD)

8.1.1. Recolección de RCD's

Como se mencionó anteriormente, los RCD's fueron recolectados de la obra residencial Gran Reserva de Oporto – Cusezar S.A. El tipo de ladrillo que se trabajó pertenece a la industria ladrillera Santafé y tiene como nombre “Ladrillo Prensado Liviano 6cm Cocoa”, el cual es utilizado comúnmente en la construcción de fachadas. Por otra parte, el PVC que se recolectó pertenece a las adecuaciones eléctricas de la obra y se caracteriza por su color verde. Se recolectó un aproximado de 25 kg de ladrillo y 18 kg de PVC para un total de 43 kg de residuos de construcción y demolición.



Figura 6. Recolección de ladrillo y PVC.
Fuente: Autores, 2018.

8.1.2. Trituración de RCD's

El proceso de trituración del ladrillo se realizó mediante un molino de bolas, debido a la falta de disponibilidad de equipos que hagan este proceso en Bogotá, fue necesario trasladar el material a Cagua-Cundinamarca donde finalmente se prestó el servicio de trituración.

El PVC se trituró por medio de un molino de cuchillas, la empresa J&M Plastics ubicada en el barrio Patio Bonito en Bogotá se encargó de realizar este proceso.



Figura 6. Trituración de RCD's.
Fuente: Autores, 2018.

8.1.3. Tamizado de PVC

Debido a que se obtuvieron tamaños de PVC muy variables, fue necesario tamizar para así obtener trozos más parejos y de esta manera garantizar un relleno más uniforme al momento de realizar las muestras.



Figura 7. Tamizado de residuo de PVC.
Fuente: Autores, 2018.

8.1.4. Fabricación de moldes

Los moldes se diseñaron en madera para facilitar el proceso de desmolde de los prototipos con medidas 10 cm x 5 cm x 3cm. En total se realizaron diez (10) moldes de seis (6) unidades cada uno, para un total de sesenta (60) prototipos. Es necesario precisar que estas medidas son la mitad de un ladrillo estándar. Teniendo en cuenta que el objetivo del proyecto investigativo consiste en evaluar el prototipo, sus medidas no cumplen un papel fundamental durante esta evaluación, de mantenerse las medidas estándares se habría requerido una gran cantidad de RCD's, lo cual habría dificultado su obtención, transporte y manipulación en el laboratorio.

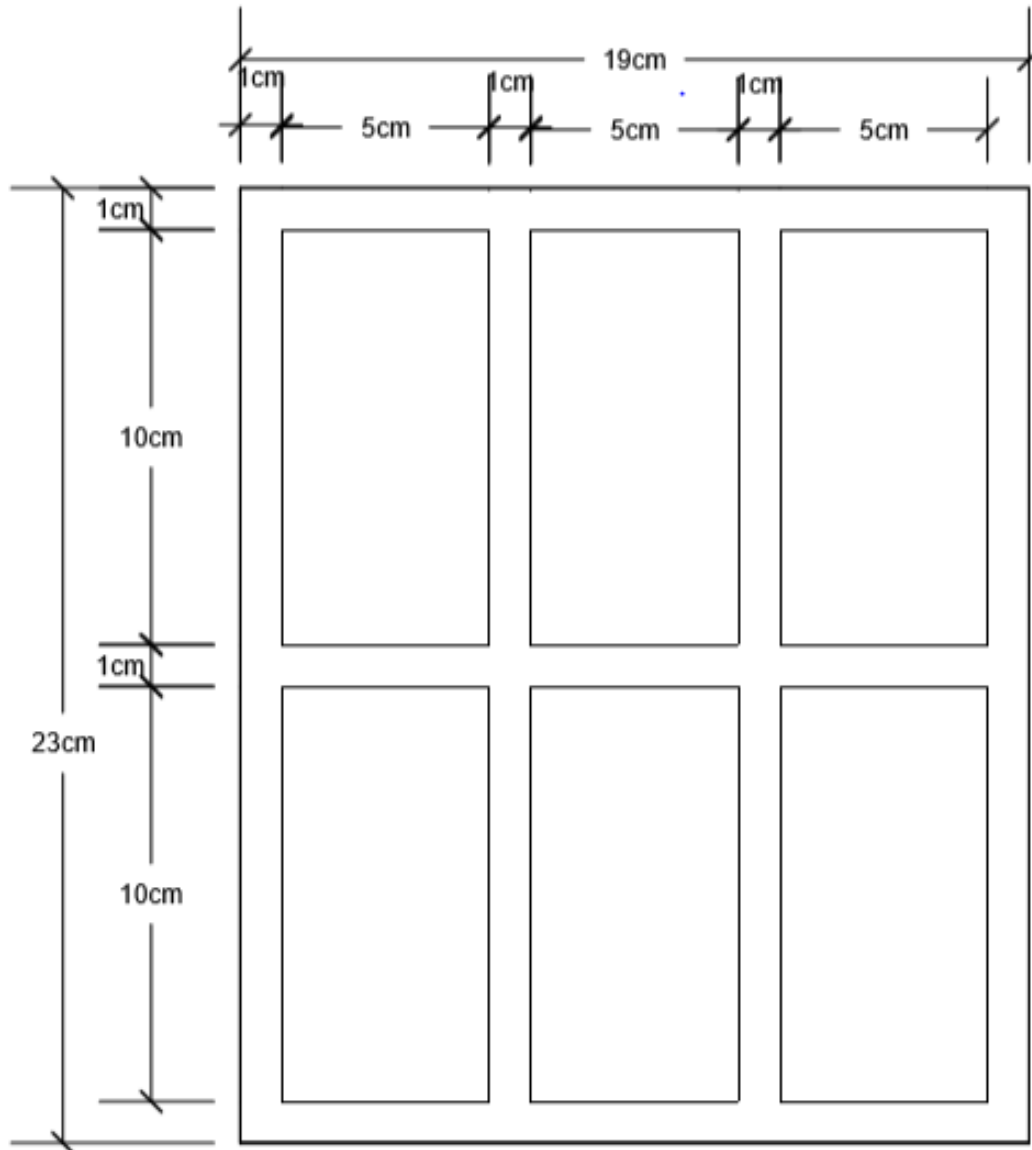


Figura 8. Diseño de los moldes para la elaboración de prototipos.
Herramienta utilizada: AutoCad.

Fuente: Autores, 2018.

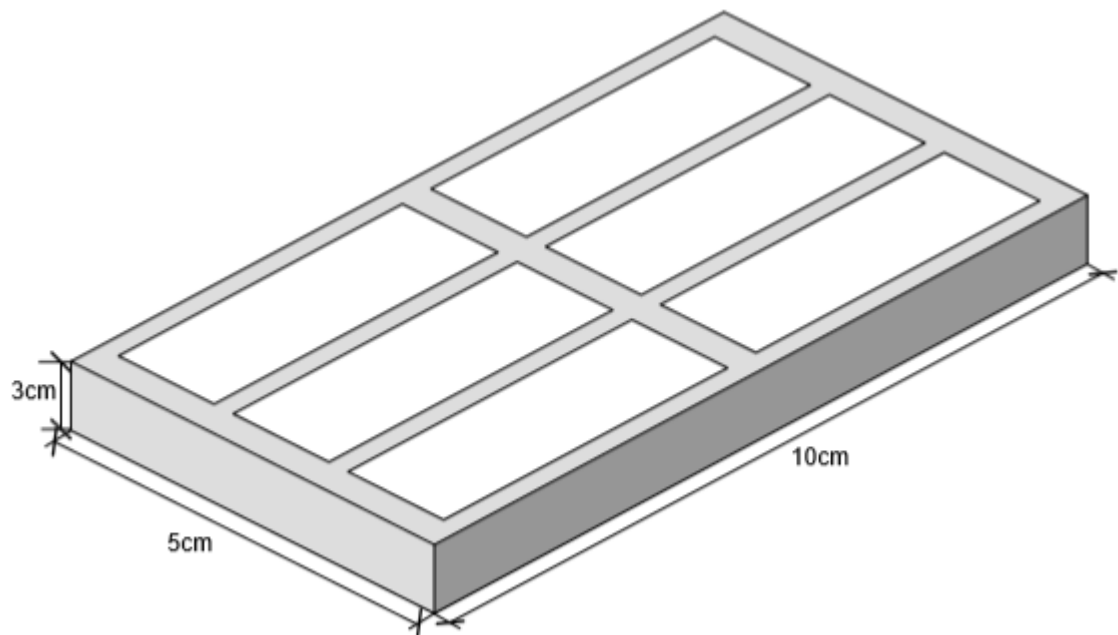


Figura 9. Diseño de molde 3D.
Herramienta utilizada: SketchUp

Fuente: Autores, 2018.

8.1.5. Determinación de masas de los componentes

Se determinó el peso de cada componente (Cemento, arena, PVC y ladrillo) para cada prototipo utilizando la balanza de precisión Ohaus PA3202 con máxima capacidad de 3.200 g y una incertidumbre de $\pm 0,01g$.

8.1.6. Mezclado

Se preparó la mezcla para cada prototipo, de esta manera se garantizó que los porcentajes de RCD's y mezcla se mantuvieran acorde a la tabla 2. Durante el mezclado se le agregó agua destilada.



Figura 10. *Mezclado de muestras.*
Fuente: Autores, 2018.

8.1.7. *Moldes con muestras*

Antes de verter la mezcla en los moldes, se humedeció la superficie con ACPM para conservar la integridad del ladrillo al momento del desmoldo. Adicionalmente, se marcaron todos los moldes con el respectivo número de muestra.



Figura 11. *Moldes con muestras*
Fuente: Autores, 2018.

8.1.8. Secado de muestras

Las muestras se ubicaron en el laboratorio de la Universidad El Bosque de tal manera que no tuvieran contacto directo con alguna fuente de humedad, ni tampoco que se pudiera ver comprometida su estructura por algún objeto externo. El curado de las muestras se realizó periódicamente agregando agua con un atomizador.



Figura 12. *Secado de muestras.*
Fuente: Autores, 2018.

8.1.9. Desmolde de muestras

El desmoldado de los prototipos se llevó acabo a los 8 días siguientes a su fabricación, se utilizó un martillo con el fin de facilitar el desprendimiento del prototipo al molde. En este proceso hubo pequeñas cantidades de pérdidas de masa. Tres (3) unidades se vieron comprometidas por fracturas en su estructura, una de ellas se quebró totalmente en este proceso.



Figura 13. *Desmolde de muestras*
Fuente: Autores, 2018.

8.1.10. Pesos de las muestras

Una vez desmoldadas la totalidad de las muestras, se pesó cada prototipo usando la balanza de precisión Ohaus PA3202 y se realizó un promedio de los diez (10) prototipos por muestra, las variaciones de los pesos se deben a las pérdidas de masa en el desmolde.

Tabla 7. Pesos de prototipos.

MUESTRA 1		MUESTRA 2		MUESTRA 3	
Prototipo	Peso (g)	Prototipo	Peso (g)	Prototipo	Peso (g)
a	226,34	a	218,42	a	226,85
b	242,40	b	215,19	b	238,13
c	223,94	c	216,29	c	236,73
d	228,19	d	211,26	d	240,89
e	231,30	e	233,05	e	229,85
f	238,60	f	230,87	f	237,06
g	236,73	g	212,94	g	240,41
h	225,27	h	214,84	h	233,97
i	227,68	i	221,18	i	231,38
j	238,67	j	221,26	j	227,07
Promedio (g)	231,912	Promedio (g)	219,53	Promedio (g)	234,234
MUESTRA 4		MUESTRA 5		MUESTRA 6	
Prototipo	Peso (g)	Prototipo	Peso (g)	Prototipo	Peso (g)
a	226,20	a	224,86	a	248,82
b	220,54	b	232,57	b	248,32
c	206,70	c	227,41	c	244,72
d	224,12	d	223,98	d	237,90
e	216,30	e	220,62	e	238,93
f	232,88	f	229,01	f	250,38
g	222,15	g	225,11	g	255,69
h	225,15	h	218,21	h	237,49
i	219,45	i	219,08	i	254,05
j	209,76	j	220,23	j	231,82
Promedio (g)	220,33	Promedio (g)	224,108	Promedio (g)	244,812

Fuente: Autores, 2018.

8.2. Objetivo específico N°2: Analizar las características físicas del ladrillo no convencional

9.2.1 Porcentaje de absorción de agua.

Para verificar el cumplimiento de la NTC 4026 fue necesario calcular la densidad de las muestras y expresarlas en unidades (kg/m^3). Según la densidad se clasificó cada muestra, siendo peso liviano si la densidad es menor a 1680 kg/m^3 , peso mediano si la densidad es superior a 1680 kg/m^3 y menor a 2000 kg/m^3 y peso normal si la densidad es igual o superior a 2000 kg/m^3 . Las muestras 1 y 6 se clasificaron como peso mediano, por lo tanto, el porcentaje de absorción máximo que deben cumplir es de 12%. Las muestras 2, 3, 4 y 5 se clasificaron como peso liviano, el porcentaje de absorción máximo es del 15%. Basándonos en la “ecuación 1” se determinaron los porcentajes de absorción de cada muestra 24h y 48h, Es importante resaltar que todas las muestras cumplieron con los porcentajes de absorción máximos, por lo tanto, se consideraron como clase alta según la norma.

Tabla 8. Densidades, porcentajes de absorción, comparación y clasificación según NTC 4026

Muestra	Densidad (Promedio 2 unidades)		Porcentaje de absorción (Promedio 3 unidades)			Clase según NTC 4026
	Densidad (kg/m ³)	Clasificación de peso (densidad) según NTC 4026 (kg/m ³)	24h	48h	% Absorción máximo según NTC 4026	
1	1685	Peso mediano	9,97%	3,22%	12%	Alta
2	1621	Peso liviano	9,48%	2,66%	15%	Alta
3	1666	Peso liviano	10,15%	2,38%	15%	Alta
4	1625	Peso liviano	9,71%	2,46%	15%	Alta
5	1591	Peso liviano	6,99%	2,74%	15%	Alta
6	1787	Peso mediano	3,63%	2,47%	12%	Alta

Fuente: Autores, 2018.

Los porcentajes de absorción se representan en la figura 15 donde el eje x representa el número de muestras y el eje y el porcentaje de absorción. Las líneas horizontales de color naranja son el porcentaje máximo permitido por la NTC 4026 dependiendo de la densidad. Las últimas dos columnas identificadas con el color anaranjado hacen referencia a la activación alcalina que tuvieron estas muestras.

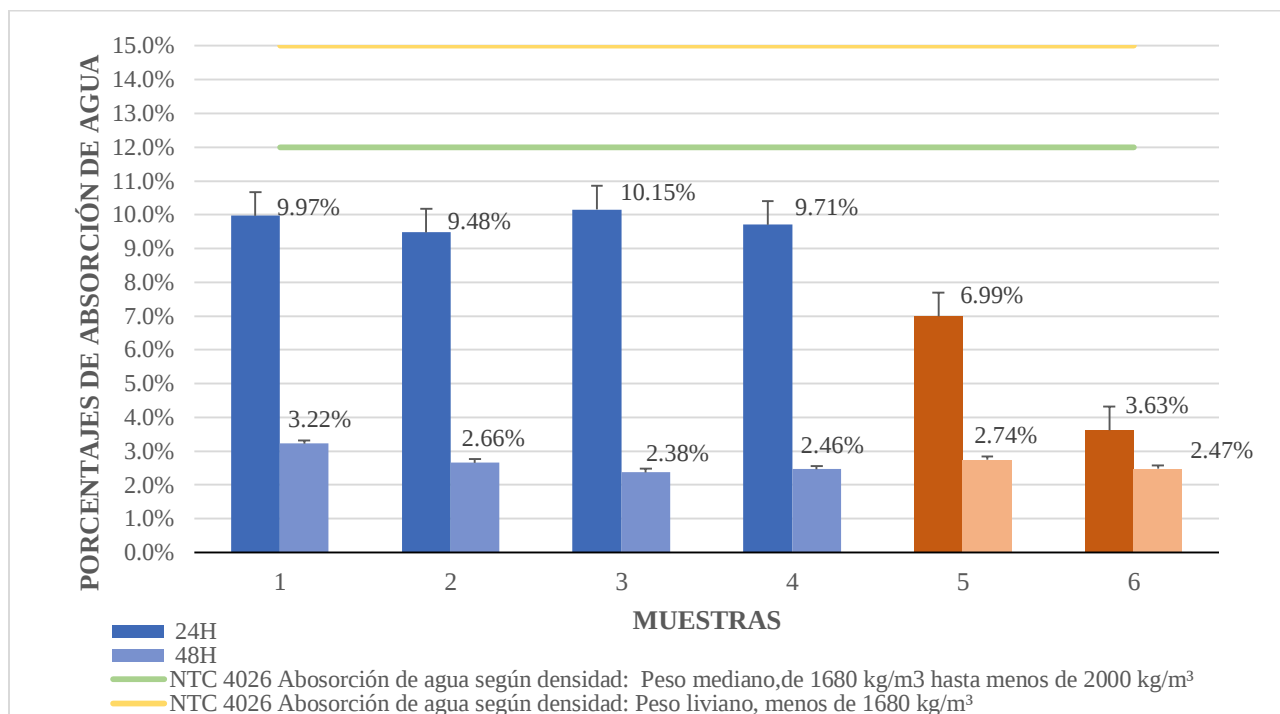


Figura 14. *Gráfica porcentajes de absorción.*
Fuente: Autores, 2018.

9.2.2. Microscopía óptica.

Se realizó la microscopía óptica con el fin de identificar los comportamientos superficiales que tuvo cada muestra al variar su composición. En ese sentido, para mirar detalladamente los componentes del ladrillo se estableció tres categorías: PVC (A), Ladrillo (B) y mezcla de cemento y arena (C).

Debido a las especificaciones del microscopio digital, se lograron tomar dos micrografías por muestra con zoom 3.7x y 54x respectivamente.

9.2.2.1. Muestra 1

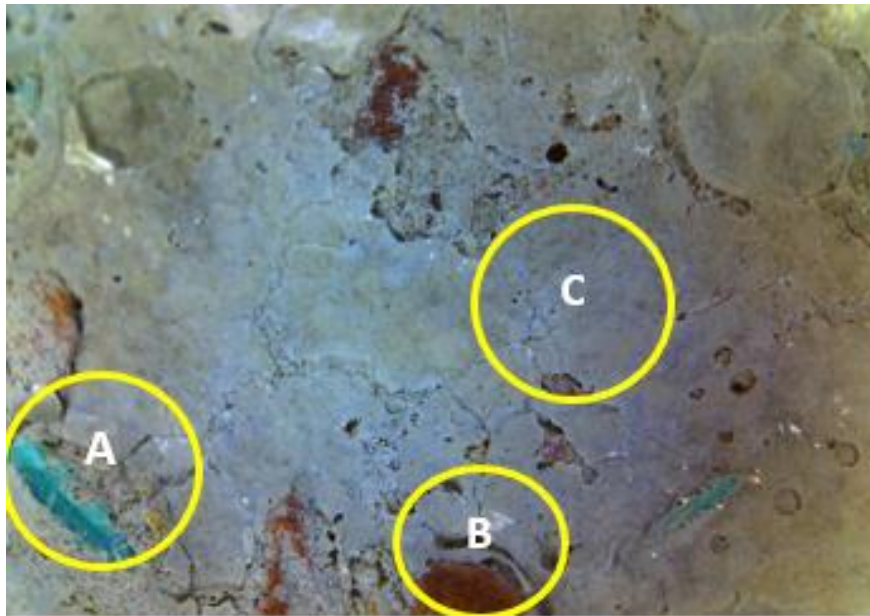


Figura 15. *Micrografía óptica: Muestra 1 Zoom 3.7x.*
Categoría A: PVC
Categoría B: Ladrillo
Categoría C: Mezcla cemento-arena
Fuente: Autores, 2018.

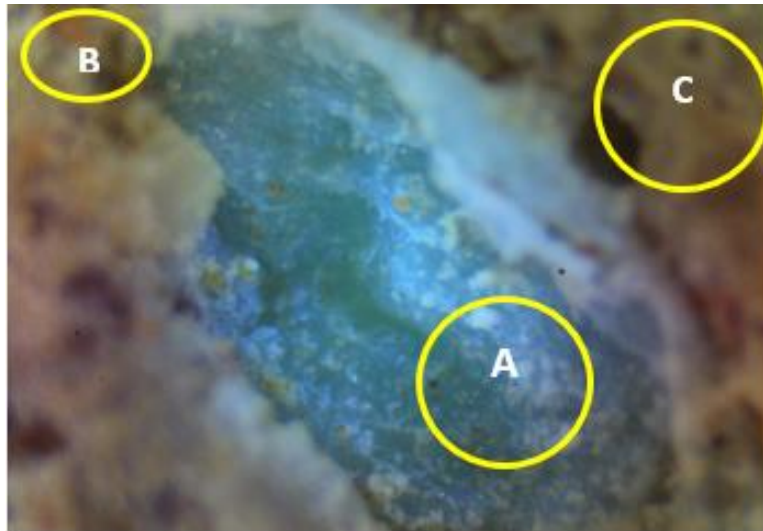


Figura 16. Micrografía óptica: Muestra 1 Zoom 54x

Categoría A: PVC

Categoría B: Ladrillo

Categoría C: Mezcla cemento-arena

Fuente: Autores, 2018.

9.2.2.2.Muestra 2

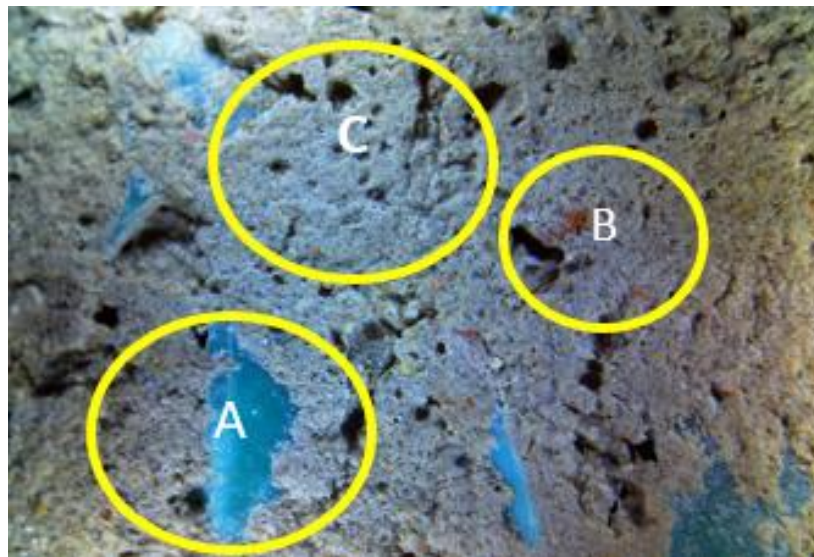


Figura 17. Micrografía óptica: Muestra 2 3.7x

Categoría A: PVC

Categoría B: Ladrillo

Categoría C: Mezcla cemento-arena

Fuente: Autores, 2018.

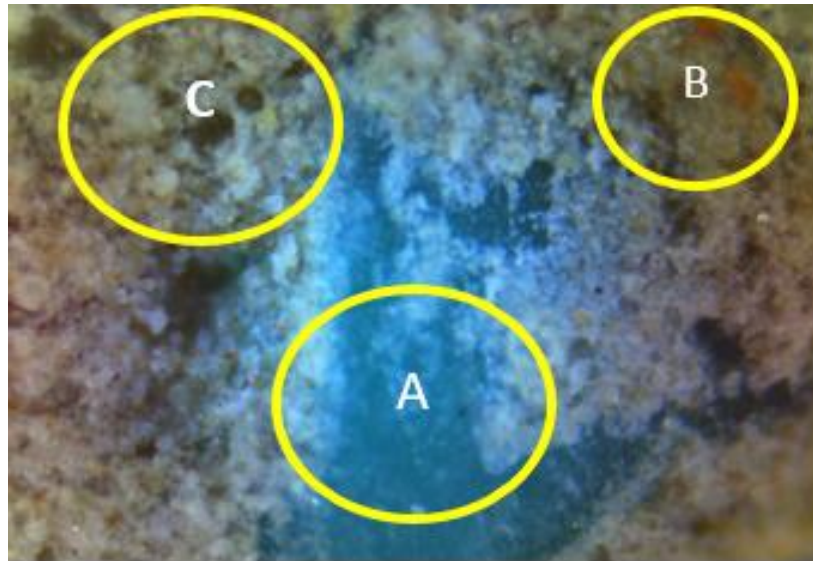


Figura 18. Micrografía óptica: Muestra 2 Zoom 54x
 Categoría A: PVC
 Categoría B: Ladrillo
 Categoría C: Mezcla cemento-arena

Fuente: Autores, 2018.

9.2.2.3.Muestra 3

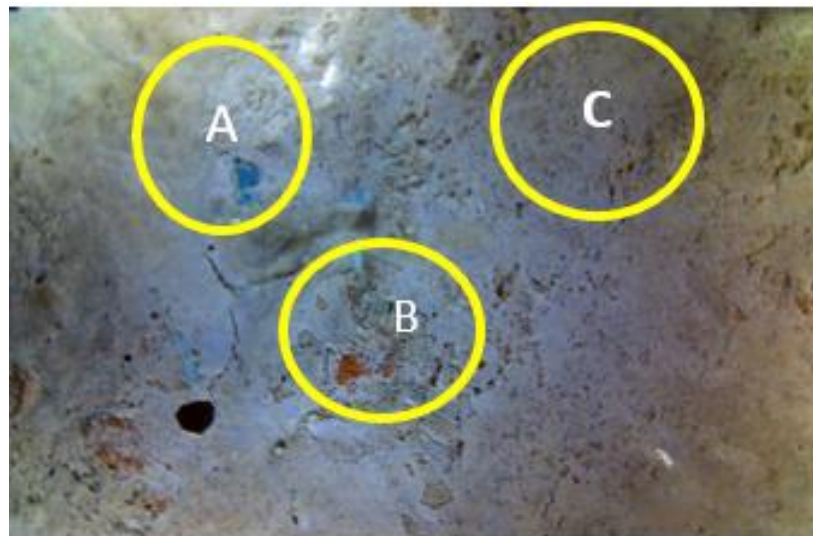


Figura 19. Micrografía óptica: Muestra 3 Zoom 3.7x
 Categoría A: PVC
 Categoría B: Ladrillo
 Categoría C: Mezcla cemento-arena

Fuente: Autores, 2018.

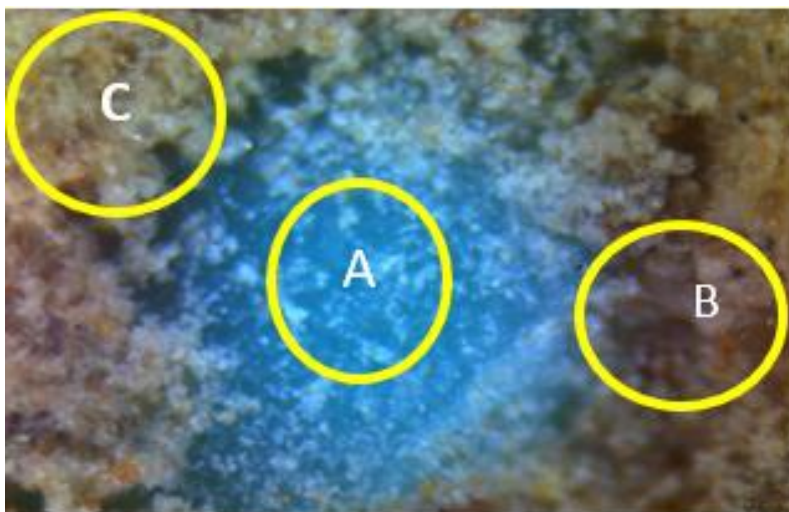


Figura 20. *Micrografía óptica: Muestra 3 Zoom 54x*
Categoría A: PVC
Categoría B: Ladrillo
Categoría C: Mezcla cemento-arena

Fuente: Autores, 2018.

9.2.2.4. Muestra 4.



Figura 21. *Micrografía óptica: Muestra 4 Zoom 3.7x*
Categoría A: PVC
Categoría B: Ladrillo
Categoría C: Mezcla cemento-arena

Fuente: Autores, 2018.

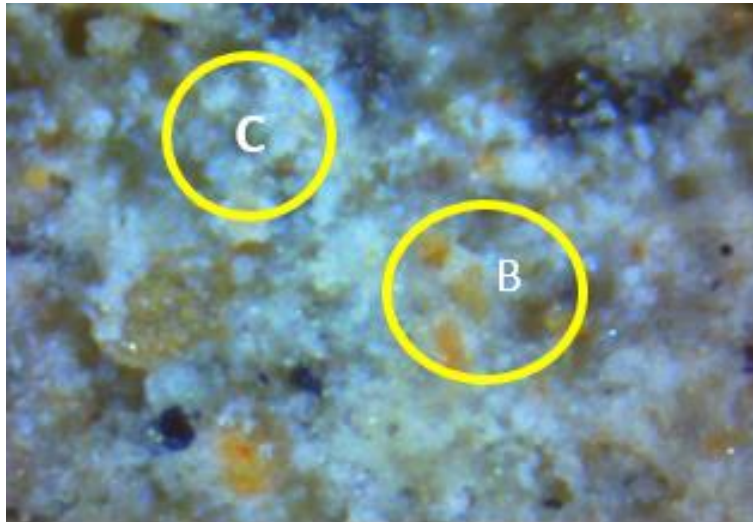


Figura 22. Micrografía óptica: Muestra 4 Zoom 54x
Categoría A: PVC
Categoría B: Ladrillo
Categoría C: Mezcla cemento-arena

Fuente: Autores, 2018

9.2.2.5.Muestra 5.

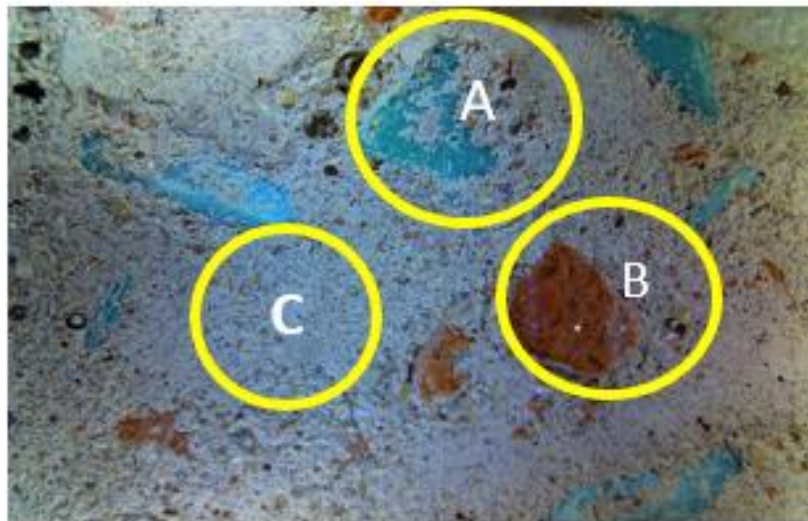


Figura 23. Micrografía óptica: Muestra 5 Zoom 3.7x
Categoría A: PVC
Categoría B: Ladrillo
Categoría C: Mezcla cemento-arena

Fuente: Autores, 2018.

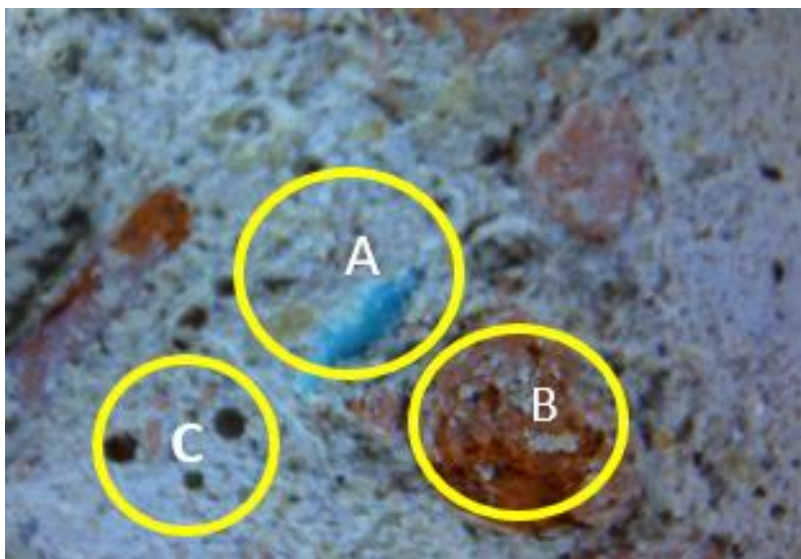


Figura 24. Micrografía óptica: Muestra 5 Zoom 54x
 Categoría A: PVC
 Categoría B: Ladrillo
 Categoría C: Mezcla cemento-arena

Fuente: Autores, 2018.

9.2.2.6.Muestra 6.

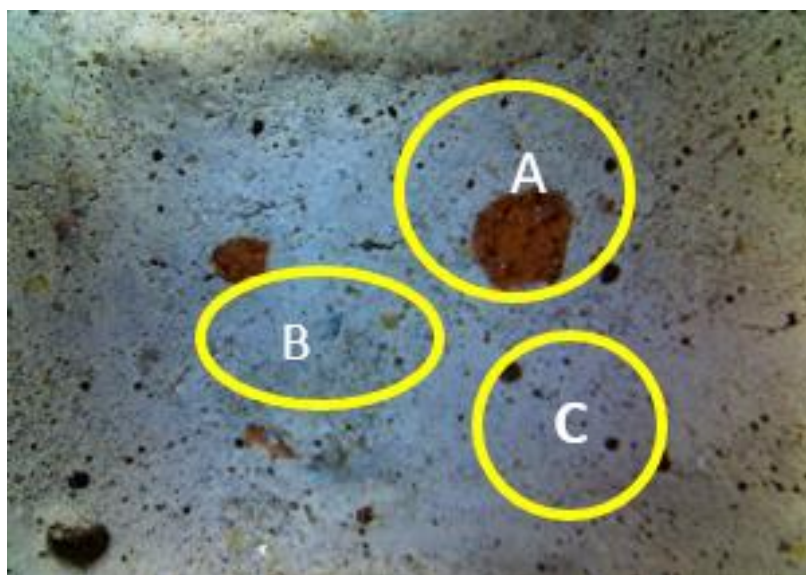


Figura 25. Micrografía óptica: Muestra 6 Zoom 3.7x
 Categoría A: PVC
 Categoría B: Ladrillo
 Categoría C: Mezcla cemento-arena

Fuente: Autores, 2018

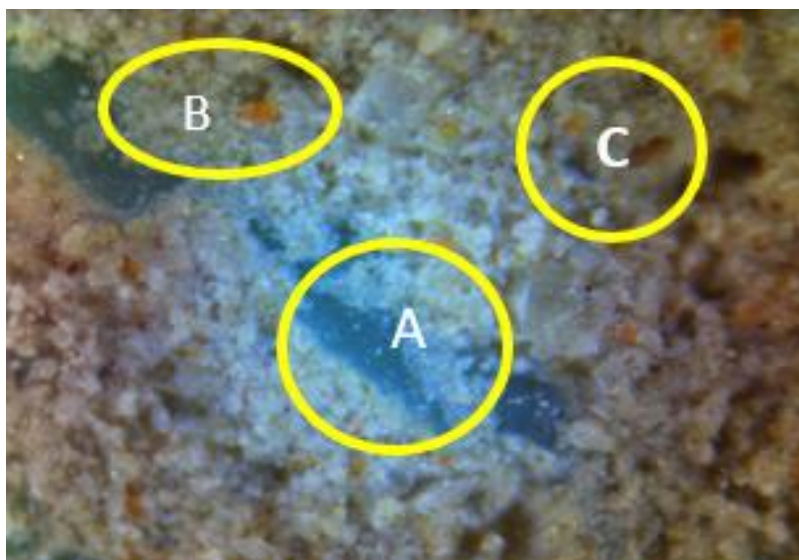


Figura 26. Micrografía óptica: Muestra 6 Zoom 54x
 Categoría A: PVC
 Categoría B: Ladrillo
 Categoría C: Mezcla cemento-arena
 Fuente: Autores, 2018.

9.3. Objetivo específico N°3: Realizar la evaluación de impacto ambiental en el proceso de elaboración del ladrillo no convencional para proponer su aplicabilidad en la construcción sostenible.

Se eligió la matriz de evaluación propuesta por Vitora Conesa ya que consta de diferentes variables entre las que se encuentran extensión del impacto, recuperabilidad, momento, sinergia, entre otros. Estas variables no son consideradas en otros métodos de evaluación como matriz de Leopold que se basa únicamente en dos variables que son magnitud e importancia. Un mayor número de variables permitieron tener una evaluación más global y más precisa del proceso de elaboración del ladrillo no convencional.

A partir de la matriz de identificación se observó que los impactos negativos se dan principalmente en las actividades de trituración de RCD's, preparación de mezcla, moldeado y desmoldado generando impactos negativos como la generación de residuos sólidos y líquidos, olores, vapores, ruido y alteración de la calidad del aire por material particulado. En cuanto a los impactos positivos se presentó en las actividades de recolección y trituración de RCD's, preparación de mezcla y producto final, generados por la correcta gestión de residuos, mejoramiento de la calidad de vida, reducción de costos y generación de empleo. Este último presentó impactos positivos en todas las actividades.

Teniendo en cuenta la matriz de evaluación se evidenció que el impacto negativo de mayor relevancia fue la emisión de olores en la preparación de mezcla con un puntaje de -53 considerándose como severo. Los impactos positivos de mayor puntaje fueron la gestión de residuos sólidos (31), mejoramiento de la calidad de vida (26) y reducción de costos (25).

Tabla 9. Matriz de identificación de impactos CONESA.

MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO NO CONVENCIONAL														
Actividades Impacto				ACTIVIDADES PRELIMINARES				ELABORACIÓN LADRILLO NO CONVENCIONAL					ACTIVIDADES FINALES	
				RECOLECCIÓN DE RCD's	TRITURACIÓN DE RCD's	ALMACENAMIENTO DE RCD's	ALMACENAMIENTO DE ARENA Y CEMENTO	PREPARACIÓN DE MEZCLA	MOLDEADO	CURADO	SECADO	DESMOLDADO	DESECHO PRODUCTOS DEFECTUOSOS	PRODUCTO FINAL
COMPONENTES AMBIENTALES	Dimensión	Componente	Impacto											
	DIMENSIÓN FÍSICA	Suelo	Generación de residuos sólidos											
			Vibración											
			Gestión de residuos											
		Recurso hídrico	Generación de residuos líquidos.											
			Consumo de agua											
			Generación de residuos sólidos.											
		Aire	Olores.											
			Vapores											
			Ruido											
			Alteración de la calidad del aire por material particulado.											
	DIMENSIÓN HUMANA	Humano	Calidad de vida.											
			Generación de empleo											
			Riesgos en la salud.											
		Económico	Costos											

Fuente: Autores, 2018

Tabla 10. *Matriz de evaluación de impactos CONESA.*

MATRIZ DE CUANTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO NO CONVENCIONAL																
Valoración del impacto				ATRIBUTOS												CONCEPTO
				NATURALEZA	i	EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC	I	
				+ impacto beneficioso - impacto perjudicial	Intensidad o grado probable de destrucción	Extensión o área de influencia del impacto	Momento o tiempo entre la acción y la aparición del impacto	Persistencia o permanencia del efecto provocado por el impacto	Reversibilidad	Sinergia o reforzamiento de dos o mas efectos simples	Acumulación o efecto de incremento progresivo	Efecto (tipo directo o indirecto)	Periodicidad	Recuperabilidad o grado posible de reconstrucción por medios humanos	Importancia	
COMPONENTES AMBIENTALES	Dimensión	Componente	Impacto													
	DIMENSIÓN FÍSICA	Suelo	Generación de residuos sólidos	-	2	2	2	3	2	1	4	4	2	3	-31	Moderado
			Vibración	-	2	1	4	1	0	2	4	4	2	0	-25	Moderado
			Gestión de residuos sólidos	+	4	1	3	2	0	2	4	4	2	0	31	Moderado
		Recurso hídrico	Generación de residuos líquidos.	-	1	1	2	3	1	1	4	4	2	1	-23	Irrelevante
			Consumo de agua	-	1	1	1	0	0	4	4	4	2	2	-22	Irrelevante
			Generación de residuos sólidos.	-	1	1	3	2	1	1	4	4	2	1	-23	Irrelevante
		Aire	Vapores	-	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	-14	Irrelevante
			Olores.	-	8	4	4	3	1	2	4	4	2	1	-53	Severo
			Ruido	-	2	2	4	1	0	1	1	4	1	0	-22	Irrelevante
			Alteración de la calidad	-	2	4	2	2	0	4	4	4	2	0	-32	Moderado
	DIMENSIÓN HUMANA	Humano	Calidad de vida.	+	4	4	1	2	0	2	0	1	0	0	26	Moderado
			Generación de empleo	+	1	1	3	2	0	2	1	1	4	0	18	Irrelevante
			Riesgos en la salud.	-	2	2	1	1	0	2	0	4	0	0	-18	Irrelevante
		Económico	Costos	+	4	1	2	4	0	1	0	4	0	0	25	Moderado

Fuente: Autores, 2019

Ahora bien, para el uso de la calculadora LEED en el criterio de materiales y recursos, primero se realizó la identificación de los materiales a utilizar que son ladrillo, PVC, arena amarilla y cemento Portland tipo I, se requirieron los nombres de los fabricantes de estos materiales, los costos del material que están dados a nivel comercial, el porcentaje de material reusado, medio y distancia en la cual es transportado los materiales desde su punto de origen. Cada casilla se relleno con la información correspondiente. Una vez se completó la información se obtuvo un porcentaje de cumplimiento del 41.7%.

General Information					
CSI Div (Optional)	For HC projects	Description of Material	Manufacturer or Vendor Name	Product or Model Name/ Number	Material Cost (\$)
	Steel or Concrete?				
		Ladrillo	Ladrillera Santafé		\$ 25 000.00
		PVC	Pavco		\$ 70 000.00
		Arena Amarilla			\$ 8 000.00
		Cemento Portland I	Argos		\$ 10 000.00
Total					\$ 113 000.00

Figura 27. Identificación de materiales.

Fuente: Calculadora LEED.

Materials Reuse (BD+C: MR Credit 3, ID+C: MR Credit 3.1)	
Percent Salvaged or Reused (%)	Sustainable Criteria Value (\$)
100.00%	\$ 25 000.00
100.00%	\$ 70 000.00
	\$ -
	\$ -
	\$ -
	\$ -
	\$ -
	\$ -
	\$ -
	\$ -
Total value	\$ 95 000.00

Figura 28. Porcentaje de material reutilizado en el proyecto.

Fuente: Calculadora LEED.

Regional Materials MR Credit 5 (HC: MR Credit 3)					
Select Option Below	Distance (BD+C and ID+C projects)				
	Distance by Rail (km)	Distance by Inland Waterway (km)	Distance by Sea (km)	Distance by Other Means (km)	Total Distance (weighted) (km)
ID+C Option 2 (Extracted and manufactured regionally)				13.20	13.20
ID+C Option 1 (Manufactured regionally)				13.20	13.20
ID+C Option 2 (Extracted and manufactured regionally)				9.90	9.90
ID+C Option 2 (Extracted and manufactured regionally)				9.90	9.90
					0.00
					0.00
					0.00
					0.00
					0.00
					0.00

Figura 29. Lugar de procedencia y distancia de material transportado.

Fuente: Calculadora LEED.

	For BD+C projects	For ID+C projects	
Percent Regional (%)	Sustainable Criteria Value (\$)	Option 1 Sustainable Criteria Value (\$)	Option 2 Sustainable Criteria Value (\$)
100.00%	\$ 25 000.00	\$ -	\$ 25 000.00
100.00%	\$ 70 000.00	\$ 70 000.00	\$ -
100.00%	\$ 8 000.00	\$ -	\$ 8 000.00
100.00%	\$ 10 000.00	\$ -	\$ 10 000.00
	\$ -	\$ -	\$ -
	\$ -	\$ -	\$ -
	\$ -	\$ -	\$ -
	\$ -	\$ -	\$ -
	\$ -	\$ -	\$ -
	\$ -	\$ -	\$ -
	\$ 113 000.00	\$ 70 000.00	\$ 43 000.00

Figura 30. Porcentaje de procedencia de materiales.
Fuente. Calculadora LEED.

10. Análisis y discusión de resultados

10.1. Objetivo específico N°1: Elaborar el prototipo de ladrillo no convencional usando Residuos de Construcción y Demolición (RCD).

En la fabricación de los ladrillos no convencionales los RCD's que se trabajaron fueron el PVC y el ladrillo de arcilla, se establecieron diferentes porcentajes con el fin de observar cuál muestra presentó mejores resultados y relacionar sus propiedades con sus componentes. Anteriormente se hizo referencia al uso del PVC por su propiedad de impermeabilidad, al ser un material polimérico sintético con enlaces covalentes no polares, hace que tenga un grado de retención de aguas haciéndolo un material hidrofóbico.

Vásquez, Botero, & Carvajal (2015) en el desarrollo de su metodología hicieron uso de una máquina de tracción manual CINVA-RAM para ejercer presión sobre los bloques constructivos una vez confinados en los moldes, esto les permitió tener una mayor compactación de los bloques. Los autores señalan que la correcta calibración de la máquina, el correcto enrase, la forma de llenado del molde y la energía empleada en el accionamiento de la palanca, pueden incidir en las propiedades mecánicas de los bloques. Sin embargo, no se aclara la cantidad de presión que se aplicó sobre el bloque ni la medición de la misma, por lo tanto, no hay plena seguridad que la energía aplicada en todos los bloques sea lo misma, lo cual puede interferir en sus propiedades mecánicas. Ante la ausencia de una máquina de tracción manual y con el fin de evitar incertidumbres en la presión aplicada, se optó por hacer

vibración manual de cada molde durante un minuto aproximadamente para de esta manera lograr una mejora en su compactación.

El propósito fundamental de la compactación es reducir al mínimo los vacíos u oquedades ocupados por aire, que normalmente quedan en la mezcla fresca recién colocada. Esto se logra compactando el material, con lo que se alcanzará una mezcla con mayor densidad relativa, lo que propiciará una mayor resistencia y durabilidad en la estructura. En general, compactar el material implica someter a las partículas sólidas a un movimiento que permita la ascensión del aire hasta su eliminación por la superficie superior del elemento compactado, sin que se produzca segregación. Entre las principales ventajas que se derivan de la compactación por vibrado se encuentran mayor resistencia y mayor impermeabilidad (Vidaud, 2015).

Ahora bien, haciendo referencia a la activación alcalina Valencia, Angulo & Mejía de Gutiérrez (2018) concluyen en su estudio que el concreto con activación alcalina es menos susceptible al ataque de sulfatos y ácidos, esto se puede relacionar a su mayor resistencia a la compresión, a su baja absorción capilar y su mayor resistencia a la penetración de agua, lo que puede ocasionar una mayor resistencia al ataque de agentes agresivos. En concordancia con lo anterior, se hizo pertinente realizar la activación alcalina de los ladrillos no convencionales agregando hidróxido de sodio para lograr mejoras en las propiedades físicas del ladrillo no convencional.

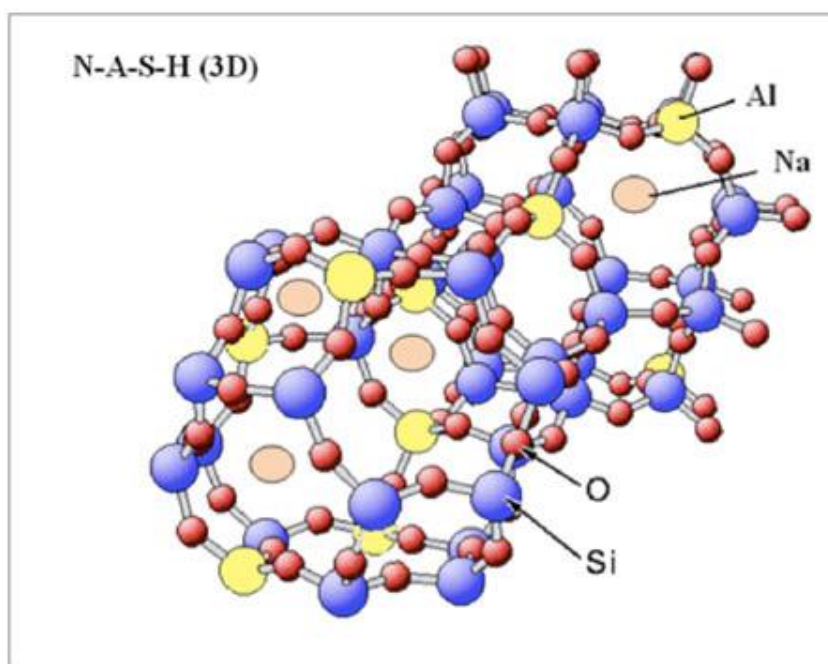


Figura 31. Modelo estructural tridimensional de la activación alcalina en silicatos

Fuente: Base de datos SciELO Activación alcalina de diferentes aluminosilicatos como una alternativa al Cemento Portland: cementos activados alcalinamente, 2017.

De acuerdo con la figura 31, la presencia de activadores alcalinos hace que su grado de polimerización sea mucho mayor formando redes tridimensionales, en el que se incorporan a la estructura originando una distribución más compactada beneficiando la superficie del material.

Según la literatura los activadores alcalinos más comúnmente utilizados son hidróxidos y silicatos alcalinos. Robayo, Gutiérrez, & Carvajal (2015) en la fabricación de elementos constructivos a partir de ladrillos usaron como activadores alcalinos una mezcla de hidróxido de sodio (NaOH) y silicato sódico comercial ($\text{SiO}_2=32.09\%$, $\text{Na}_2\text{O}=11.92\%$, $\text{H}_2\text{O}=55.99\%$). Sin embargo, no especifican sus concentraciones ni la cantidad agregada por muestra. Estos mismos activadores alcalinos fueron empleados por Valencia, Angulo & Mejía de Gutiérrez (2018) la dosificación del activante se ajustó para obtener proporciones molares en la mezcla de $\text{Si}/\text{Al}=3,85$ y $\text{Na}/\text{Si}=0,25$. En el presente estudio se utilizó como activador alcalino hidróxido de sodio (NaOH) con concentración 2.5 M y se le agregó 30 ml a cada prototipo. Vale la pena precisar que no se emplearon más reactivos químicos con el fin de no generar mayores impactos negativos al ambiente haciendo menos sostenible el proceso.

Para facilitar el desmolde de los prototipos se optó por emplear como agente desmoldante ACPM, ya que tiene la ventaja de ser de fácil acceso y relativo bajo costo, adicional a esto se requería en mínimas cantidades. Los productos desmoldantes tienen por objeto facilitar el desencofrado, impidiendo la adherencia entre cemento y el molde y reducir la tensión superficial entre las dos superficies (Solás & Giani, 2010).

Teniendo en cuenta que la matriz evaluación definió como impacto severo los olores generados por el desmoldante, se hizo una revisión bibliográfica de otros productos con la misma funcionalidad que pueden sustituir el ACPM para de esta manera mitigar su impacto. Se evidenció la existencia de desmoldantes ecológicos vendidos comercialmente en el país, entre los que se encuentran el Separol ecológico, y Desmoldatoc Green, que se caracterizan por ser de naturaleza menos volátil y biodegradables, pero tienen la particularidad de venderse en cantidades industriales.

A continuación, se muestra la información obtenida de las fichas técnicas de los desmoldantes ecológicos anteriormente mencionados.

Tabla 11. *Productos desmoldantes.*

Productos desmoldantes		
	Separol Ecológico	Desmoldatoc Green
Descripción	Agente desmoldante, a partir de materias primas vegetales que impide la adherencia, no mancha el producto. Libre de solventes.	Agente desmoldante, altamente efectivo para moldes de metal, madera y plástico
Usos	Evita la adherencia de concretos, cementos, en moldes de metal, plástico y madera.	Permite una rápida y limpia liberación en desmoldado, minimizando la preparación para su reutilización.

Características	- Aumenta la vida útil del molde. - Producto biodegradable. - Fácil al momento de retirar el producto. - Olor característico.	- Producto sustentable y biodegradable. -Olor suave. -Reduce el tiempo de trabajo. -No mancha.
------------------------	--	---

Fuente: Fichas técnicas del producto.

Uno de los aspectos que podría facilitar sustancialmente el desmolde de las muestras es el diseño del molde, como ya se mencionó los moldes fueron fabricados en madera y sus partes fueron unidas utilizando puntillas, al momento de desencofrar las muestras el constante golpeteo del martillo provocó que tres unidades se vieran afectadas en su estructura, una unidad de la muestra 2 por fractura total y dos unidades de la muestra 3 por fracturas parciales. Esto podría evitarse elaborando moldes de fácil desencaje que no requieran pegamento o elementos adicionales en la unión de sus partes, es decir, que la unión de sus partes se ensamblen tipo LEGO, esto facilitaría además la limpieza de los moldes para ser utilizado cuantas veces se requiera.

La evaluación de las propiedades físicas del ladrillo no convencional se realizó a los 8 días posteriores a su fabricación, en la bibliografía referenciada existen registros de la evaluación de las propiedades físicas de materiales constructivos a partir de los 7 y 28 días de curado (Valdés, Reyes, & González, 2011; Robayo, Gutierrez, & Carvajal, 2015; Vásquez, Botero & Carvajal; 2015). Sin embargo, la NTC 4026 especifica un tiempo de 28 días para su evaluación y cumplimiento de los criterios. Carvalho, Ramos, Zegarra, & Pereira (2016) aseguran que los días de curado pueden inferir en las propiedades mecánicas del material, mayor sean los días de curado mejores propiedades mecánicas tendrá el mismo debido a las reacciones que suceden entre cemento-agua. Los autores hacen énfasis además en el contenido de agua agregado en la fabricación del material, señalan que esto incide de manera directa en las propiedades físicas del material.

Para la elaboración de las muestras 1 y 2 se empleó una cantidad de agua de 60 mL por prototipo mientras que para las muestras 3 y 4 se utilizó una cantidad de 48 mL. De las muestras que no fueron activadas alcalinamente se evidenció que la muestra 2 tuvo el menor índice de porcentaje de absorción a pesar de ser elaborada con una mayor cantidad de agua, lo que indica que el comportamiento físico del material se relaciona más con sus componentes que por el contenido de agua utilizado en su fabricación. Para las muestras 5 y 6 se empleó la menor cantidad de agua (30 mL), sin embargo no se puede establecer una relación entre el contenido de agua y sus propiedades físicas ya que se empleó una base fuerte que modifica la estructura química y física a nivel micrométrico de las arcillas que componen cada prototipo.

En cuanto a los días de curado, para corroborar lo expuesto por Carvalho, Ramos, Zegarra, & Pereira (2016) no se contempló en el diseño experimental evaluar nuevamente las propiedades físicas del material a los 28 días de curado.

10.2.Objetivo específico N°2: Analizar las características físicas del ladrillo no convencional

10.2.1. Prueba de absorción

Véliz, Zambrano, & Rivera (2013) obtuvieron porcentajes de absorción mínimos de 2,95% y máximos de hasta 14,24%. Siendo el máximo permitido por la norma INEN del 15%, todas las muestras cumplen este requerimiento, entre sus componentes se utilizaron RCD como hormigón, ladrillo y asfalto. De igual manera Robayo, Gutierrez, & Carvajal (2015) dieron cumplimiento a la norma, obteniendo valores de porcentaje de humedad inferiores al 9%, estos ladrillos trabajaron como RCD el ladrillo de arcilla y se activó alcalinamente. En los ensayos realizados a bloques fabricados con áridos de residuo de hormigón, la absorción de agua del material tuvo un porcentaje superior al 3% establecido por la norma, sin embargo, los autores señalan que no es un limitante para su uso en la fabricación de hormigones pero hay que tener cuidado en la dosificación del material (Valdés, Reyes, & González, 2011).

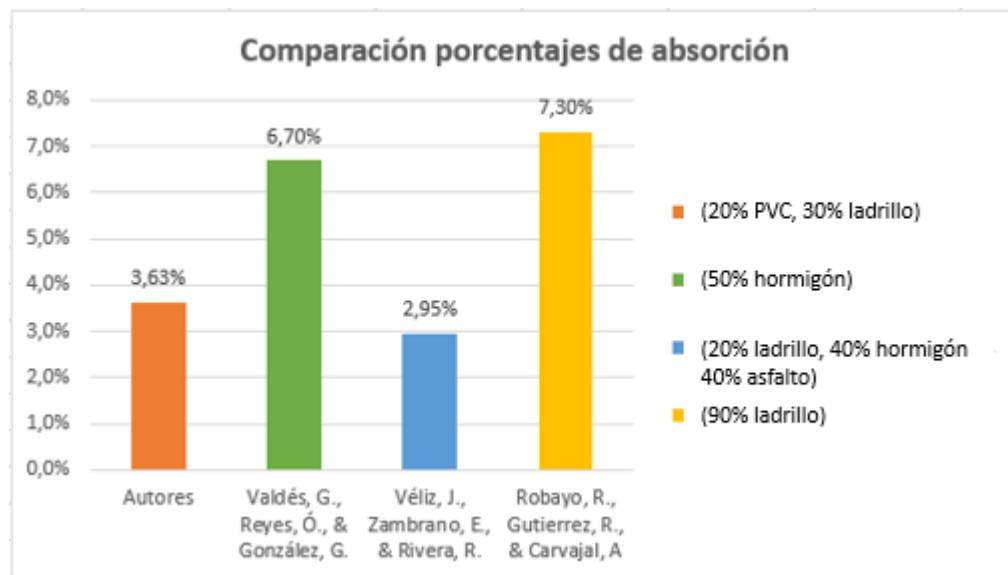


Figura 32. Comparación porcentajes de absorción de agua de este trabajo con diferentes autores

Fuente. Diferentes autores.

De acuerdo a la figura 32, se observa que en este trabajo se tuvo uno de los menores porcentajes de absorción en comparación con los resultados obtenidos de otros autores. Robayo, Gutierrez, & Carvajal (2015) en la composición de su material constructivo emplearon un 90% de residuo de ladrillo y obtuvieron un porcentaje de absorción de agua del 7,3%. En el presente proyecto se empleó un 30% de ladrillo y 20% de PVC y se obtuvo un porcentaje de absorción de 3,63%, comparando estos dos resultados se puede observar una reducción de hasta 3,67% del porcentaje de absorción al incorporar el PVC dentro del material constructivo. Vale la pena aclarar que en ambos casos las muestras fueron activadas alcalinamente. De acuerdo a lo anterior se evidencia que el PVC al tratarse de un material impermeable transfiere sus propiedades al material constructivo.

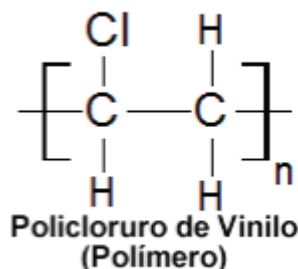


Figura 32. Estructura química del monómero del PVC.

Fuente: (Sevenster, 2012)

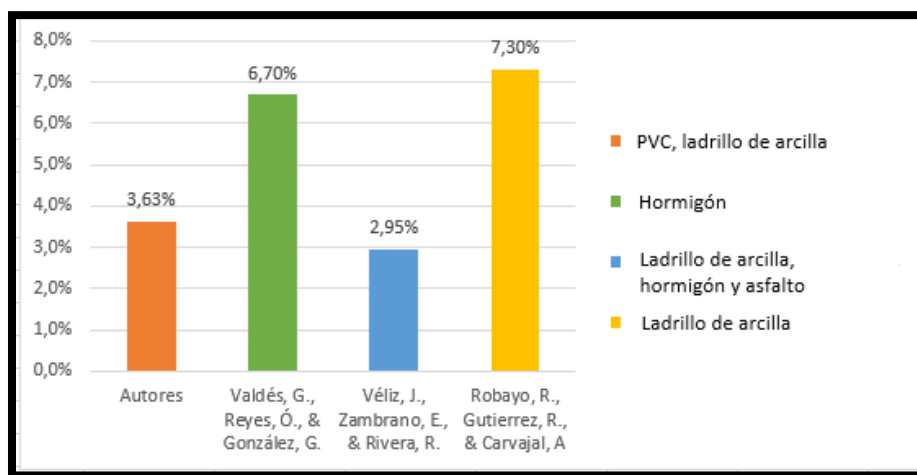


Figura 33. Comparación de absorción de agua con otros autores.

Fuente: Autores, 2018.

Para entender cómo el PVC afecta las propiedades del ladrillo es necesario partir de su estructura, el PVC tiene una estructura amorfa con átomos de cloro. Según (Sevenster, 2012) estos materiales tienen átomos de carbono e hidrógeno en sus estructuras moleculares haciendo resistente a las reacciones oxidativas y mantiene su rendimiento durante mucho tiempo. Debido a esto, su resistencia a los productos químicos y corrosivos hace que en presencia de agua, no tenga ninguna alteración en su estructura.

De acuerdo con los resultados obtenidos de las muestras sin activar alcalinamente (1, 2, 3 y 4), no presentan una mayor diferencia entre ellas, sin embargo, la muestra 2 tuvo una leve disminución con respecto a las demás, esto gracias a su mayor contenido de PVC (30%), cabe resaltar que este material es de baja hidrofiliicidad e insoluble en solventes orgánicos. El mayor porcentaje de absorción se obtuvo en la muestra 3 dado que contiene una mayor cantidad de ladrillo (30%), siendo la arcilla un material poroso que permite que el agua entre por esas cavidades y se absorba en una mayor cantidad. Existe entonces una relación que indica que a mayor contenido de PVC menor porcentaje de absorción de agua tendrá el material y a un mayor contenido de ladrillo mayor porcentaje de absorción de agua tendrá el mismo.

Las dos últimas muestras activadas alcalinamente presentaron diferencias significativas en una reducción de hasta el 7% en el porcentaje de absorción respecto a las demás muestras. Esto coincide con lo expuesto por Valencia, Angulo & Mejía de Gutiérrez (2018) quienes aseguran que la activación alcalina favorece la disminución del porcentaje de absorción del material. Adicionalmente se observa que la composición del material también influye, por tal razón un mayor contenido de cemento y arena junto con la activación alcalina podrían reducir aún más el porcentaje de humedad.

A pesar que la normatividad exige que se evalúe el porcentaje de absorción a las 24 horas siguientes, en el presente proyecto se quiso observar la pérdida de agua que tiene el material 48 horas después. Se pudo evidenciar entonces que las muestras 1, 2, 3, y 4 perdieron una tercera parte de su contenido de agua mientras que las muestras 5 y 6 el doble de su contenido de agua. Es importante señalar que tanto el porcentaje de absorción de agua como la pérdida de la misma, son de vital importancia en el elemento constructivo, ya que si se absorbe en bajas cantidades y su contenido de agua se libera de manera acelerada se contribuye a que se extienda la vida útil del material.

Acorde a los resultados obtenidos se observa que por sus propiedades físicas la muestra 6 tiene mayor potencial de aplicación en la construcción sostenible, de igual manera la muestra 2 ya que esta no presenta adición de reactivos químicos en su proceso de elaboración.

10.2.2. *Microscopía óptica*

Conforme con Abella, J. (2003) algunas de las ventajas que tiene esta técnica es la facilidad de obtener imágenes de cualquier material, su fácil uso y rapidez en la obtención de resultados. Sin embargo, algunas limitaciones radican en los malos enfoques en los objetos gruesos. Como se puede apreciar en algunas de las micrografías logradas, se evidenció desenfoques en las tomas al 54x.

De acuerdo con la figura 16 y figura 17, la categoría B hace mayor presencia en las micrografías obtenidas en ambas distancias, puesto que, su composición fue del 30% de ladrillo. Esto evidencia que el proceso de mezclado de cada componente no quedara homogéneo, sino más bien se obtuvo que cada material estuviera distribuido de forma aleatoria dentro del prototipo de ladrillo no convencional, logrando una mezcla heterogénea. . A pesar de que esa muestra tiene un menor porcentaje de PVC, no se evidenció mayores fracturas en la superficie, como lo muestra la categoría C.

Como se muestra en la figura 18 cuyo porcentaje de PVC en la muestra es del 30%, se logró observar que las partículas del PVC sobresalían en la superficie del ladrillo. Debido a esto, las categorías A y C en la figura 19, que es una micrografía a mayor aumento de la misma muestra, se observan grandes porosidades, evidenciando menor consistencia en la superficie y teniendo pérdidas de masa en el proceso de desmoldado.

La muestra 3, contiene la mayor composición de ladrillo siendo esta del 40%, eso se evidenció en las figuras 20 y figura 21, dado que las partículas de residuo de ladrillo se pueden ver a lo largo de la superficie del prototipo sin grietas ni malformaciones. Sin embargo, el ladrillo siendo un material poroso hace que el paso de agua sea más fácil, lo que puede justificar que esta muestra tuviera el mayor porcentaje de absorción de agua con un 10.15%.

Siendo la muestra 4, la que presentó mayor porcentaje de PVC y ladrillo ambas con un 30%, se observó en la figura 22, que las partículas de los materiales no lograron tener una adecuada compactación evidenciando la mala interacción entre los materiales empleados, produciendo grietas en la superficie.

Según Valencia, Angulo & Mejía de Gutiérrez (2018) el concreto con activación alcalina tiene mayor resistencia a la compresión y su mayor resistencia a la penetración de agua. La figura 24 y figura 25 que corresponden a las micrografías de la superficie de los prototipos activados con el hidróxido de sodio, tuvo superficies lisas, sin evidenciar quiebres en ellas. De igual manera, la figura 26 y 27 se muestra que los componentes del ladrillo tuvieron una mejor interacción al no tener desprendimiento de material evidenciando menos cavidades y/o agrietas.

Para contribuir a que las superficies de los ladrillos sean más uniformes y tenga una mejor interacción entre los materiales (tamaño de partículas), se recomienda la pulverización del residuo de PVC, de esta manera el tamaño de la partícula no genera cambios en el relieve de la superficie y se conservan las propiedades de impermeabilidad que requiere el material constructivo

Objetivo específico N°3: Realizar la evaluación de impacto ambiental en el proceso de elaboración del ladrillo no convencional para proponer su aplicabilidad en la construcción sostenible.

Partiendo de la ecuación propuesta por el autor se evidencia que la variable de mayor relevancia es la intensidad del impacto, seguido de la extensión, lo que implica que el resultado final se vea afectado directamente por el valor asignado en estas variables. En el caso de las demás variables para el autor tienen la misma relevancia.

Considerando lo anterior, la intensidad y la extensión son dos aspectos fundamentales en la evaluación de un impacto ambiental, ya que esto condiciona directamente el tiempo de recuperación del área afectada, los instrumentos o herramientas que se deben aplicar para controlar o mitigar el impacto, los efectos directos o indirectos que se pueden generar a corto, largo y mediano plazo, entre otros.

De acuerdo con la matriz de identificación de impactos ambientales, se evidenció un total de 14 impactos en el proyecto, de los cuales, 10 son impactos negativos y 4 impactos positivos. No se observó ningún impacto de concepto crítico.

Tabla 12. *Identificación de impactos*

Impactos negativos del proceso de elaboración			
Concepto	Rango	Num. De impactos	%
Irrelevantes	< 25	6	42.86%
Moderado	25 y 50	3	21.43%
Severo	50 y 75	1	7.14%
Crítico	> 75	0	0%
Total		10	71.43%
Impactos positivos del proceso de elaboración			
Concepto	Rango	Num. De impactos	%
Irrelevantes	< 25	1	7.14%
Moderado	25 y 50	3	21.43%
Severo	50 y 75	0	0%
Crítico	> 75	0	0%
Total		4	28.57%

Fuente: Autores, 2018

Por lo anterior se pudo determinar que del 71,43% de los impactos negativos registrados el 42,86% (6) son irrelevantes, esto quiere decir que las alteraciones a los componentes ambientales pueden tener una recuperación a corto plazo. Además, de acuerdo con el atributo de Periodicidad (PR) se demuestra que la mayoría de los impactos son de regularidad intermitente con una intensidad baja. Se observa también que el 28,57% de los impactos positivos, 21,43% son moderados ya que se consideró que varios de ellos tienen una intensidad alta, específicamente la gestión de residuos sólidos y el mejoramiento de la calidad de vida.

El aire es el componente ecológico más afectado, teniendo impactos negativos irrelevantes como vapores y ruido, impactos moderados como la alteración de la calidad del aire por material particulado e impacto severo por la generación de olores esto debido al uso del ACPM como desmoldante. Esto implica que se tomen medidas de mitigación apropiadas hacia un futuro remplazando con productos amigables con el medio ambiente.

La gestión de residuos sólidos es el impacto positivo de mayor relevancia debido a que se está extendiendo la vida útil de un material que sale como residuo, además por su incorrecta disposición final se ven afectadas principalmente zonas verdes y comunidades aledañas.

Teniendo en cuenta los valores obtenidos en la matriz de evaluación de impacto ambiental, las actividades valoradas de mayor impacto son: generación de residuos sólidos, alteración de la calidad del aire por material particulado y olores. Por tanto, se hace necesario crear medidas de manejo ambiental con el fin de controlar, prevenir, mitigar o compensar los impactos generados.

Tabla 13. Medida de manejo ambiental para la generación de residuos sólidos.

Medidas de manejo ambiental			
Impacto: Generación de residuos sólidos			
Medida:	Preventiva: x	Control:	x
	Mitigación:	Compensación:	
Propósito:			
Reutilización de residuos sólidos.			
Reducir los impactos ambientales originados en el proyecto de investigación de acuerdo con la generación de residuos			
Componentes ambientales afectados:			
Alteración del suelo			
Calidad de agua			
Aumento de residuos sólidos			
Riesgos en la salud			
Actividades			
No arrojar cualquier material sobrante a sifones y/o basuras.			
Reutilizar residuos sólidos provenientes de las muestras con contenido sobrante y defectuosas. Volver materia prima al ciclo productivo.			

Fuente: Autores, 2018.

Tabla 14. Medida de manejo ambiental para la alteración de la calidad del aire por material particulado.

Medidas de manejo ambiental			
Impacto: Alteración de la calidad del aire por material particulado			
Medida:	Preventiva: x	Control:	x
	Mitigación:	Compensación:	
Propósito:			
Reducir los impactos ambientales ocasionados por el material particulado generado durante la elaboración del ladrillo no convencional.			
Componentes ambientales afectados:			
Calidad del aire			
Riesgos en la salud			
Actividades			
Cubrimiento de materiales para evitar escape de partículas.			
El lugar de almacenamiento de materiales deberá estar en un ambiente controlado y/o encerrado para evitar corrientes de viento.			
Utilización de elementos de protección personal (EPP's) evitando alteraciones en la salud.			
La manipulación de los materiales debe ser cuidadosamente en el proceso de mezclado para no generar partículas.			

Fuente: Autores, 2018.

Tabla 15. Medida de manejo ambiental para la generación de olores.

Medidas de manejo ambiental				
Impacto: Olores				
Medida:	Preventiva:	x	Control:	x
	Mitigación:		Compensación:	
Propósito:				
Reducir los impactos ambientales ocasionados por olores				
Componentes ambientales afectados:				
Calidad del aire				
Riesgos en la salud				
Actividades				
Utilización de productos certificados de alta calidad.				
Mantener siempre cerrado los productos siempre y cuando esten sin utilizar que puedan generar olores ofensivos.				
Utilización de elementos de protección personal (EPP's) evitando alteraciones en la salud.				
Uso de campanas extractores en el lugar de fabricación.				

Fuente: Autores, 2018.

Teniendo en cuenta que en la bibliografía consultada no se evidenció una evaluación de impacto ambiental realizada bajo los criterios propuestos por Conesa, no fue posible hacer una comparación entre el proceso convencional y no convencional. Se podría considerar hacer un análisis de ciclo de vida que pueda ser aplicado en ambos procesos y ser cuantificados bajo los mismos criterios.

La calculadora LEED en términos del criterio de materiales y recursos para la construcción permitió dar un valor del material reutilizado como porcentaje del costo total de los materiales. En este caso tomo un porcentaje del 84.07%. Por otro lado, los materiales utilizados en este proyecto fueron extraídos y manufacturados en la ciudad de Bogotá, esto hace que tome un valor del 100% el valor de los materiales regionales como porcentaje del costo total de los materiales. Esta valoración permite establecer los rangos en los cuales esta propuesta de material constructivo puede aportar a disminuir los impactos ambientales y también aporta en los criterios de certificación LEED a la implementación de residuos de construcción y demolición que se desarrollaron en el presente trabajo que son de naturaleza polimérica y cerámicos, debido a esto, incrementa la vida útil de ese tipo de materiales aumenta en términos físicos y mecánicos la calidad del prototipo de ladrillo analizado y disminuyendo el consumo de materias primas no renovables como lo hace el proceso de elaboración de un ladrillo convencional.

11. Conclusiones

Con el diseño experimental establecido se elaboraron sesenta prototipos de ladrillo variando la composición de cada uno de los componentes, buscando establecer las condiciones iniciales en la obtención del material. Se logró obtener el prototipo de material con las dimensiones específicas haciendo una variación a la norma ASTM C67. En este estudio se observó que en el proceso de secado y curado se dio en un tiempo adecuado de ocho días.

Según el resultado de la absorción de agua evaluado en 24 horas y 48 horas se estableció que no hay diferencia significativa de esta propiedad en las muestras con porcentaje muestra 1 (20% PVC y 30% ladrillo), muestra 2 (30% PVC y 20% ladrillo) y muestra 3 (20%PVC y 40% ladrillo). La activación alcalina evidencia una modificación estructural del prototipo de material constructivo debido a su disminución significativa en el porcentaje de absorción de agua. Después de la correlacional de los resultados del porcentaje de humedad, la densidad y el análisis morfológico de la superficie del material se propone como material con potencial en la aplicación en la construcción la muestra 2 (Arena 25%, cemento Portland 25%, PVC 20% y ladrillo 20%). La cual no tiene tratamiento químico y no afectaría de forma negativa la evaluación de impacto. La muestra 6 (Arena 25%, Cemento Portland 25%, PVC 20% y ladrillo 30%) es el prototipo con mayor potencial en términos de construcción sostenible, aunque debe considerarse que el impacto ambiental puede ser mayor debido a la proporción de hidróxido de sodio empleada en la activación.

La evaluación de impacto ambiental empleando la matriz Conasa, permitió establecer criterios y actividades correlacionadas claramente con la etapa de obtención del residuo de construcción y

demolición y la elaboración del prototipo de ladrillo, en la cual siete de los criterios son irrelevantes en términos de impacto, seis son moderados y solo uno severo. Lo anterior permite proponer lineamientos de mejoramiento en la etapa del proceso. Además, se puede establecer que el material constructivo propuesto en este trabajo puede disminuir los impactos ambientales que en la actualidad pueden ser generados en la obtención de un ladrillo convencional. Complementario a esta matriz, se revisó los criterios de certificado internacional LEED y muestra que cumple con los parámetros establecidos que pueden dar valor agregado al material propuesto.

12. Recomendaciones

- De implementarse el proceso de fabricación de ladrillo no convencional a base de RCD's a gran escala, se recomienda el uso de un desmoldante ecológico. Sin embargo, se podría realizar pruebas sin el uso de estos productos condicionando las sustancias químicas empleadas en el proceso lo cual llevaría a disminuir el costo del producto.
- Se requiere de un mayor número de pruebas químicas y físicas que generen una mayor seguridad y confianza en el uso del material constructivo en infraestructuras. Evaluación de impacto de fractura, evaluación de la porosidad del material
- Para el uso del PVC, realizar la pulverización de estos, para que su tamaño de partícula sea igual al del ladrillo y que posiblemente no afecte sus características físicas en la elaboración del ladrillo.
- Realizar una evaluación de impacto ambiental cuantitativa de ciclo de vida media la ISO14044 y comparar con la matriz.

13. Referencias bibliográficas

- Abella, J. (2003). Láminas delgadas y recubrimientos Preparación, propiedades y aplicaciones. Madrid: CSIC.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (21 de Noviembre de 2017). *Alcaldía Mayor de Bogotá*. Obtenido de <http://bogota.gov.co/ciudad/ubicacion>
- Avendaño, R. C., Londoño, E. C., & Vela, R. M. (2007). Patologías por la humedad en los materiales para construcción. *Scientia et Technica*, 343-347.
- Bravo, F. (2010). *Reciclado y reutilizo de residuos de construcción y demolición, una herramienta para el desarrollo económico local*. Ideass.
- Carvalho, M., Ramos, F., Zegarra, J., & Pereira, C. (2016). Evaluación a lo largo del tiempo de las propiedades mecánicas de los bloques de suelo-cemento utilizados en pavimentos semipermeables. *Ingeniería de construcción*.
- Chavez, P. Á., León, P. Ó., & Guarín, C. N. (2014). Unidad logística de recuperación de residuos de construcción y demolición: Estudio de caso Bogotá D.C. *Ciencia e Ingeniería Neograndina*, 95-118.

- Conesa, V. (2010). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Contreras, M., Rainho, S., & Murillo, L. (2016). Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study). *Elsevier*, 594-600.
- Corporación Ambiental Empresarial - CAEM. (2013). *Oportunidades para reducir las emisiones contaminantes SLCPs en el sub-sector de producción de ladrillos en Colombia*. Bogotá.
- Costa, J., Cervera, S., Cunill, F., Esplugas, S., Mans, C., & Mata, J. (1991). *Curso de ingeniería química. Introducción a los procesos, las operaciones unitarias y los fenómenos de transporte*. Barcelona: Reverté S.A.
- Cuchí, A., & Sagrera, A. (2007). *Reutilización y reciclaje de los residuos del sector de la construcción*. Ambiental.
- Decreto 2041. (2014). Ministerio de Ambiente Y Desarrollo Sostenible. (15 de octubre de 2014) Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. [Decreto 2041 de 2014]. DO: 49.305.
- Decreto 2981. (2013). Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (20 de diciembre de 2013) Prestación del servicio público de aseo. [Decreto 2981 de 2013]. DO: 49.010.
- Decreto 586. (2015). Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (29 de diciembre 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. [Decreto 586 de 2015]
- El Tiempo. (21 de Diciembre de 2016). Autorizan otras 7.000 hectáreas para minería en la Sabana de Bogotá.
- FAO. (1991). *Sustainable development and management of land and water resources*. Bolduque.
- Garzón, N. (2013). Análisis preliminar de los impactos ambientales y sociales generados por la minería de arcillas a cielo abierto en la vereda El Mochuelo Bajo, Ciudad Bolívar, Bogotá D.C., Estudio de caso. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- IDEAM. (2008). *Capítulo dos: Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero*.
- Jiménez, C. B. (2001). *La contaminación ambiental en México*. México D.F: Limusa S.A.
- LEED. (s.f.). *US Green Building Council*. Obtenido de <https://new.usgbc.org/leed-v4>
- Mellado Bosque, J. A. (2015). *Diseños experimentales*. Saltillo, Coahuila, México.
- Miedzinski (2013). *Assessing Environmental Impacts of Research and Innovation Policy. Study for the European Commission, Directorate-General for Research and Innovation*, Brussels
- MinMinas. (2013). *Explotación de materiales de construcción*. Grafimpresos.

- Naciones Unidas. (1987). *Nuestro futuro común*.
- Ocampo, D. (2012). Las políticas públicas en la industria del ladrillo. *Revista de Ciencias Sociales*, 71-92.
- Orea, D., & María, V. (2013). *Evaluación de impacto ambiental*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Organización Mundial de la Salud. (s.f.). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/health_impacts/es/
- Portela, J., Huertas, M., Manuel, O., & Pastor, A. (2010). La certificación LEED, cómo cumplir con un conjunto de normas para la sostenibilidad en el proyecto de ingeniería. Asociación Española de Ingeniería Mecánica.
- Ramírez, A. (2002). La construcción sostenible. *Física y sociedad*, 30-32.
- Resolución 01115. (2012). Secretaría Distrital de Ambiente. (26 de septiembre de 2012) Lineamientos técnicoambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción y demolición en el Distrito Capital. [Resolución 01115 de 2012]
- Robayo, R., Gutiérrez, R., & Carvajal, A. (2015). Producción de elementos constructivos a partir de residuos de ladrillo activados alcalinamente. *Facultad de ingeniería*, 21-30.
- Robledo, I. (2010). *Introducción a la sostenibilidad y la RSC*. Madrid: Netbiblo.
- Rojas, E. J. (2005). Problemas patológicos presentados en fachadas de ladrillo a la vista tipo catalán en la ciudad de Medellín. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F: McGraw-Hill.
- Sánchez, M., & Zapata, L. (2013). Impacto ambiental y gestión del riesgo de ladrilleras en la verde Los Gómez de Itagüí. *Cuaderno Activa*, 109-123.
- SDA. (2013). *Diligenciamiento de la matriz de identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales*. Bogotá.
- Secretaría de Planeación. (s.f.). *Secretaría Distrital de Planeación*. Obtenido de <http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/InformacionTomaDecisiones/Estadisticas/ProyeccionPoblacion:Proyecciones%20de%20Poblaci%F3n>
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2013). *Inventario de emisiones de gases efecto invernadero de Bogotá D.C - Línea base*. Bogotá.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2016). *Bogotá D.C, hacia una nueva cultura en la gestión integral de los residuos de construcción y demolición*. Bogotá.

- Sevenster, A. (Junio de 2013). pvc. Obtenido de <http://www.pvc.org/en/p/pvcs-physical-properties>
- Solas, A., & Giani, R. (2010). *Tecnología de hormigón avanzada*. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Torres-Carrasco, M., & Puertas, F. (2017). La activación alcalina de diferentes aluminosilicatos como una alternativa al Cemento Portland: cementos activados alcalinamente o geopolímeros. *Ingeniería de construcción*.
- Trujillo, R. (2013). *Dinámica de la construcción por usos de la localidad de Usaquén en los años 2002 y 2012*. Bogotá.
- Unidad de Planeación Minero Energética. (2001). *Determinación de la eficiencia energética del subsector industrial de ladrillo, vidrio y cerámica*.
- United Nations Environment Programme. (2014). *Greening the building supply chain*.
- Universidad de los Andes. (s.f.). *Caracterización de la contaminación atmosférica en Colombia*. Bogotá. }
- Valencia, W., Angulo, D., & Mejía de Guitiérrez, R. (2018). Resistencia química de concretos de activación alcalina ceniza volante/escoria: Sulfatos y ácidos. *Informador técnico*, 67-77.
- Valdés, G., Reyes, Ó., & González, G. (2011). Aplicación de los residuos de hormigón en materiales de construcción. *Ingeniería y Desarrollo*, 17-33.
- Vásquez, A., Botero, L., & Cavajal, D. (2015). Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional. *Ingeniería y Ciencia*, 197-220.
- Véliz, J., Zambrano, E., & Rivera, R. (2013). Reciclaje de residuos de construcción en la producción de bloques en la ciudad de Portoviejo. *ESPAMCIENCIA*, 91-98
- Vidaud, I. (2015). Método mecánico para la compactación del concreto. La vibración. *Construcción y tecnología en concreto*.
- Wathern, P. (1988). *Environmental Impact Assessment: Theory and practice*. London: Routhledge

