

Diseño y construcción. Prototipo a base de celulosa vegetal



Diseño y construcción de un prototipo de ladrillo a base de celulosa vegetal (cartón) y cemento para el municipio de Girardot

Javier Fernando Bocanegra Rojas

Gerard José Parra Agudelo

Xiomara Valdés Restrepo

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Cundinamarca

Sede Girardot (Cundinamarca)

Programa Ingeniería Civil

2021

Diseño y construcción. Prototipo a base de celulosa vegetal

Diseño y construcción de un prototipo de ladrillo a base de celulosa vegetal (cartón) y cemento para el municipio de Girardot

Javier Fernando Bocanegra Rojas

Gerard José Parra Agudelo

Xiomara Valdés Restrepo

Monografía presentada como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor(a)s

María Clara Vera Guarnizo

Ingeniera civil

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Cundinamarca

Sede Girardot (Cundinamarca)

Programa Ingeniería Civil

2021

Dedicatoria

Quiero dedicar esta monografía a Dios, porque por su amor y todas sus bendiciones pude salir victorioso en esta etapa, a mi madre Rosa Edilma Rojas Rodríguez mujer amorosa, perseverante y luchadora quien siempre me motiva y hace lo imposible para que pueda seguir adelante, a mi padre Faustino Bocanegra Sáenz hombre de carácter firme, responsable y trabajador que a pesar de que no está me dejó sus enseñanzas, me impulsó a estudiar y buscar siempre un mejor futuro, sé que estaría orgulloso de lo que he conseguido. A mi familia quienes me tuvieron en sus oraciones, en especial a mi prima Magaly Casallas y su esposo que siempre estuvieron para mí, dándome consejos y motivándome para no desfallecer, a mi prima Angie Casallas y su esposo que me dieron una nueva motivación para seguir luchando Abby Samara Peña Casallas. A mis compañeros de monografía Xiomara Valdés Restrepo en quien encontré ese apoyo incondicional y se convirtió parte de mi familia y por medio de su inteligencia y experticia logré avanzar. A Gerard José Parra Agudelo que por su ejemplo, dedicación y responsabilidad me ayudó a terminar esta carrera, y en general a todo el cuerpo institucional de Uniminuto que me brindaron las bases para culminar esta carrera y ser un buen profesional.

Javier Fernando Bocanegra Rojas

Mi monografía la dedico de manera muy especial a mi amado creador Dios porque sin su voluntad nada de esto sería posible en mi vida, a mi esposo Daniel Amaya que me apoyó siempre y con su esfuerzo, sacrificio y amor hizo posible mi sueño, por impulsarme y sobre todo por ser parte de mi vida. A mi madre Luz Enit Restrepo, mujer pujante y valiente que me enseñó a nunca darme por vencida. A mi padre Henry Valdés hombre honorable y fuerte que me enseñó a ser determinante y centrada por eso sé que estaría muy orgulloso de este logro y sobre todo de mí, a mis hermanos Jhorman Valdés por ser ese que me impulsa, a mi hermano menor Santiago

Diseño y construcción. Prototipo a base de celulosa vegetal

Valdés por preocuparse por cosas que a veces ni entendía, a mis amigos Javier Bocanegra que lo entregó todo siempre para lograrlo y más que eso su conocimiento sin límites con mucho amor sin esperar nunca nada a cambio, me brindo lo más puro de su corazón que fue su amistad que valoro mucho; y a Gerard Parra que con su disciplina y dedicación logramos cosas grandes, en general a todos los que de forma directa o indirecta influyeron en este camino de conocimiento infinitas gracias por su amor y por ser parte de este logro que hoy se convierte en un sueño hecho realidad.

Xiomara Valdés Restrepo

El presente trabajo está dedicado principalmente a Dios que sin él no tendría la fuerza para emprender mis proyectos, a mi madre Aracely Agudelo Clavijo y a mi padre Ramón Antonio Parra por sus enseñanzas de vida que ha incidido en mi formación personal y académica, también hermanos por su apoyo permanente y afectuoso. Al igual que a mis docentes y compañeros que me ayudaron a completar este sueño e hicieron parte del crecimiento personal y profesional que hoy en día tengo, a Javier Bocanegra que con su entusiasmo e ímpetu me ayudó y apoyó, a Xiomara Valdés que con su forma ruda pero también comprensiva apoyó y puso su granito de arena para que todo esto fuera posible, muchas gracias a todos por estar ahí en el momento indicado.

Gerard José Parra Agudelo

Diseño y construcción. Prototipo a base de celulosa vegetal

Agradecimientos

Agradecemos primeramente a Dios porque por su gracia nos permitió culminar este proyecto, por la sabiduría que nos dio para realizar todo con éxito y por las bendiciones recibidas a través de todos los que nos apoyaron; a nuestras familias que con su amor nos ayudaron a superar cada paso que dimos y nos dieron su motivación para seguir día a día mejorando como futuros profesionales y esperamos que se sientan orgullosos de lo que hemos conseguido, a la Ingeniera María Claudia Vera Guarnizo y al Ingeniero Jackson Erminzul Monroy que por medio de todos sus conocimientos logramos llevar a cabo este proyecto, por su tiempo y colaboración, a nuestros compañeros de la carrera, en especial a María Fernanda Laguna Charry por su ayuda incondicional, a Lisa Rincón por toda su asesoría en la edición de la monografía y en general a la universidad por permitirnos cumplir esta meta profesional en nuestras vidas.

Contenido

1	Introducción.....	12
2	Problema de investigación	14
2.1	Formulación del problema.....	14
2.2	Objetivos	15
2.2.1	Objetivo General.....	15
2.2.2	Objetivos específicos	15
2.3	Justificación.....	16
3	Referencias teóricas.....	17
3.1	Estado del Arte	17
3.2	Marco Teórico.....	23
3.2.1	Ingeniería Civil sostenible	23
3.2.2	Celulosa vegetal: Un acercamiento como alternativa sostenible.....	25
3.2.3	Residuos de Construcción y Demolición (RCD).....	28
3.3	Marco legal	30
4	Metodología.....	33
5	Resultados, conclusiones y recomendaciones	39
5.1	Resultados	39
5.1.1	Elaboración de los prototipos	39
5.1.2	Ensayos	42
5.1.3	Encuesta	44
5.2	Conclusión.....	53
5.3	Recomendaciones.....	54
6	Bibliografía.....	56
	Anexos	61

Lista de tablas

Tabla 1 29
Tabla 2 36
Tabla 3 40
Tabla 4 40
Tabla 5 40
Tabla 6 42
Tabla 7 42
Tabla 8 43
Tabla 9 43
Tabla 10 44

Lista de figuras

Figura 1 26
Figura 2 26
Figura 3 27
Figura 4 44
Figura 5 45
Figura 6 46
Figura 7 46
Figura 8 47
Figura 9 47
Figura 10 48
Figura 11 49
Figura 12 50
Figura 13 50
Figura 14 51
Figura 15 52
Figura 16 52
Figura 17 53

Lista de anexos

Anexo 1.....	61
Anexo 2.....	66

Resumen

Cuidar del medio ambiente se ha convertido en una necesidad en el área de la construcción, pues el mundo actual exige una concientización que permita desarrollar mayores prácticas sostenibles en pro de la supervivencia del planeta y los seres humanos.

Adicionalmente, existen numerosos estudios de investigación en el ámbito estudiantil orientados a la puesta en práctica de nuevos recursos que permitan mejorar o cambiar los conceptos técnicos y teóricos de los recursos que se extraen de la explotación ambiental adquiridos de afluentes y canteras. Por esta razón, surge la presente investigación en la que se busca diseñar y construir un prototipo de ladrillo a base de celulosa vegetal (cartón) y cemento, que cumpla con la normativa colombiana para generar una alternativa constructiva en el municipio de Girardot.

Para ello, se estableció el estudio actual como una investigación experimental, enmarcada en un enfoque mixto y, por lo tanto, para cumplir con los objetivos propuestos se llevó a cabo una serie de diseños experimentales y ensayos de laboratorio, buscando formular una óptima dosificación de mezcla en la cual se logró determinar que el prototipo número 3 compuesto por un 75% de cartón y un 25% de cemento más aditivos, es el más adecuado para ser una variación del ladrillo de arcilla tradicional.

Palabras Clave: Celulosa Vegetal, Ladrillo, Sostenibilidad, Prototipo.

Abstract

Caring for the environment has become a necessity in the area of construction since today's world demands an awareness that allows the development of more sustainable practices for the survival of the planet and human beings. Additionally, there are numerous research studies in the student environment oriented to the implementation of new resources that allow improving or changing the technical and theoretical concepts of the resources that are extracted from the environmental exploitation acquired from tributaries and quarries. For this reason, the present investigation arises in which it is sought to design and build a prototype of brick based on vegetable cellulose (cardboard) and cement, which complies with the Colombian regulations to generate a constructive alternative in the municipality of Girardot.

For this purpose, the current study was established as experimental research, framed in a mixed approach and, therefore, to meet the proposed objectives, a series of experimental designs and laboratory tests were carried out, seeking to formulate an optimal mixture dosage in which it was determined that the prototype number 3, composed of 75% cardboard and 25% cement plus additives, is the most suitable to be a variation of the traditional clay brick.

Keywords: Vegetable Cellulose, Brick, Sustainability, Prototype.

1 Introducción

La presente investigación se basa en el posible diseño y construcción de un ladrillo a base de celulosa vegetal (cartón), dado que la Ingeniería Civil necesita indagar en alternativas que permitan el desarrollo de este campo en la sociedad y, a su vez, plantee opciones amigables con el ambiente para mitigar el impacto de las obras de construcción a largo y corto plazo. Por ende, surge esta investigación respondiendo al nuevo panorama de las construcciones, para contribuir en la transformación social y medioambiental que hoy día se hace cada vez más necesaria.

En este sentido, el presente estudio se planteó de tal forma que permitiera un abordaje tanto teórico como práctico que conllevará al cumplimiento de los objetivos propuestos, por ello se establecieron cinco capítulos principales que desarrollan los aspectos esenciales para entender por qué conviene analizar este fenómeno, el contexto que lo rodea, la metodología que otorga las herramientas para el diseño del prototipo, los resultados tras las pruebas exploratorias y las conclusiones tras todo el proceso investigativo.

En este orden de ideas, en el primer capítulo se describe el planteamiento del problema, que abarca la raíz del fenómeno de estudio y la importancia que tiene este para la Ingeniería Civil, además de los objetivos que dan forma y lineamiento a esta investigación. Luego, en el segundo Capítulo se desarrolla el marco referencial, en el que se exploran los antecedentes de esta investigación, es decir, la información previamente existente que otorga la oportunidad de analizar cómo se ha abordado este fenómeno desde diferentes puntos de vista, así mismo, se explora la teoría en relación para poder determinar los puntos clave que sustentan el presente trabajo y, por último, se describe la normativa colombiana que guía el proceso de diseño del prototipo.

Ahora bien, en el tercer capítulo se describe la metodología, con la cual se logró responder a los objetivos de la presente investigación, especificando las herramientas que permitieron obtener el conocimiento previo para la realización de las pruebas experimentales con los diversos prototipos diseñados.

Por último, se encuentra el cuarto capítulo en el que se presentan los resultados y las conclusiones de la presente investigación, en los que se logró observar la factibilidad de uso de los prototipos de ladrillos a base de celulosa vegetal, permitiendo generar una comparación de los mismos para determinar el más apropiado para construcción.

2 Problema de investigación

2.1 Formulación del problema

El mundo se está transformando constantemente haciendo necesario que se establezcan nuevas alternativas para la construcción, por ello surge la necesidad de generar un nuevo mampuesto a base de celulosa vegetal extraída del cartón y cemento, ambientalmente sostenible, que cumpla con las especificaciones técnicas requeridas por la normatividad colombiana. Para esta investigación se plantea que, mediante la elaboración de este ladrillo a base de celulosa vegetal extraída del cartón y cemento, aporte beneficios como lo son la reducción de la contaminación al medio ambiente, reciclando el cartón desechado en obras civiles, empresas y hogares; así como contribuyendo también en la economía, ya que se reutilizan materiales naturales que son desechados y poco aprovechados. Con esto se busca que los residuos obtenidos a partir de estos elementos sirvan como materiales para el mejoramiento de viviendas especialmente en las periferias y zonas veredales, donde se evidencian construcciones rudimentarias y carentes de las condiciones mínimas que debe poseer una vivienda (Valero, Vargas, & Vargas, 2015).

De acuerdo con el informe de sostenibilidad del 2017 obtenido de la cámara de la industria de pulpa, papel y cartón el consumo per cápita nacional de papel y cartón fue de 33kg/habitante, y su reutilización fue solo del 58%. Teniendo en cuenta que, el periodo de degradación del cartón es de aproximadamente 1 año y que existe una baja cultura de reutilización del cartón desechado en la zona, más allá de los acopios realizados por los recicladores y de las medidas que implementan las empresas de aseo, se plantea el uso del cartón reciclado en la elaboración de

ladrillos como solución viable ante las necesidades constructivas y ambientales que requiere la región.

De acuerdo a datos obtenidos por (Céspedes Bocanegra, 2017), Girardot no cuenta con una asociación de recicladores que sirvan como instrumento para el control de estas empresas y ayudando a los mismo a mejorar sus condiciones de trabajo. También encontró, que la recuperadora el Colombiano, una empresa dedicada al reciclaje en la ciudad de Girardot, tiene una entrada de cartón aproximada de 8.062 Kg mensuales provenientes de acopios de empresas de grandes superficies, centros vacacionales, personas que reciclan en casa y recicladores informales, por lo tanto se puede afirmar que hay una importante cantidad de cartón para su aprovechamiento.

Ante esto, la presente investigación diseñará y construirá un mampuesto de cemento y celulosa vegetal que pueda ser una alternativa sostenible para la construcción de viviendas, contribuyendo a la transformación de la Ingeniería Civil. Por lo tanto, surge la pregunta de investigación, ¿Qué características debe tener el ladrillo a base de celulosa vegetal (cartón) y cemento para ser una nueva alternativa innovadora y ecosostenible para el municipio de Girardot?

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo General

Proponer un mampuesto a base de cemento y celulosa de origen vegetal (cartón) que cumpla con la normatividad colombiana para el municipio de Girardot.

2.2.2 Objetivos específicos

- Realizar el diseño de mezcla adecuado para la elaboración del mampuesto a base de celulosa vegetal (cartón) y cemento.

- Efectuar ensayos de laboratorio para determinar las características mecánicas y físicas del mampuesto a base de celulosa vegetal (cartón) y cemento.
- Determinar los costos entre el nuevo mampuesto a base de celulosa vegetal extraída del cartón y compararlo con el mampuesto tradicional.

2.3 Justificación

Con el propósito de contribuir y generar de manera segura un producto para el bienestar de la comunidad y satisfaciendo las necesidades en cuanto a precio y calidad, la elaboración de un mampuesto ecológico sustentable favorece la economía del país volviendo está en una economía circular y reformando el pensamiento ambiental. Este proyecto busca innovar en la industria de la construcción en la parte económica, en la calidad en cuanto a diseño y producción de materiales con mejores características mecánicas; así mismo, pretende adaptarse al Plan de Desarrollo Municipal 2020-2023, que propone que se tengan proyectos de innovación y de calidad en las construcciones en toda la infraestructura del Municipio (sector urbano y rural).

Debido a la alta extracción de materias primas para la elaboración de materiales de construcción, y la baja tasa de reciclaje que se presenta en la ciudad de Girardot y sus alrededores, así como los pocos proyectos de investigación difundidos con efectividad a gran o mediana escala dentro de la comunidad sobre mampuestos a base de productos reciclados. Se plantea la necesidad de elaborar un mampuesto a base de celulosa vegetal (cartón) y cemento, que sea amigable con el medio ambiente y sostenible a través del tiempo, además de poner en práctica y generar conciencia por medio de las 3R (reducir, reciclar y reutilizar) brindando soluciones constructivas a bajo costo y de buena calidad a los habitantes de escasos recursos de la ciudad. Se presenta como una posible opción dentro de la industria de la construcción, dando relevancia a las fuentes sustentables para la obtención de materias primas, en relación con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), 9, 11 y 12, que tratan acerca de innovación, comunidades sostenibles y producción y consumo responsables.

De acuerdo con lo anterior, se busca contribuir al mejoramiento de las condiciones ambientales y de vivienda de los habitantes que debido a sus condiciones socioeconómicas no tienen acceso a materiales de calidad para la construcción como consecuencia de la fluctuación en los precios de los materiales y por ende incumplen con la normatividad vigente. Por lo anterior, se busca realizar un mampuesto competitivo en precio, calidad, durabilidad y de fácil acceso para la comunidad.

3 Referencias teóricas

3.1 Estado del Arte

Tal como lo dicen Cervantes, *et al.* (2010) “En el mundo se han utilizado diversos Residuos Valorizables, nobles reciclables, para construir casas como: tierra, tepetate, limo, madera, nopal, etc. (Van Lengen J. et al., 1983). Muchos de estos Residuos Valorizables se envían, como desechos, a los tambos o contenedores de basura. Algunos de ellos presentan características apropiadas para la fabricación de muros, en casas, habitaciones, por ejemplo: a) no son buenos conductores de calor y b) son RV altamente cohesivos, por la sabia que contienen, y cuando se les comprime y deshidrata se endurecen; por lo tanto, se propone la utilización de RV para la construcción”.

Desde hace algún tiempo el medio ambiente se ha convertido en un tema importante y más en el sector de la construcción, donde se ha venido buscando nuevas ideas para mitigar el impacto ambiental que se obtiene al hacer los materiales constructivos. En los últimos 10 años se han venido desarrollando trabajos e investigaciones sobre el reciclado, en el que evalúan la viabilidad de la construcción con materiales reciclables, demostrando que a partir de diversos

elementos como plásticos, cartón y papel pueden producirse compuestos para la construcción, que se convierten en complementos económicos y de fácil acceso, que a su vez aportan a la transformación medioambiental (Reyes & Cornejo, 2014).

Frente a esto, el cartón ha tomado un papel protagónico, ya que muchos de los estudios realizados analizan la reutilización de este y de cómo utilizar e implementar este producto desechado en nuevos materiales para la construcción; ya sea de forma completa o como un agregado.

Se han obtenidos productos en Latinoamérica muy interesantes y útiles como es el caso del ladrillo de cartón; realizado en la Universidad católica de Cuenca-Perú en el año 2018, donde se realizaron varios prototipos de ladrillos de arcilla de diferentes dosificaciones, aditivos y paneles para reemplazar la mampostería tradicional (Calle, 2018). Una de ellas es la utilización de papel, cartón y otros materiales que llaman residuos valorizables donde crean muros para habitaciones en el que integran materiales vegetales para subir la resistencia del material, esta investigación se llevó a cabo en la ciudad de Guanajuato-México en la universidad de Guanajuato (Cervantes, Valdéz del Río, & González, 2010). Bajo esta misma lectura, se encuentra la producción de concreto modificado por papel reciclado en el que este material se utiliza como un compuesto para la creación de cemento con propiedades destacables, que a su vez generan concretos económicos y de excelente calidad (Montaña & Zarta, 2017).

Por otro lado, se encuentra la investigación realizada por la Universidad Andina del Cusco en Perú, en la que se realizaron muros divisorios de fibrocemento y yeso laminado relleno de diferentes materiales (cartón corrugado y papel multipliego) para determinar la absorción sonora

de los muros, donde el muro relleno de cartón corrugado presentó un 25% de absorción acústica respecto al muro relleno con papel multipliego y el muro sin relleno (Aragón, 2016).

Siguiendo, se observó el estudio de la universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil en Ecuador, en la que se realizó un proyecto de investigación que implementa un prototipo de concreto utilizando cartón reciclado, el resultado de esta investigación fue positivo, ya que se puede incorporar materiales reciclados y obtener buena resistencia, bajo costo y cualidades ecológicas (Romero, 2017). En este mismo sentido, se desarrolló una investigación en la que se estudió la celulosa vegetal como una adición óptima en reemplazo del cemento con el fin de ser utilizado como unidad de albañearía en muros portantes (Acuña & Quispecondori, 2021).

Así mismo, el Instituto Tecnológico y de estudios superiores de Monterrey, llevó a cabo una caracterización de mezclas de mortero a base de celulosa que provenía de papel reciclado para la fabricación de elementos constructivos, con el fin de aportar una alternativa ecológica en el sector de la construcción, que a su vez funcionará como una opción económica para las comunidades vulnerables, promoviendo un incremento en la construcción de viviendas en México, sobre todo en espacios rurales que permitiera una mejora de la calidad de vida (Elizalde, 2005).

Ahora bien, a nivel nacional Muñoz, *et al.* (2006), desarrollaron una evaluación en la que consideraron la celulosa extraída del papel y el cartón como material aislante, determinado que para que este elemento funcionara debía existir una relación de peso de celulosa al peso de cemento, el cual fue de 0.6, así mismo, estos debían contar con una relación de agua- cemento que determinaron de 0.75 L/kg.

De igual manera, la universidad La gran Colombia de Bogotá, desarrolló un proceso de investigación en constru-cartón, donde utilizaron tubos de cartón como solución alternativa al sistema constructivo; en este caso, para aligeramiento de losas de concreto y muros divisorios en viviendas máximo de 3 pisos. En esta investigación se realizaron diseños preliminares y pruebas de laboratorio donde se determinó la compresión del tubo de cartón encontrando una resistencia mucho mayor sobre el poliestireno utilizado generalmente (Orjuela, 2018).

Bajo estos mismos términos, también se presentó otro estudio de la Universidad Gran Colombia en la que se planteó una alternativa de panel tipos sándwich a base de fibra de celulosa reciclada, extraída de papel blanco, con el fin de diseñar una solución constructiva que tuviera características termo acústicas y se adaptara a las nuevas necesidades medioambientales (Cuba & Garzón, 2020).

Por su parte, en el Primer encuentro de Investigación e Innovación en Desarrollo Tecnológico, social y ciencias Afines, se expuso el estudio de Tamayo, *et al.* (2018), en que el proponían determinar un material compuesto para los elementos de construcción a base de celulosa de papel y cartón para contribuir a la sostenibilidad ambiental. En este estudio se determinaron varios prototipos, que mediante pruebas de resistencia y absorción presentaron diversas características que permitieron realizar una serie de comparaciones para establecer una factibilidad de estos materiales.

En relación con ese estudio, también se presentó la investigación realizada en la Universidad de Santander, en la que se planteaba la elaboración de paneles de celulosa como material constructivo no estructural a base de papel periódico, en la que se creó una alternativa para cielo rasos, determinando una composición óptima de 15% de sales bóricas, 20% de

proteína de soya y 65% de papel periódico, que como resultado dejó un panel con densidad de 121.1 kg/m³ (Villamizar & Pérez, 2017).

También, se encontró productos como las tejas de cartón reutilizado como alternativa de cubierta para construcciones arquitectónicas sostenibles; esta tesis se realizó en el año 2015 en Bogotá en la universidad La gran Colombia, donde se creó una cubierta y la impermeabilizaron con pintura acrílica siliconada hallando una económica y rentable solución a las cubiertas tradicionales (Aldana López & Ramírez, 2015).

Ahora bien, esta investigación presenta una limitación teórica, debido a que no se han desarrollado muchos trabajos que como fenómeno de estudio experimenten la celulosa vegetal (cartón) como una alternativa para la creación de ladrillo, por lo tanto, se hace necesario ampliar el panorama a través de la revisión de investigaciones que aborden los Residuos de Construcción y Demolición, ya que están intrínsecamente relacionados con la producción de celulosa vegetal, debido a que esta se logra mediante los residuos de cartón y papel aprovechables que permiten su transformación como una alternativa para la mitigación medio ambiental.

En este sentido, conviene nombrar el estudio desarrollado por Sánchez (2020), quien analiza la gestión de los residuos de obras y de demolición, que no tienen un buen proceso de recolección y separación en la fuente, convirtiéndose en focos de contaminación, los cuales, mediante una gestión social y política pueden transformarse en materiales aprovechables para la reutilización, por ende, el autor plantea una metodología en la que propone una estrategia que conlleve a la buena utilización de estos residuos para ampliar su ciclo de vida y generar nuevos materiales de construcción que representen una alternativa.

Siguiendo por esta misma línea, se encuentra la investigación de Trujillo y Quintero (2021), quienes plantean un análisis del escenario de la construcción sostenible y el manejo de los RCD en la ciudad de Bogotá, con el fin de comprender estas dinámicas y determinar la importancia que tiene construir ciudades más sostenibles que respondan a las necesidades medioambientales de los países. En relación con esto, se presenta la investigación de García (2003) en el que examina la cantidad de escombros de construcción y demolición generados en la ciudad de Bogotá con el fin de caracterizarlos estableciendo el lugar más apto para la disposición de los mismos para contribuir de esta manera al desarrollo sostenible de la capital del país.

Continuando, se encuentra el estudio de caso de Pacheco, Sánchez, y Páez (2020), en el que desarrollan una alternativa para la elaboración del plan de gestión integral, a partir de un análisis de la legislación nacional y de las ciudades ante el manejo de los RCD, con el fin de brindar un conocimiento que transforme la implementación de estos residuos en pro de las comunidades.

Así mismo, se presenta la investigación de Sánchez R. (2019), en el que analiza la problemática generada por los RCD en la ciudad de Cali, revisando la gestión, tratamiento y aprovechamiento que la ciudad tiene frente a estos y las alternativas medioambientales que deben implementarse para lograr un aprovechamiento efectivo de los Residuos de Construcción y Demolición. Concluyendo, que la ciudad debe generar políticas que controlen y reduzcan estos residuos con el fin de mitigar el impacto medioambiental.

Por último, se encuentra el estudio de Glinka, Vedoya, & Pilar (2006), en el que examinan la posibilidad de reciclar y reutilizar los Residuos de Construcción y de Demolición, además de

otros componentes constructivos, con el fin de mitigar el impacto ambiental, determinando que la reutilización de estos materiales es posible bajo una estrategia de gestión gubernamental que implique la capacitación a la comunidad y una clasificación de los mismos validando sus características aprovechables y sus formas de uso.

3.2 Marco Teórico

Teniendo en cuenta los objetivos de la presente investigación se ha optado por abordar ciertos conceptos que permiten lograr un mayor entendimiento del problema a investigar y las alternativas que tiene la celulosa vegetal dentro de la Ingeniería Civil.

3.2.1 Ingeniería Civil sostenible

El mundo actual exige una transformación medioambiental para la supervivencia del ser humano, por ende, desde la Ingeniería Civil se viene analizando el uso de diversos productos reciclados o de origen natural como mampuestos para la construcción de viviendas, lo que se ha determinado como arquitectura sustentable, que se entiende como el diseño arquitectónico en el que se aprovechan diversos recursos naturales con el fin de mitigar el impacto ambiental de las edificaciones y las industrias de este sector (Demera & Romero, 2018), esto, dado que las edificaciones luego de su construcción continúan produciendo altos niveles de contaminación.

Ahora bien, esta arquitectura sustentable esta intrínsecamente relacionada con la idea que plantea el concepto de construcción sostenible que para Ramírez (s.f.) se define como:

Aquella que, teniendo especial respeto y compromiso con el medio ambiente, implica el uso eficiente de la energía y del agua, los recursos y materiales no perjudiciales para el medio

ambiente, resulta más saludable y se dirige hacia una reducción de los impactos ambientales.

(pág. 30)

Lo que, a su vez, implica una variación en los costos de la construcción, gracias a que el uso de alternativas sustentables representa menores costos de producción y gasto en las viviendas que se desarrollan bajo estos principios. Por ende, la construcción sostenible se convierte en una opción, que obliga a los ingenieros civiles abordar desde la academia esta nueva realidad, que implica un proceso de certificación y verificación para así determinar su factibilidad al momento de desarrollar un proyecto de construcción.

En este sentido, la construcción sostenible se convierte en una necesidad de las sociedades actuales, puesto que representan una transformación en los principios de la misma, que genera una alternativa que influye directamente en las comunidades y en el bienestar de estas, ya que las construcciones convencionales impactan la salud humana, mediante los químicos o compuestos en cada espacio de la vida en sociedad: escuelas, espacios públicos, hogares, etc.; lo cual, tiene una mayor incidencia en los estratos socioeconómicos más bajos, debido a la falta de acceso a la misma calidad de elementos o viviendas (Broutin, s.f.).

Así mismo, la transformación de la construcción sostenible se convierte en una responsabilidad de los profesionales de esta área, dado que la intervención del entorno debe ser medida y pensada bajo las nuevas necesidades medioambientales, pues la intervención en espacios urbanos o rurales tienen que darse a través de la mitigación de impacto que genera la construcción (Rincón & Medina, 2019)

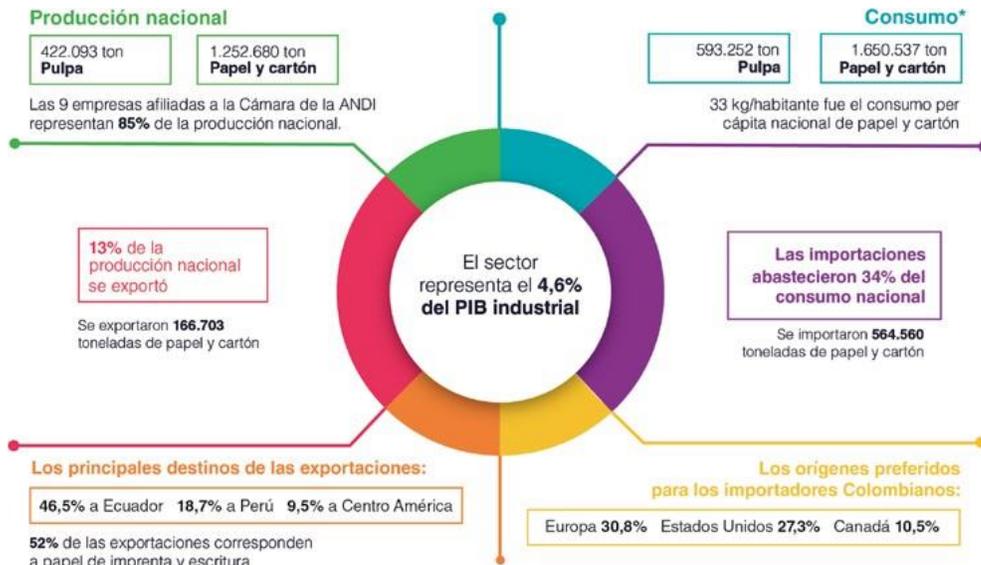
3.2.2 Celulosa vegetal: Un acercamiento como alternativa sostenible

La celulosa vegetal constituye la materia prima del papel y el cartón, esta fue descubierta en 1838 y de ahí en adelante se utiliza en diferentes cosas. Ésta proviene principalmente de madera de los árboles, de fibras vegetales denominadas no maderas procedentes de arbustos como el algodón o el lino, y por último de las fibras recuperadas a través del reciclaje del papel y cartón (lasguíasfvs, 2010).

El cartón es un material formado por papel ondulado de manera estratégica y para que tenga mayor resistencia trabaja verticalmente en medio de dos láminas de papel liso. Existen cuatro tipos de cartón de acuerdo con su materia prima. Cartón sólido o blanqueado utilizado para la industria cosmética y farmacéutica; cartón sólido no blanqueado utilizado para embalajes de bebidas; cartón folding utilizado para envases de alimentos congelados y por último cartón de fibras recicladas que se utiliza para los envases de cereales, etc. (Fernández, García, González, & Rodríguez Negri, 2012, pág 3). Conviene mencionar que, en Colombia, la generación de cartón y papel representa importantes cifras en la industria, siendo parte de los materiales que tienen un mayor consumo en todas las áreas de la sociedad, según Cámara de la Industria de Pulpa, papel y cartón (2017).

Figura 1

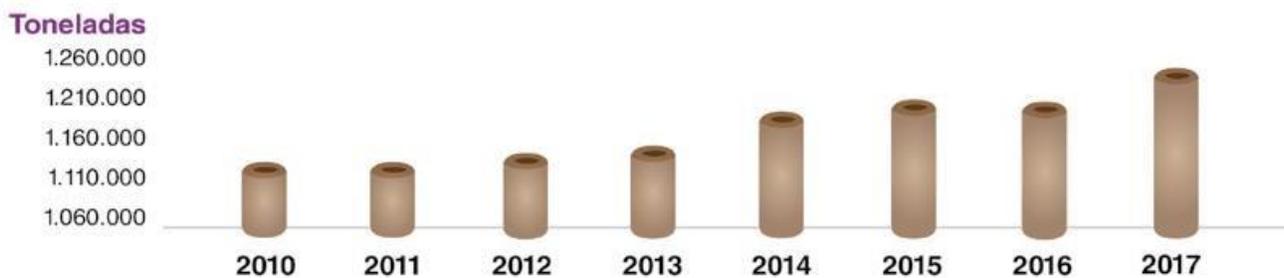
Cifras de la producción, consumo y comercio del cartón y el papel en Colombia año 2017



Nota. La figura muestra la producción, consumo y comercio de pulpa, papel y cartón a nivel nacional, teniendo en cuenta las exportaciones e importaciones. Tomado de Cámara de la Industria de Pulpa, 2017.

Figura 2

Producción nacional de papel y cartón



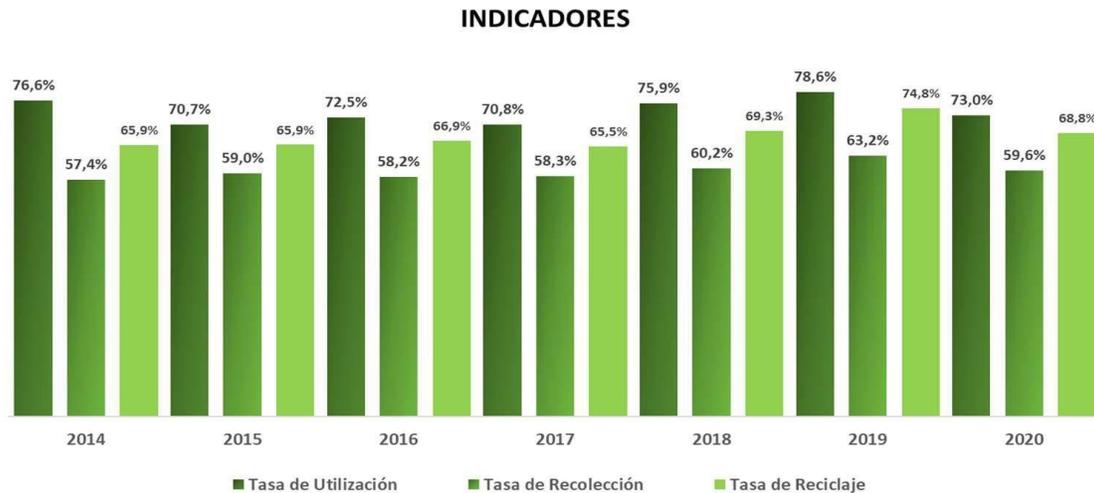
Nota. La figura muestra la producción nacional de papel y cartón durante el periodo comprendido entre 2010 al 2017. Tomado de Cámara de la Industria de Pulpa, 2017.

Ahora bien, luego de su vida útil genera un desecho que debería ser reciclado para alivio del medio ambiente, la regla de las tres R que son reducir, reutilizar y reciclar que son unas de

las bases de esta investigación mitigando la contaminación y generando una alternativa de vivienda.

Figura 3

Indicadores de utilización, recolección y reciclaje de cartón en Colombia



Nota. La figura muestra la tasa de utilización, recolección y reciclaje de Cartón en Colombia. Tomado de Asociación Nacional de Industriales, 2020

Artículos de investigación datan información de la transformación del cartón, aunque no se encuentra mucha información sobre el cartón en mampuestos si se ha investigado como materia prima en otros usos como en los acabados, ecomuebles, tejas de cartón entre otros.

En este sentido, el papel y el cartón pueden convertirse en un complemento para elementos constructivos, a través de un proceso que mezcle estos residuos con cemento para crear nuevos materiales con mayor resistencia. No obstante, para llegar a esto se deben realizar una serie de procesos para la obtención de la celulosa, que Muñoz y Narváz (2019) describen como Mecánicos, Químicos y Semicuímicos, refiriéndose al primero, como al proceso que surge al

triturar una madera contra una piedra o entre placas metálicas; al segundo, como el proceso mediante el cual se disuelven estos materiales gracias a los elementos químicos; y al tercero, como una variante de las pastas químicas que tiene una influencia menos reactiva.

Frente a esto, conviene mencionar las ventajas y desventajas que tiene la celulosa como materia prima para las construcciones. Entre sus ventajas más destacables, es su utilidad como un compuesto alternativo amigable con el medioambiente, 100% reciclable, que tiene una rápida aplicación con menor generación de residuos, el cual contiene sales bóricas que evitan los roedores o insectos y la propagación del fuego. No obstante, sus desventajas son: una alta dispersión en sus propiedades, alta absorción del agua, mala durabilidad en un medio alcalino y poca elasticidad (Muñoz & Narváez, 2019), que la convierten un reto para crear un mampuesto que permita el diseño de un prototipo de ladrillo.

3.2.3 Residuos de Construcción y Demolición (RCD)

Teniendo en cuenta el fenómeno de estudio que aborda la presente investigación y debido a la falta de amplitud del mismo, se ha determinado como categoría de estudio los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), dado que están intrínsecamente relacionados con la creación de celulosa y como aditivos para los materiales de construcción.

Los RCD se entienden como residuos provenientes de la construcción, rehabilitación y demolición de cualquier obra, que están catalogados según su procedencia: Materiales de excavación; Construcción y mantenimiento de obras civiles y Materiales de demolición (Pacheco, Fuentes, Sánchez, & Rondón, 2017) de los cuales se puede extraer materia prima para otros elementos de construcción.

Tabla 1*Clasificación de los RCD*

Categoría	Grupo	Clase	Componentes	
RCD aprovechables	1. Residuos mezclados	Pétreos	Concretos, cerámicos, ladrillos, arenas, gravas, cantos, bloques o fragmentos de roca, baldosín, mortero y materiales no pasantes al tamiz #200	
		2. Residuos de Material Fino	Finos no expansivos	Arcilla, limos y residuos inertes que sobrepasen el tamiz #200
	Finos expansivos		Arcillas y lodos con gran cantidad de finos altamente plásticos y expansivos que sobrepasen el tamiz #200	
	3. Otros residuos	No pétreos	No pétreos	Plásticos, PVC, maderas, papel, siliconas, vidrios y cauchos
			De carácter metálico	Acero, hierro, cobre, aluminio
			Orgánicos	Residuos de tierra negra
			Orgánicos vegetales	Residuos vegetales y otras especies bióticas
	RCD no aprovechable	4. Residuos peligrosos	Corrosivos, reactivos radioactivos, explosivos, tóxicos y patógenos	Desechos producidos por químicos, emulsiones, alquitrán, pinturas, disolventes orgánicos, aceite, resinas, plastificantes, tintas, betunes
		5. Residuos especiales	No definida	Poliestireno, icopor, cartón, yeso
		6. Residuos contaminados con otros residuos	Contaminados con otros residuos	Materiales de las categorías anteriores que se encuentren contaminados por residuos peligrosos. Ejemplo: Cartón untado de aceite

		No definida	Residuos contaminados con otros residuos que hayan perdido sus características propias
Otros	7. Otros residuos	No definida	Residuos que por requisitos técnicos y normativos no es permitido su uso

Nota: Datos tomados de Pacheco, Fuentes, Sánchez, & Rondón (2017)

Estos residuos, si bien provienen de materias primas diversas pueden convertirse en elementos que brindan características de resistencia, absorción, flexibilidad u otras para la creación de otros materiales, los cuales son una alternativa económica y medio ambiental, dado que su aprovechamiento se convierte en una acción sostenible al darles una vida útil.

Frente a esto, Acosta (2002) destaca la importancia que tiene el desarrollar normativas relacionadas con el manejo de RCD, pues por su naturaleza y como se ha nombrado con anterioridad, llegan a tener un ciclo de vida más largo determinado por su buena gestión, pues muchos de estos residuos pueden transformarse en elementos aprovechables para otros fines.

En ese sentido, el cartón es un residuo el cual bajo una buena gestión permite su utilización mediante diversas transformaciones, por ende, la presente investigación lo ha tomado como un elemento esencial que permite la creación de una celulosa útil para desarrollar un prototipo de ladrillo.

3.3 Marco legal

La naturaleza del proyecto conlleva a que sea necesario establecer las normativas colombianas que giran en torno a la Ingeniería Civil y la producción de materiales de

construcción, esto con el fin de entender los parámetros para el diseño de un prototipo de ladrillo a base de celulosa vegetal (cartón reciclado):

Norma Técnica 4026: Ingeniería Civil y Arquitectura. Unidades (bloques y Ladrillos) de concreto para mampostería estructural. La cual tiene como objeto:

1.1 Esta norma establece los requisitos para unidades de mampostería, perforadas o macizas de concreto (véanse los numerales 4.1.1.1 y 4.1.1.2), elaboradas con cemento Pórtland, agua y agregados minerales con la inclusión o no de otros materiales, aptos para elaborar mampostería estructural. Se establecen tres clases de unidades de mampostería de concreto según su peso: de peso normal, de peso medio y de peso liviano, como aparece en la Tabla 3. Existen dos tipos de unidades de mampostería de concreto, Tipo I, de humedad controlada y tipo II de humedad no controlada. Según la resistencia a la compresión se establecen dos clases de unidades, de resistencia alta y de resistencia baja. Las unidades que cumplan con esta norma también se pueden utilizar para elaborar mampostería no estructural.

1.2 Las unidades de mampostería de concreto a las que se refiere esta norma se pueden elaborar con agregados de peso liviano, de peso normal, o de ambos.

1.3 Los valores se deben registrar de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades. Véase la NTC 1000 (ISO 1000).

Nota 1. Los rasgos particulares de apariencia, tales como la textura, el acabado, el color u otras propiedades (como la clasificación por peso, una mayor resistencia a la compresión, la resistencia al fuego, y el desempeño térmico o acústico), los debe especificar el comprador por separado. Se debe consultar a los proveedores locales para averiguar sobre la disponibilidad de unidades con las características deseadas antes de iniciar los diseños que

especifiquen dichas unidades. (ICONTEC, Norma Técnica 4026: Ingeniería Civil y Arquitectura. Unidades (bloques y Ladrillos) de concreto para mampostería estructural, 1997)

Norma Técnica 4205: Ingeniería Civil y Arquitectura. Unidades de Mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y Bloques Cerámicos. Que tiene como objeto:

- 1.1.1.1.1 Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos y bloques cerámicos utilizado como unidades de mampostería y fija los parámetros con que se determinan los distintos tipos de unidades.
- 1.1.1.1.2 Los valores se deben regir de acuerdo con el sistema internacional de unidades (véase la NTC 1000.) (ICONTEC, NTC 4205, 2000)

Norma Técnica 6033: Etiquetas Ambientales Tipo 1. Sello Ambiental colombiano (SAC). Criterios Ambientales para ladrillos y bloques de arcilla. La cual tiene como objeto:

Esta norma específica los requisitos ambientales para ladrillos y bloques de arcilla y demás productos afines de la industria ladrillera.

El cumplimiento de los requisitos ambientales especificados en esta norma permite que el interesado obtenga el Sello Ambiental Colombiano, etiqueta Tipo 1.

NOTA Existen algunos criterios adicionales incluidos en el Manual de Gestión y Uso del Sello Ambiental Colombiano y en la resolución 1555 de 2005. (ICONTEC, NTC 6033, 2013.

4 Metodología

Para los fines de este proyecto de investigación se tienen en cuenta las recomendaciones aportadas por Bernal (2010) en cuanto a la construcción del diseño metodológico adecuado a los objetivos. En ese sentido, se opta por una investigación de tipo experimental que dé cuenta de las características y ensayos que se tendrán en la elaboración del prototipo y los ajustes acertados ante los resultados de las primeras pruebas. Esto, debido a que la investigación experimental “se caracteriza porque en ella el investigador actúa conscientemente sobre el objeto de estudio” (Bernal, 2010, pág. 117), teniendo en cuenta los efectos que pueden generar sus objetivos en la muestra y las posibles consecuencias a partir de la misma.

Frente a esto, conviene mencionar que la investigación experimental es categorizada por los expertos como un proceso característico de las ciencias naturales:

Debido a que por razones de carácter axiológico (ético) se cuestionan las implicaciones que ésta pueda tener en el ser humano en el acto de manipular, provocar y ejercer acciones por los investigadores, quienes reducirían al ser humano al nivel de un objeto manipulable. (Bernal, 2010, pág. 118)

Por ende, este tipo de investigación se adapta al presente proceso investigativo, ya que el principal objeto de estudio es el desarrollo de un prototipo de ladrillo a base de celulosa vegetal, el cual no solo ve al ser humano como un objeto sino también como beneficiario de la investigación.

Conviene mencionar, que al ser una investigación experimental se diseñará bajo un modelo de experimento puro, ya que se va a realizar un proceso en el que se tiene todo el control sobre los factores que pueden alterar el proceso, y, además, se realizará una comparación en los prototipos diseñados, con fin de validar su funcionamiento (Arias, 2006).

Bajo este mismo lineamiento, esta investigación cumplirá con los dos criterios que determina Arias (2006) para los experimentos puros:

- ✓ Validez interna: Consiste en garantizar que los efectos o resultados son producto de la variable independiente o tratamiento y no de otros factores variables intervinientes que deben ser controladas.
- ✓ Validez externa: se refiere a la posibilidad de generalizar o extender los resultados a otros casos y en otras condiciones. (p.36)

Ahora bien, para lograr una mayor profundidad en la investigación se empleó un enfoque mixto entre herramientas investigativas cualitativas y cuantitativas en la utilización de técnicas. La revisión de los documentos que hayan marcado una incidencia en este tipo de investigaciones y proyectos serán tenidas en cuenta en una primera fase de la investigación para propender por la rigurosidad de los instrumentos utilizados en la fase de experimentación y diseño del prototipo. La información recolectada e interpretación servirá en el término de recomendaciones.

El enfoque cuantitativo que se tendrá en cuenta responde a lo propuesto por Monje Álvarez (2011), citado por Aranzales Sánchez (2020), en el estudio y evaluación de las variables que se den en la investigación. El autor sustenta que:

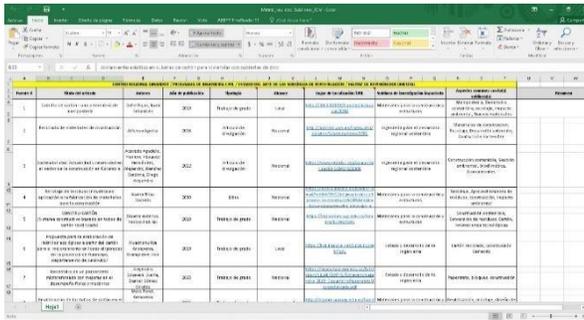
Desarrollar una investigación desde el punto de vista cuantitativo, consiste en la proyección del trabajo a partir de una estructura lógica de decisiones y una estrategia que permita la obtención de respuestas adecuadas a las problemáticas expuestas inicialmente, a partir de fases y etapas que consisten en la recolección, presentación, el análisis e interpretación de la información y por último las conclusiones y recomendaciones pertinentes (p.15)

En ese sentido, la ruta metodológica proviene de la elaboración de un proyecto inicial de recolección de información mediante revisión documental y la elección de las técnicas de pruebas acertadas en una división sistemática por fases para la mejora consecuente en el paso de cada una de ellas para obtener un prototipo consistente de las respuestas experimentadas y los usos a los que se ajusta sean coherentes con la iniciativa y los propósitos y objetivos que se han establecido. Conviene mencionar que, también se desarrolló una encuesta con el fin de analizar si las personas estarían dispuestas a comprar este tipo de ladrillo a base de celulosa vegetal, con el fin de analizar su pertinencia en el mercado y para los sectores de la construcción.

Teniendo en cuenta eso, se propone un cuadro metodológico que describa las fases que se van a trazar para cumplir los objetivos aquí planteados.

Tabla 2

Fases de Investigación

Fase	Actividad	Objetivo	Evidencia
Fase 1: Etapa de investigación.	Examinar los textos existentes que describan diseños y prototipos de mampuestos de origen vegetal.	Diseñar y construir un mampuesto a base de cemento y celulosa de origen vegetal que cumpla con la normatividad colombiana.	

<p>Fase 2: Recolección de material</p>	<p>Reunir y almacenar el material (Cartón) dispuesto para reciclar de las obras civiles y comercios del sector, realizando previa solicitud para la gestión de estos residuos.</p>	<p>Diseñar y construir un mampuesto a base de cemento y celulosa de origen vegetal que cumpla con la normatividad colombiana.</p>	
<p>Fase 3: Elaboración de prototipos</p>	<p>Crear los cuatro prototipos de ladrillos con diversos materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prototipo 1 (cartón triturado) • Prototipo 2 (cartón triturado) • Prototipo 3 (cartón triturado) • Prototipo 4 (Pulpa de cartón) 	<p>Determinar la dosificación de celulosa vegetal (cartón) y cemento.</p>	

<p>Fase 4: Ensayos prototipos</p>	<p>Se realizaron pruebas de laboratorio para medir la resistencia, absorción de cada uno de los prototipos.</p>	<p>Realizar ensayos de laboratorio para determinar la resistencia mecánica y el nivel de absorción del mampuesto.</p>	
<p>Fase 5: Comparación de factibilidad</p>	<p>Analizar la diferencia entre cada uno de los prototipos desarrollados y determinar cuál de ellos tiene las mejores capacidades.</p>	<p>Determinar los costos entre el nuevo mampuesto a base de celulosa vegetal extraída del cartón y compararlo con el mampuesto tradicional.</p>	

Nota. Elaboración propia

5 Resultados, conclusiones y recomendaciones

5.1 Resultados

5.1.1 Elaboración de los prototipos

Para desarrollar la presente investigación se diseñaron cuatro prototipos de ladrillo, donde cada uno tenía características diversas, gracias a que estos se elaboraron con una variación distinta del cartón, es decir, que algunos se diseñaron con cartón triturado y pulpa de cartón:

5.1.1.1 Procedimiento 1: Prototipos del 1 al 3 (cartón triturado)

- Selección del cartón, retirando material plástico que este adherido a este
- Rasgado del cartón en partes pequeñas.
- Se pasa el cartón a la máquina trituradora del semillero SIMATSCON.
- Se dosifica la cantidad de cemento, cartón triturado, agua y aditivos.
- Se realiza la mezcla de los materiales.
- Se lleva la mezcla a la formaleta con dimensiones (26.5cm x13cm x8cm) previamente impregnada de desencofrante.
- Se procede a disponer la mezcla en 3 capas ejerciendo presión manualmente con un pisón de madera.
- Se deja en reposo por 24 horas para desencofrar el prototipo.
- Luego de desencofrar los prototipos se dejan fraguar por 28 días para que lleguen a su punto máximo de resistencia.

- Al haber pasado el tiempo especificado anteriormente se llevan los prototipos al laboratorio para realizarle los ensayos pertinentes de resistencia, compresión y absorción.
- Después de realizar los ensayos y obtener los datos se determina si el prototipo es mejor que el ladrillo convencional y es viable la implementación de este tipo de material (cartón) en la elaboración de mampuestos.

Tabla 3

Materiales prototipo 1

Materiales	Porcentajes
Cartón	70%
Cemento	30%
Agua	700 ml

Nota. Elaboración propia

Tabla 4

Materiales prototipo 2

Materiales	Porcentajes
Cartón	75%
Cemento	25%
Agua	1000 ml

Nota. Elaboración propia

Tabla 5

Materiales prototipo 3

Materiales	Porcentajes
Cartón	75%
Cemento	25%
Agua	1000 ml
Aditivos	60gr

Nota. Elaboración propia

5.1.1.2 Procedimiento 2: Prototipo 4 (Pulpa de Cartón)

- Selección del cartón, retirando material plástico que este adherido a este.
- Rasgado del cartón en partes pequeñas.
- Se pasa el cartón a la máquina trituradora del semillero SIMATSCON.
- Se sumerge el material triturado en recipientes con agua y se deja reposar por aproximadamente 12 horas.
- Se procede a licuar el cartón húmedo por 20 segundos.
- Se lleva el cartón nuevamente a un contenedor de agua por 1 minuto.
- Seguido a esto se realiza un tamizado con tela de velo suizo, donde se le extrae la mayor cantidad de agua posible.
- Se desmenuza el cartón y se coloca en un recipiente listo para la mezcla.
- Se dosifica la cantidad de cemento, celulosa vegetal (cartón), agua y aditivos.
- Se realiza la mezcla de los materiales.
- Se lleva la mezcla a la formaleta con dimensiones (23cm x11cm x7.5cm) previamente impregnada de desencofrante.
- Se procede a disponer la mezcla en 3 capas ejerciendo presión manualmente con un pisón de madera.
- Se deja en reposo por 24 horas para desencofrar el prototipo.
- Luego de desencofrar los prototipos se dejan fraguar por 28 días para que lleguen a su punto máximo de resistencia

- Al haber pasado el tiempo especificado anteriormente se llevan los prototipos al laboratorio para realizarle los ensayos pertinentes de resistencia a la compresión, determinación del peso y absorción.
- Después de realizar los ensayos y obtener los datos se determina si el prototipo es mejor que el ladrillo convencional y es viable la implementación de este tipo de material (cartón) en la elaboración de mampuestos.

Tabla 6*Materiales prototipo 4*

Materiales	Porcentajes
Cartón	73%
Cemento	27%
Agua	500 ml
Aditivos	60gr
Aditivo liquido	95ml

*Nota. Elaboración propia***5.1.2 Ensayos**

Ahora bien, teniendo en cuenta la naturaleza de la presente investigación se realizaron los debidos ensayos para observar las características físicas de los prototipos y así poder determinar su factibilidad según lo establecido por la normatividad colombiana.

Tabla 7*Peso de los prototipos***Ladrillo a base de Cartón**

Numero de prototipo	Peso gr.	Observación
Prototipo 1	1815	

Prototipo 2	1173	El prototipo 1 se dejó a la intemperie para demostrar la durabilidad frente a las condiciones climáticas, pero no resistió a estas, el prototipo 2 se le realizó la prueba de absorción demostrando alta permeabilidad, sin presentar deformaciones considerables.
Prototipo 3	1793	
Prototipo 4	1283	

Nota. Elaboración propia

Tabla 8

Ensayo de compresión

Ladrillo Convencional de arcilla

Numero de espécimen	Peso gr	Resultado de laboratorios Mpa	Observación
Espécimen 1	2550	1,41	Ruptura Total
Espécimen 2	2634	3,07	Ruptura Total

Ladrillo a base de cartón

Numero De prototipo	Peso	Resultado De Laboratorios Mpa	Observación
Prototipo 1	1815	No aplica	El prototipo 4 se le realizó la prueba de resistencia a la compresión demostrando una deformación sin presentar rupturas
Prototipo 2	1173	No aplica	
Prototipo 3	1793	3,16	
Prototipo 4	1283	0,4	

Nota. Elaboración propia

Tabla 9*Prueba de absorción*

Prototipo	Peso seco gr	Peso Mojado gr	Porcentaje de absorción
Prototipo 2	1276	2344	83,6%
Prototipo 3	1173	1588	34,9%

*Nota. Elaboración propia***5.1.2.1 Comparación de precios****Tabla 10***Comparación precios*

Comparación de precios mampuestos	
Precio prototipo celulosa vegetal (Cartón)	\$ 1.496
Precio mampuesto de arcilla tradicional	\$ 800

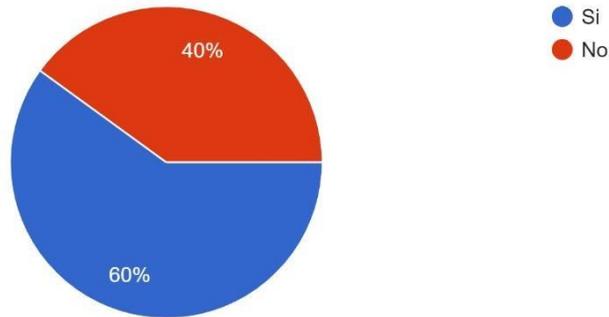
*Nota. Elaboración propia***5.1.3 Encuesta**

Ahora bien, a partir del proceso realizado con los prototipos de ladrillos con celulosa vegetal se hizo necesario realizar una encuesta que permitiera visualizar la percepción de personas adscritas al mundo de la construcción, es decir, de ingenieros civiles, constructoras y académicos con el fin de entender su pertinencia en esta área.

Figura 4

Prácticas sostenibles en la construcción

¿Conoce practicas amigable que se estén realizando desde el sector de la construcción?
5 respuestas

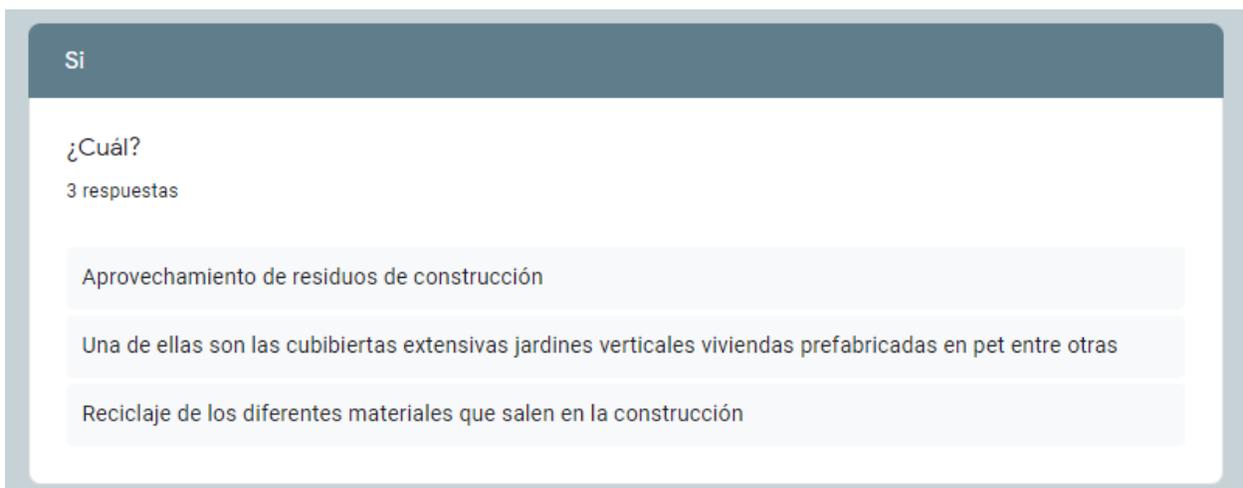


Nota. Elaboración propia

De las personas encuestadas el 60% de ellas conocen prácticas sostenibles en el sector de la construcción y el 40% no tienen conocimiento sobre estas alternativas medioambientales. Las personas que tienen conocimiento sobre las prácticas han nombrado algunas de estas, cómo se puede reflejar en la Figura 5, mostrando una diversidad de alternativas en este sector.

Figura 5

Prácticas amigables que conocen



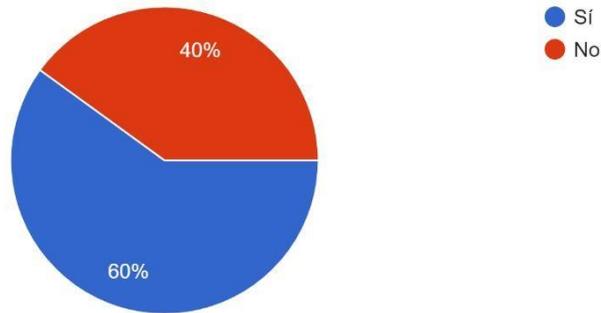
Nota. Elaboración propia

Figura 6

Reciclaje de cartón

¿En las obras que realizan, reciclan el cartón?

5 respuestas



Nota. Elaboración propia

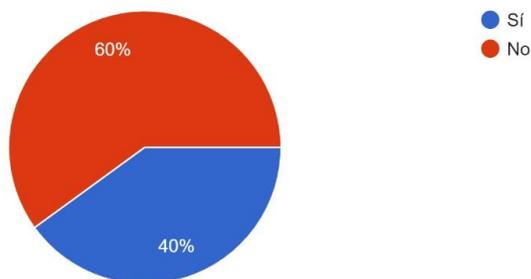
Frente al reciclaje de cartón en las obras que realizan los participantes encuestados, se logró determinar que el 60% de ellos utilizan esta práctica medioambiental y el 40% no lo realizan. Mostrando que aún no todos los involucrados en el sector de la construcción establecen prácticas amigables que creen alternativas para el mismo ámbito.

Figura 7

Conocimiento sobre ecoladrillos

¿Sabía que se pueden construir ladrillos con material reciclado como el cartón?

5 respuestas



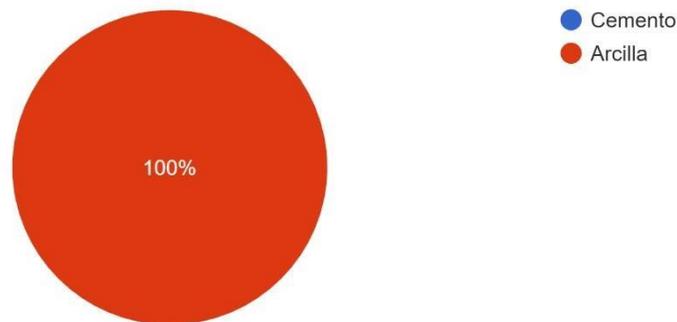
Nota. Elaboración propia

Frente a sí conocen que se puede construir ladrillos con material sostenible 60% de los encuestados contestaron que no tenían conocimiento sobre este tema y 40% de ellas marcaron una respuesta positiva, exponiendo que falta mayor divulgación sobre las alternativas sostenibles.

Figura 8

Preferencia de ladrillo

¿Cuál es el ladrillo de su preferencia de acuerdo al material?
5 respuestas



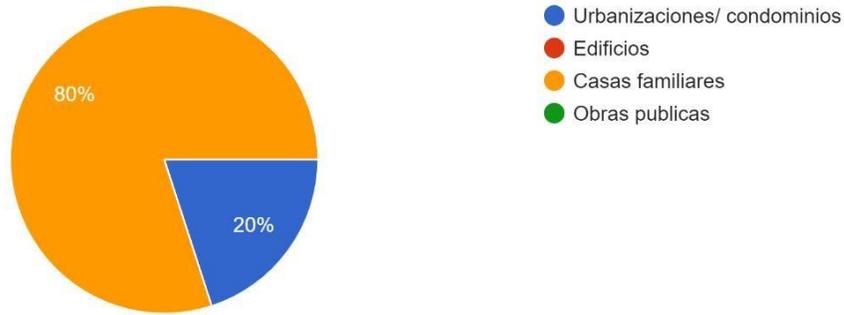
Nota. Elaboración propia

Sobre la preferencia de ladrillo que tienen los encuestados al momento de realizar una construcción, se observó que el 100% de los encuestados prefieren un ladrillo fabricado con arcilla, esto gracias a la confianza que se tiene con el material y las pruebas técnicas que durante años se le han realizado mostrando mayor resistencia y absorción.

Figura 9

Tipo de obras

¿Qué tipo de obras construye con mayor frecuencia?
5 respuestas



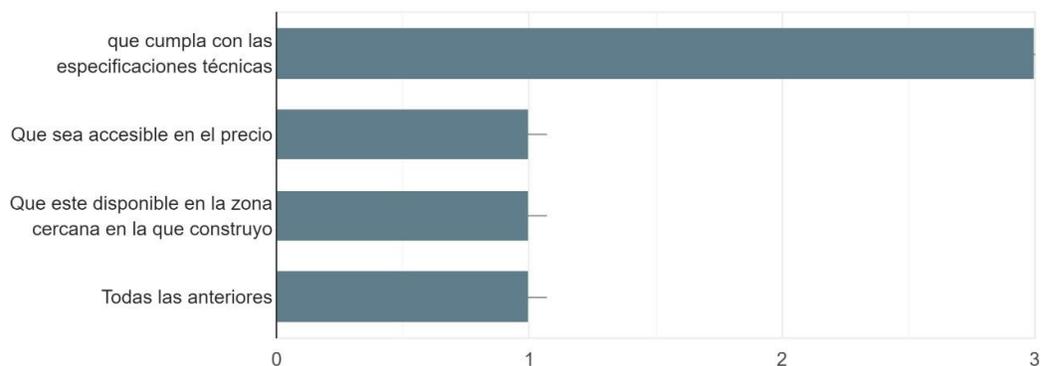
Nota. Elaboración propia

Ahora bien, sobre el tipo de obras que construyen las personas encuestadas se estableció que 80% se dedica a la construcción de casas familiares y el 20% a urbanizaciones y condominios, permitiendo observar que en el municipio de Girardot el sector de las casas familiares es uno de los más fuertes en el mercado.

Figura 10

Qué considera al comprar un ladrillo

¿Qué tiene en consideración a la hora de comprar un ladrillo?
5 respuestas



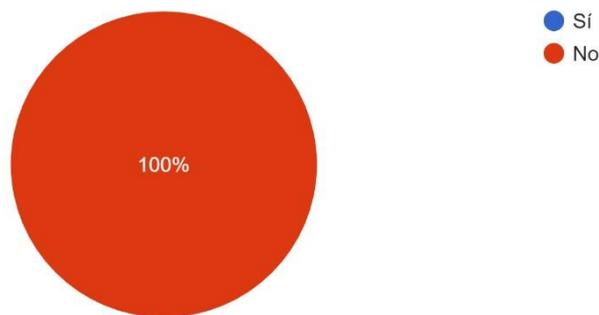
Nota. Elaboración propia

Frente a las consideraciones que tienen las personas al momento de comprar ladrillos, la característica más importante fue que estos cumplan con las especificaciones técnicas establecidas por la normativa colombiana, esto quiere decir que el 60% de los encuestados tienen presente la calidad de los materiales y su proceso de diseño y certificación.

Figura 11

Ecoladrillo y método de reciclaje

¿Sabe usted que es un ecoladrillo y que este es un buen método de reciclaje?
5 respuestas



Nota. Elaboración propia

Frente al conocimiento que tienen los encuestados sobre los Ecoladrillos y los métodos para realizar un buen reciclaje, se determinó que no conocen sobre estas alternativas medio ambientales, dado que no han obtenido información sobre este tema a nivel nacional o no lo han implementado en sus procesos de construcción cómo se puede observar en la figura 12.

Figura 12

Justificación Ecoladrillos

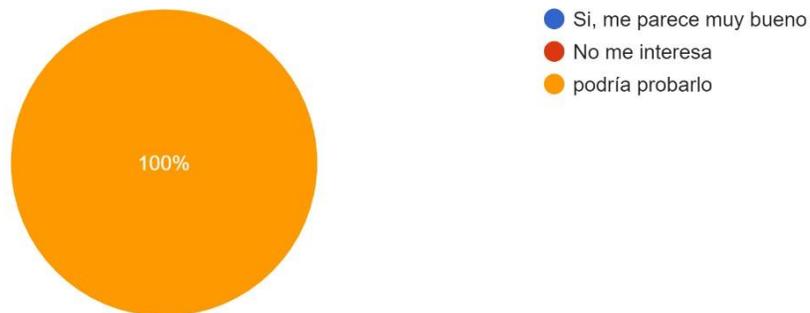


Nota. Elaboración propia

Figura 13

Implementación ecoladrillos en construcciones

¿Usted implementaría ecoladrillos hecho de Cartón reciclado y cemento en sus construcciones?
5 respuestas



Nota. Elaboración propia

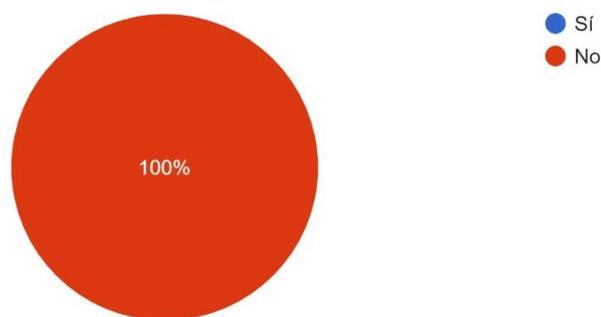
Sobre si las personas encuestadas utilizarían ecoladrillos en sus construcciones se logró determinar que el 100% de ellas si lo probarían en algún momento en sus proyectos, siendo una posibilidad para visibilizar estas alternativas medioambientales.

Figura 14

Resistencia ecoladrillos

¿Sabe usted que los ecoladrillos hechos de cartón reciclado y cemento son resistentes tanto como los convencionales?

5 respuestas



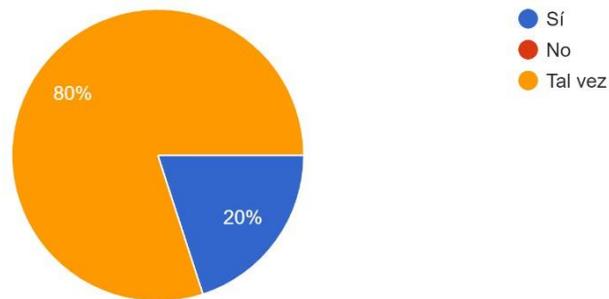
Nota. Elaboración propia

Ahora bien, al encuestar a los participantes sobre si conocen las propiedades de los ecoladrillos, se observó que el 100% de ellos no conocen que esta alternativa para la construcción posee características de resistencia igual o superior al ladrillo de arcilla o cemento.

Figura 15

Disposición a comprar ecoladrillos

¿Usted estaría dispuesto a comprar un ecoladrillo hecho de cartón reciclado y cemento?
5 respuestas



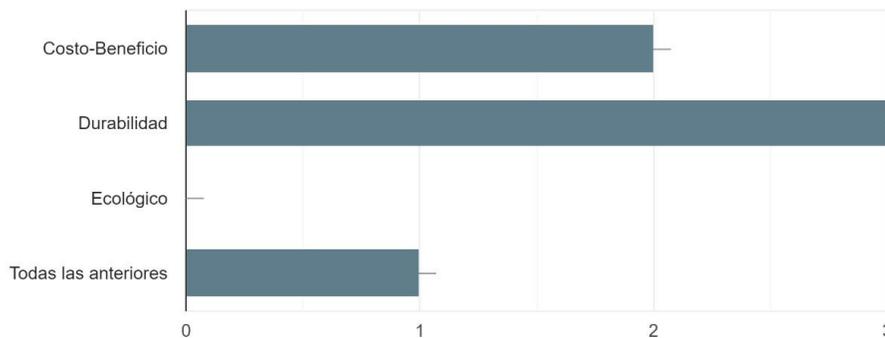
Nota. Elaboración propia

Frente a la compra de ecoladrillos por parte de los encuestados, se determinó que el 80%, probarían con la compra de un ecoladrillo para usarlos en sus proyectos de construcción, mientras el 20%, estaría completamente convencida de comprarlo para sus obras.

Figura 16

Características Ecoladrillos

¿Qué características valoraría o esperaría encontrar en un ecoladrillo de cartón reciclado y cemento?
5 respuestas



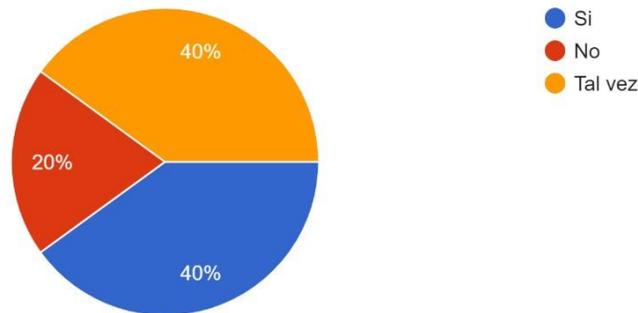
Nota. Elaboración propia

En cuanto a las características que los encuestados buscan en una alternativa medioambiental en los materiales de construcción, se estableció que para un ladrillo este debe destacar por su durabilidad, luego por su relación costo-beneficio y por último tener todas estas características juntas.

Figura 17

Costo ecoladrillos

Sabiendo que un ecoladrillo hecho de cartón reciclado y cemento cuesta mas que un ladrillo tradicional ¿estaría dispuesto a comprarlo ya qu...n cuenta que ofrece un menor peso y deformación?
5 respuestas



Nota. Elaboración propia

Por último, se consultó con los encuestados si estarían dispuestos a comprar un ecoladrillo teniendo en cuenta que tiene un precio un poco más elevado que el ladrillo tradicional, determinando que el 40% de ellos estaría dispuesto a probarlos; el 40% si lo comprarían y el 20% no estaría dispuesto a pagar este precio.

5.2 Conclusión

A partir del proceso de investigación realizado y los resultados obtenidos en las pruebas experimentales se logró determinar la combinación más apta para desarrollar un prototipo de ladrillo a base de celulosa vegetal (cartón), que lo haría más manejable al momento de emprender un proyecto constructivo maximizando el rendimiento de la actividad de mampostería. De igual forma, gracias a que en los ensayos de laboratorio realizados se evidenció que tiene una resistencia mecánica ligeramente superior a los mampuestos tradicionales de arcilla, puede considerarse como una posible opción para la sustitución de estos.

Ante esto, se hace evidente la necesidad de realizar más ensayos en laboratorios especializados que permitan observar más a fondo la composición del prototipo y así poder establecerlo como una alternativa para los ladrillos tradicionales, que en una primera instancia permitió visibilizar la celulosa vegetal (cartón) como un material viable para la creación de ladrillos más amigables con el medio ambiente y en concordancia con los objetivos de desarrollo sostenible.

En relación con las investigaciones propuestas por los diferentes autores consultados, una vez más se evidencia que el cartón funciona como base en la elaboración de materiales para la construcción demostrando buenas cualidades en su aprovechamiento, abriendo nuevos horizontes para implementar soluciones viables e innovadoras que generen un valor agregado ante las necesidades constructivas que demanda la sociedad actual.

5.3 Recomendaciones

- Para futuras investigaciones se recomienda realizar los ensayos pertinentes en laboratorios certificados de acuerdo con el material que está compuesto el prototipo. Se recomienda usar en interiores para evitar la absorción de agua, si se desea utilizar en exteriores debe usarse un recubrimiento de baja permeabilidad.
- Continuar con la investigación para realizar más prototipos, mejorando las características de absorción y resistencia.
- Buscar opciones que conlleven a reducir el costo del prototipo.
- Realizar ensayos para determinar su comportamiento frente a una prolongada exposición al fuego.

6 Bibliografía

Asociación Nacional de Industriales. (2020). *Informe estadístico histórico total del año*. ANDI.

Acosta, D. (2002). Reducción y gestión de residuos de la construcción y demolición (RCD).

Tecnología y construcción.

Acuña, K., & Quispecondori, Y. (2021). Incorporación de celulosa de papel periódico en la elaboración de bloques de concreto para muros portantes. [*Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión*].

Aldana López, Y. R., & Ramírez, O. Y. (2015). Tejas de cartón reutilizado como alternativa de cubierta. [*Tesis de pregrado, Universidad La gran Colombia*].

Aragón, R. S. (2016). *Análisis del uso del papel multipliego extensible y cartón corrugado como relleno en muros de placas de yeso laminado y fibrocemento para absorción acústica*. Universidad Andina del Cusco, Cusco, Perú.

Aranzales Sánchez, M. P. (2020). Diseño de ecocubiertas en material plástico reciclado reforzado con fibra de fique (*furcraea andina*) para una vivienda sustentable en el rural de Tocaima, Colombia. 2020. Universidad Piloto de Colombia, Colombia.

Arias, F. (2006). *El proyecto de investigación*. Editorial Episteme.

Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la investigación. Administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (Tercera ed.). Colombia: PEARSON EDUCACIÓN.

Broutin, M. (s.f.). Sostenibilidad y Salud. Beneficios de la arquitectura sostenible para la salud.

[Tesis de posgrado, Universidad Politécnica de Cataluña.

Calle, R. J. (2018). Ladrillo de cartón -una alternativa de mampostería. *[Tesis de pregrado,*

Universidad Católica de Cuenca.

Cámara de la Industria de Pulpa, p. y. (2017). *Informe de sostenibilidad 2017*. ANDI.

Cervantes, G. L., Valdés del Río, E., & González, E. R. (Mayo-Agosto de 2010). Una

construcción elaborada con muros de papel y cartón comprimidos más otros residuos.

Acta universitaria universidad de Guanajuato, 20(2), 31-39.

Céspedes Bocanegra, D. K. (2017). Diagnóstico preliminar del manejo y clasificación de los residuos

sólidos no peligrosos aprovechables en tres empresas de reciclaje en el municipio de girardot

cundinamarca. *(Trabajo de grado)*. Universidad de Cundinamarca, Girardot, Colombia.

Cuba, A., & Garzón, L. (2020). Paneles tipo sándwich a base de celulosa reciclada para fachadas

. *[Tesis de pregrado, Universidad La Gran Colombia.*

Demera, C. S., & Romero, R. B. (2018). Evaluación del uso de los residuos de cascarilla de arroz

(*Oryza sativa* L.) como agregado en bloques para la construcción. *[Tesis de pregrado,*

Escuela superior politécnica agropecuaria de Manabí Manuel Feliz López].

Elizalde, L. (2005). Caracterización de mezclas de mortero a base de celulosa/ papel reciclado

para fabricación de elementos constructivos. *[Tesis de posgrado, Instituto tecnológico y*

de estudios superiores de Monterrey] .

Fernández, W., García, C. V., González, M. M., & Rodríguez Negri, M. C. (2012).

“EcoMuebles” Construcción de muebles a partir de cartón reutilizado. *Universidad*

Nacional de la Matanza.

García, L. (2003). Sostenibilidad de la disposición de escombros de construcción y demolición en Bogotá. [*Tesis de Posgrado, Universidad de los Andes*].

Glinka, M., Vedoya, D., & Pilar, C. (2006). Estrategias de reciclaje y reutilización de residuos sólidos de construcción y demolición. *Jornadas de investigación*.

ICONTEC. (1997). *Norma Técnica 4026: Ingeniería Civil y Arquitectura. Unidades (bloques y Ladrillos) de concreto para mampostería estructural*.

ICONTEC. (2000). *Norma Técnica Colombiana 4205: Ingeniería Civil y Arquitectura. Unidades de mampostería de Arcilla cocida. Ladrillos y Bloques cerámicos*.

ICONTEC. (2013). *Norma Técnica 6033: Etiquetas Ambientales Tipo 1. Sello Ambiental colombiano (SAC). Criterios Ambientales para ladrillos y bloques de arcilla*.

Las guíasfvs. (septiembre de 2010). Obtenido de <http://www.larutadelaenergia.org/pdf/fvs/GFVSpapelymadera.pdf>

Monje Álvarez, C. A. Universidad Sur colombiana. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa. Guía didáctica*. Colombia.

Montaña, J. A., & Zarta, J. C. (2017). Concreto modificado con papel reciclado. [*Tesis de pregrado, Universidad Piloto de Colombia*].

Muñoz, A., Chejne, F., Espinel, J., & Londoño, C. (2006). Evaluación de la celulosa de papel y de las cenizas de carbón, como materiales aislantes alternativos. *Dyna*.

Muñoz, D., & Narváez, J. (2019). Construcción sostenible de paneles prefabricados utilizando yeso y celulosa reciclada. [*Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador*].

- Orjuela, C. Y. (2018). Construcartón (sistema constructivo basado en tubos de cartón reutilizado). *[Tesis de pregrado, Universidad La gran Colombia]*.
- Pacheco, C., Fuentes, G., Sánchez, É., & Rondón, H. (2017). Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión. *Ingeniería y Desarrollo*, 533-555.
- Pacheco, C., Sánchez, E., & Páez, C. (2020). Una visión de ciudad sostenible desde el modelo de gestión de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) caso de estudio: Barranquilla. *Tecnura*.
- Ramírez, A. (s.f.). La construcción sostenible. *Física y Sociedad*.
- Reyes, D., & Cornejo, Y. (2014). Estado del arte de la construcción con materia reciclable. *[Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]*.
- Rincón, N., & Medina, I. (2019). Análisis de la construcción sostenible frente a la construcción convencional desde el punto de vista de costos y beneficios: Caso refugio Toibia, Paipa-Boyacá. *Revista Universidad Libre*.
- Romero, P. J. (2017). *Elaboración de un revestimiento de pared utilizando cartón reciclado y elementos tradicionales para viviendas de interés social*. UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL, Guayaquil, Ecuador.
- Sánchez, P. N. (2020). Reutilización de residuos de construcción y demolición (RCD) en la industria de la construcción. *[Tesis de pregrado, Universidad Militar Nueva granada]*.

Sánchez, R. (2019). Aprovechamiento y gestión de Residuos de Demolición y Construcción en la ciudad de Santiago de Cali. *[Trabajo de Investigación, Universidad Santiago de Cali]*.

Tamayo, A., Herrera, F., & Montero, N. (2018). Material compuesto para la construcción a partir de celulosa del papel y cartón reciclado. *Memorias IDESTSCA*.

Trujillo, L., & Quintero, P. (2021). Análisis del manejo de Residuos de construcción y Demolición RCD y sostenibilidad en la construcción en Bogotá D.C. *[Trabajo de pregrado, Universidad de la Salle]*.

Valero, J. A., Vargas, N., & Vargas, Y. (2015). Ecobrik ladrillo ecológico a base de papel reciclado para muros divisorios. *[Tesis pregrado, Universidad La gran Colombia]*.

Villamizar, K., & Pérez, J. (2017). Elaboración de paneles de celulosa como material constructivo no estructural. *[Tesis de pregrado, Universidad de Santander]*.

Anexos

Anexo 1

Evidencia fotográfica diseño prototipos



Nota. Recolección de cartón



Nota. Triturado de cartón



Nota. Triturado de cartón 2



Nota. Dosificación cemento



Nota. Dosificación agua



Nota. Mezclado



Nota. Dosificación cartón



Nota. Dosificación cartón



Nota. Compactación de la mezcla



Nota. Compactación de la mezcla 2



Nota. Prototipos desencofrados



Nota. Prototipo desencofrado



Nota. Materiales pulpa de cartón



Nota. Mezclado cartón remojado



Nota. Licuado del Cartón



Nota. Tamizado cartón



Nota. Aplicación del desencofrado en la formaleta



Nota. Proceso de mezclado para prototipo #4



Nota. Vaciado de la mezcla en la formaleta



Nota. Vaciado de la mezcla



Nota. Prototipos en formaleta



Nota. Prototipo desencofrado



Nota. Prototipo seco



Nota. Pesaje prototipos



Nota. Pesaje ladrillo de arcilla



Nota. Prueba de compresión ladrillo de arcilla



Nota. Prueba de compresión prototipo #3



Nota. Resultado de ensayo prototipo #3



Nota. Prototipo pesado en seco



Nota. Prototipo pesado en húmedo

Anexo 2

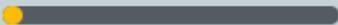
Formulario encuesta

Encuesta sobre ecoladrillos elaborados a partir de celulosa vegetal (cartón reciclado)

¿Conoce practicas amigable que se estén realizando desde el sector de la construcción? *

Si

No

[Siguiete](#)  Página 1 de 16 [Borrar formulario](#)

Si

¿Cuál? *

Tu respuesta

¿En las obras que realizan, reciclan el cartón? *

Sí

No

¿Sabía que se pueden construir ladrillos con material reciclado como el cartón? *

- Sí
- No

¿Cuál es el ladrillo de su preferencia de acuerdo al material? *

- Cemento
- Arcilla
- Otros: _____

¿Qué tipo de obras construye con mayor frecuencia? *

- Urbanizaciones/ condominios
- Edificios
- Casas familiares
- Obras publicas
- Otros: _____

¿Qué tiene en consideración a la hora de comprar un ladrillo? *

- que cumpla con las especificaciones técnicas
- Que sea accesible en el precio
- Que este disponible en la zona cercana en la que construyo
- Otros: _____

¿Sabe usted que es un ecoladrillo y que este es un buen método de reciclaje? *

- Sí
- No

Porqué

¿Porqué? *

Tu respuesta _____

¿Usted implementaría ecoladrillos hecho de Cartón reciclado y cemento en sus construcciones? *

- Si, me parece muy bueno
- No me interesa
- podría probarlo

¿Sabe usted que los ecoladrillos hechos de cartón reciclado y cemento son resistentes tanto como los convencionales? *

- Sí
- No

¿Usted estaría dispuesto a comprar un ecoladrillo hecho de cartón reciclado y cemento? *

- Sí
- No
- Tal vez

¿Qué características valoraría o esperaría encontrar en un ecoladrillo de cartón reciclado y cemento? *

- Costo-Beneficio
- Durabilidad
- Ecológico
- Otros: _____

Sabiendo que un ecoladrillo hecho de cartón reciclado y cemento cuesta mas que un ladrillo tradicional ¿estaría dispuesto a comprarlo ya que sus características mecánicas son mejores, teniendo en cuenta que ofrece un menor peso y deformación? *

- Si
- No
- Tal vez