

CARTÓN TUBULAR PARA CONSTRUCCIÓN DE CERCHAS

JAISSON YAIR RESTREPO PIÑEROS

CÉSAR ANDRÉS TORRES



UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA

PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS

BOGOTÁ, D.C.

9 / 6 / 2020

Cartón Tubular para construcción De Cerchas

Jaisson Yair Restrepo Piñeros

Cesar Andrés Torres

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
Tecnólogo en Construcciones Arquitectónicas**

Arq. Edgard Mauricio Carvajal Ronderos

Docente



Universidad La Gran Colombia

Facultad De Arquitectura

Programa de Tecnología en Construcciones Arquitectónicas

Bogotá D.C

NOTA DE ACEPTACIÓN

Observaciones

Firma Director Trabajo de Grado

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

CARTÓN TUBULAR PARA CONSTRUCCIÓN DE CERCHAS

Tabla de contenido

Glosario	8
Resumen	10
Abstract	12
Introducción	14
Justificación	16
Alcance y limitaciones.....	17
1. Objetivos	19
1.1. Objetivo General.....	19
1.2. Objetivos Específicos	19
2. Marco Teórico.....	20
2.1. Antecedentes Teóricos	30
3. Marco de referencia.....	36
3.1. Proceso de construcción: fabricación, montaje y uniones	38
4. Marco Normativo.....	45
5. Aspectos Metodológicos	50
5.1. Enfoque	51
5.2. Procedimiento	52
5.3. Proceso constructivo	59
5.4. Análisis y Discusión de Resultados	61
5.5. Beneficios	64
5.6. Conclusiones y Recomendaciones.....	65
Lista de Referencia o Bibliografía.....	67
Anexos.....	70

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Prueba de compresión tubo de cartón</i>	33
Tabla 2 <i>Clasificación de materiales según sus características de propagación de llamas según la norma NTC 1691 (J.2.5-2)</i>	46
Tabla 3 <i>Clasificación de materiales por categorías según la norma NTC 1691 (J.2.5-3)</i> ..	46
Tabla 4 <i>Materiales de fabricación y costos de las cerchas en cartón tubular</i>	62
Tabla 5 <i>Materiales de fabricación y costos de las cerchas en acero</i>	63

Lista de Figuras

Figura 1. Vista frontal y lateral de la fachada construida con cartón tubular para uso residencial.....	23
Figura 2. Vista posterior de una fachada construida con cartón tubular para uso residencial con los detalles constructivos de las uniones con varillas roscadas.	24
Figura 3. Prueba de impermeabilización la cual consistió en aplicar cada producto a un juego de tubos y dejar secar por un periodo de dos (2) horas.	25
Figura 4. Prueba de impermeabilización en este paso se ubicaron los tubos en sentido vertical sumergiéndolos en agua durante 48 horas, debidamente sellados por uno de sus extremos para evitar que el agua se filtre en la parte que se encuentra expuesta a la humedad.	25
Figura 5. Prototipo constructivo del uso de cartón tubular rellenos de aserrín, para la conformación de muros.....	26
Figura 6. Refugio para el terremoto de Kobe (Japón).....	28
Figura 7. Puente de cartón, cerca de Nimes (Francia) ideado por Shigeru Ban.	29
Figura 8. Pabellón en Singapur Bienale en el año 2006.	34
Figura 9. Pabellón de papel construido en 1989 en Nagoya, Japón.	36
Figura 10. Shigeru Ban enseñando a armar una estructura en cartón tubular.	37
Figura 11. Detalle de la unión de los cilindros de cartón y refuerzo de cuerda con una pieza de contrachapado. En Fujisawa por Shigeru en el 2006.	38
Figura 12. Tubos de cartón aislados frente a la humedad mediante doble tratamiento.	39
Figura 13. Unión rígida de acero en Pasarela Temporal y Pabellón Vasarely	39
Figura 14. Proceso de ensamblaje de uniones y vista final del Sistema de particiones para refugios por Ban en el 2011	40
Figura 15. Pabellón en Madrid construido por Shigeru Ban en el año 2013.	41
Figura 16. Uniones de aluminio.....	41
Figura 17. Uniones en acero utilizadas en la torre de cartón tubular en el London Design Festival 2009	42
Figura 18. Uniones o conexiones superpuestas, que se atornillaron a través de los tubos. .	43
Figura 19. Conexiones de empalme longitudinal del tubo de cartón.....	44
Figura 20. Detalle de los cables tensores y las juntas nodales para una estructura de cartón tubular	44
Figura 21. Prueba de resistencia al fuego al cubrir el tubo con silicona líquida.	53
Figura 22. Prueba de resistencia al fuego al cubrir el tubo con silicona líquida.	53
Figura 23. Prueba de resistencia al fuego al cubrir el tubo con yeso.....	54
Figura 24. Prueba de unión con PET con mezcla de cemento.....	55
Figura 25. Prueba de unión con platina y cortes diagonales.	55
Figura 26. Corte de pieza de acero de cincuenta (50) centímetros.....	56

Figura 27. Proceso de soldadura de las piezas en acero.....	57
Figura 28. Proceso de corte de las piezas en acero.....	57
Figura 29. Proceso de modelamiento de las piezas en acero.....	57
Figura 30. Unión de acero.	58
Figura 31. Procedimiento de sellado de los extremos del cartón tubular.....	59
Figura 32. Fijación de la pieza de unión al extremo del cartón tubular.	59
Figura 33. Modulo de cartón tubular. Realizado en Rhinoceros versión 5.0.	60
Figura 34. Construcción de la cercha. Realizado en Rhinoceros versión 5.0.	60
Figura 35. Armado en los extremos de la cercha. Realizado en Rhinoceros versión 5.0. ...	60
Figura 36. Propuesta de cercha cartón tubular y uniones en acero y PET. Realizado en Rhinoceros versión 5.0.....	60
Figura 37. Sistema de fijación de la cercha a las correas y de las tajas a la estructura final. Realizado en Rhinoceros versión 5.0.	61
Figura 38. Estructura final. Realizado en Rhinoceros versión 5.0.	61

Glosario

De acuerdo con la terminología presentada por el reglamento técnico colombiano NSR-10 (2010) en su Título F Estructuras metálicas y el Título G Estructuras de madera y estructuras de guadua tenemos las siguientes definiciones:

Acabado — “Estado final, natural o artificial, en la superficie de una pieza u objeto de madera para un fin determinado. El acabado natural se obtiene mediante procesos tales como: cepillado, lijado, etc. y el acabado artificial con la aplicación de sustancias tales como: ceras, lacas, tintes, etc.” (NSR.10, 2010g, p.1).

Arandela — “Pieza metálica en forma de corona para repartir la fuerza en un área mayor”. (NSR.10, 2010g, p.1).

Celosía — “Viga de cordones paralelos con pendolones y diagonales que forman triángulos continuos. Enrejado de piezas de madera”. (NSR.10, 2010g, p.2)

Cercha — “Elemento estructural triangulado que recibe las cargas de un tejado.” (NSR.10, 2010g p.2)

Miembro Alma — “Es un miembro estructural en una cercha que se conecta al cordón superior e inferior, pero no es un miembro cordón” (NSR.10, 2010f, p. 303)

Miembro Cordón — “Es un miembro estructural que constituye al componente superior o inferior de una cercha”. (NSR.10, 2010f, p. 303)

Montaje — “Acción y efecto de armar o ensamblar los elementos y componentes de una construcción.” (NSR.10, 2010g, p.5)

Mortero — “Mezcla de arena y cemento utilizado para unir ladrillos o pañetar muros o techos.” (NSR.10, 2010g, p.5)

Perno — “Elemento de unión de maderas, provisto de cabeza hexagonal en un extremo y rosca en el otro.” (NSR.10, 2010g, p.5)

PA — Pórtico arriostrado — “Sistema que consiste esencialmente de una cercha vertical que proporciona resistencia a las fuerzas laterales y estabilidad al sistema estructural.” (NSR.10, 2010f, p. 213)

PCD — Pórticos con cerchas dúctiles — “Pórticos resistentes a momentos con cercha dúctil en celosía cuyo tramo central, denominado segmento especial, se diseña para que actúe como un elemento disipador de energía, de modo que todos los elementos diferentes al segmento

especial permanezcan en rango elástico, y que cumpla con los requisitos de la sección F.3.5.4”. (NSR.10, 2010f, p. 212)

Punto de Panel — “Región de conexión entre un miembro alma y un miembro cordón en una cercha”. (NSR.10, 2010f, p. 304)

Punto de Quiebre — “Región de conexión entre dos miembros cordones de cercha donde existe un cambio de pendiente, no incluyendo el talón”. (NSR.10, 2010f, p. 304)

Prototipo — “Diseño de la conexión o riostra que se usará en la edificación”. (NSR.10, 2010f, p. F213)

Resistencia nominal — “Resistencia de la estructura o sus componentes (sin incluir el factor de resistencia) para contrarrestar los efectos de la carga aplicada de acuerdo con estas especificaciones”. (NSR.10, 2010f, p. 213)

Sistema estructural — “Es el conjunto de elementos o componentes estructurales, o de subsistemas estructurales diseñados, detallados y ensamblados para resistir la totalidad o una porción de las cargas (verticales, horizontales o ambas) que actúan en una edificación, y para transferirlas al punto final de aplicación (cimentación) a través de una o más trayectorias continuas de carga”. (NSR.10, 2010g, p. 6)

Talón — “Región de conexión entre los cordones superior e inferior de una cercha con cordones no paralelos”. (NSR.10, 2010f, p. 305)

Resumen

Este proyecto involucra la investigación, armado y pruebas de funcionamiento del producto para las cerchas en cartón tubular. Se ofrece como alternativa en el aprovechamiento de recursos como es el cartón tubular que se produce para el transporte de papeles de impresión y botellas de politereftalato de etileno, tereftalato de polietileno, polietileno tereftalato o polietilentereftalato (PET) de tres litros (3 L) ya que están a la mano y no están prestando un servicio adicional al que lleva en su producción, pensando en aspectos importantes como lo ambiental y lo económico se buscan nuevas tecnologías limpias que generen la construcción de ideas sostenible.

Una de las líneas de investigación de la facultad de Arquitectura de la Universidad La Gran Colombia es la de hábitat tecnológico y construcción en la modalidad de innovación tecnológica. Adicional se propone: uno eficiencia en costos finales del sistema que beneficia al constructor y promotor de nuevos sistemas como este para su uso en luces de entre nueve (9) y doce (12) metros, formando estructuras de forma activa como la cercha en cartón, propuesta para disminuir los costos al armado final.

Principalmente la idea de vincular el cartón tubular a la construcción para la elaboración de estructuras, existe ya hace varios años aunque en Colombia es todavía desconocido el tema, a raíz de esto y costo que abarcar la construcción de una cercha en materiales tradicional como la madera o guadua y considerando el impacto ambiental que el cartón tubular genera en la industria, se hace un llamado a la conservación del medio ambiente, es oportuno pensar desde la Arquitectura como vinculando elementos reutilizables como el cartón se

pueden solucionar problemas del entorno constructivo y llevar esto a más arquitectos ingenieros y constructores de esta manera contribuir a disminuir el impacto ambiental que genera la industria de la construcción en el mundo sin dejar de lado las satisfacciones que se pueden generar en las personas del común adoptando tecnologías simples y económicas como esta.

Otro componente importante es la utilización inapropiada de los recursos naturales, que han propiciado cambios en el ámbito ecológico a nivel mundial; este fenómeno ha llevado a las naciones a tomar medidas para controlar la degradación medioambiental, por tal motivo es oportuno contribuir desde la arquitectura con el uso de materiales como el cartón tubular y en una ciudad como Bogotá donde diariamente son fabricados.

Palabras claves: Cercha, Cartón tubular, Botellas de politereftalato de etileno, Construcción, Reutilización, Estructura reticular.

Abstract

This project involves the research, assembly and functional tests of the product for the trusses in tubular cardboard. It is offered as an alternative in the use of resources such as the tubular cardboard that is produced for the transport of printing papers and bottles of polyethylene terephthalate, polyethylene terephthalate, polyethylene terephthalate (polyethylene terephthalate (PET) of three liters (3 L) and They are at hand and are not providing an additional service to the one they have in their production, thinking about important aspects such as the environment and the economy, they are looking for new clean technologies that generate the construction of sustainable ideas.

One of the lines of research of the Faculty of Architecture of the Universidad La Gran Colombia is that of technological habitat and construction in the modality of technological innovation. Additional proposed: one efficiency in final costs of the system that benefits the builder and promoter of new systems such as this for use in spans of between nine (9) and twelve (12) meters, actively forming structures such as the cardboard truss, proposal to reduce costs to final assembly.

Mainly the idea of linking tubular cardboard to construction for the elaboration of structures, has existed for several years, although in Colombia the subject is still unknown, as a result of this and the cost of covering the construction of a truss in traditional materials such as wood. or guadua and considering the environmental impact that tubular cardboard

generates in the industry, calls for the conservation of the environment, it is appropriate to think from Architecture as linking reusable elements such as cardboard can solve problems in the construction environment and take this to more architects, engineers and builders in this way, contribute to diminish the environmental impact generated by the construction industry in the world without neglecting the satisfactions that can be generated in ordinary people by adopting simple and economic technologies such as this.

Another important component is the inappropriate use of natural resources, which have led to changes in the ecological field worldwide; This phenomenon has led nations to take measures to control environmental degradation, for this reason it is appropriate to contribute from architecture with the use of materials such as tubular cardboard and in a city like Bogotá where they are manufactured daily.

Key words: Truss, Tubular cardboard, Ethylene polyterephthalate bottles, Construction, Reuse, Reticular structure.

Introducción

En el sector económico de la arquitectura y la construcción con elementos no traccionales se cuenta con un sin número de posibilidades que deben ser investigadas y exploradas, ya que brindan un espacio de indagación y un desafío, substancialmente en el ámbito del reciclaje y la reutilización del tereftalato de polietileno (reconocido por su abreviatura en el idioma inglés PET, polyethylene terephthalate) y cartón en sus diferentes presentaciones, es este caso la exportación se centrará en el cartón tubular . La intención de esta memoria es entender los sistemas y estructuras concebidos, de bajo costo para la elaboración de cerchas a dos (2) aguas y su futura implementación en este sector.

Actualmente, el sector de la construcción se ve enfrentado a los alto costos de fabricación de cerchas en materiales como la madera, el acero o la guadua, lo cual permite replantearse la idea de adoptar tecnologías nuevas que involucren el aprovechamiento de recursos y residuos con los que se cuenta al rededor. Por tal razón se hace necesario realizar esta investigación a fabricar con cartón tubular cerchas que cumpla con los parámetros normativos de elaboración para cubrir distancias de entre nueve (9) y doce (12) metros en cubiertas a dos aguas, de esta manera promover en Colombia el uso de cartón como alternativa en construcciones y así disminuir los costos a nivel de mano de obra de instalación, elaboración y fabricación de cerchas.

Aunque se ha demostrado en otros países como japon su comportamiento estructural, en Colombia el cartón tubular es diariamente desperdiciado, por tiendas e

industrias que al cumplir una primera función terminan convertidos en basura y ocasionando un grave daño ambiental.

La producción de cerchas en guadua o madera , pueden ser reemplazados por cartón tubular al comportarse estructuralmente de manera apropiada, esto se demuestra a través de pruebas realizada en respectivos ensayos funcionales propuestos por la universidad, de esta manera se pretende vincular el cartón tubular a la construcción para la elaboración de cerchas y de igual manera disminuir costos que representa para los constructores, arquitectos e ingenieros la elaboración de estos elementos estructurales, con esto solucionar luces de entre nueve (9) y doce (12) metros; buscando los materiales apropiados para su armado final y óptimo funcionamiento.

Desde el punto de vista arquitectónico y ambiental, partiendo como referente principal y actual el acuerdo de París donde las naciones del mundo se comprometen a disminuir en gran medida el impacto medio ambiental que genera la industria mundial de la construcción, es oportuno contribuir desde la arquitectura con elementos reutilizables en este caso el cartón tubular y que bien es sabido por todos que es un derivado de los residuos de la madera lo que significa daños al medio ambiente para su fabricación.

Justificación

Desde el punto de vista económico y arquitectónico es relevante vincular el cartón tubular a la construcción ya que con esto se lograría disminuir costos en la elaboración y fabricación de cubiertas a dos aguas utilizando cerchas en cartón tubular como elemento estructural. Si bien el cartón es un elemento ya vinculado a la construcción a nivel mundial, en Colombia este material no es muy utilizado.

Promover el uso del carbón tubular como elemento viable y sostenible para la construir en Colombia de forma rentable. De acuerdo a lo anterior, las personas podrán acceder a la construcción de cerchas para cubiertas de luces de entre nueve (9) y doce (12) metros de uso comercial con costos asequibles y así aportar desde la arquitectura con alternativas constructivas a base de elementos y materias primas reutilizables como el cartón tubular.

Es posible mediante elementos reutilizados desarrollar un sistema estructurado de cubiertas a dos aguas que logre satisfacer y dar cumplimiento a las necesidades y normas de la construcción colombiana; con esto disminuir costos en mano de obra, disminución de tiempos en los procesos de instalación y optimización de recursos, generando fuentes de autoconstrucción sostenible y alternativas viables con el medio ambiente.

Finalmente, nace la siguiente pregunta ¿Cómo vincular el cartón tubular al armado y la elaboración de cerchas para cubiertas a dos aguas en distancias de entre nueve (9) y doce (12) metros? Hoy en día Es habitual que a los proyectos de Construcción se les fijen límites concretos a nivel de recursos con un alcance definido, con un tiempo de planeación,

desarrollo y entrega ajustados cumpliendo con el menor coste factible. A lo largo del tiempo se ha evidenciado que los proyectos son calificados por el comportamiento positivo en las tres (3) variables de la triple restricción, correspondientes al alcance, tiempo y costo; las cuales se someten a su límite de estresamiento y se afectan por riegos externos e internos del proyecto constructivo.

De acuerdo con lo anterior, es permitido promover y estimular el uso de otros materiales no tradicionales o convencionales que permitan llevar a cabo los proyectos constructivos de cerchas para cubiertas comerciales o residenciales resistentes, funcionales, a bajos costos y en tiempos racionales para el usuario final.

En consecuencia, La construcción a bajo costo tiene como finalidad la búsqueda de nuevos usos a las materias primas y elementos que han finalizado su vida productiva y reducir el impacto al medio ambiental que generarían el residuo al desechar estos elementos o la elaboración de uno nuevos. La idea es no solo involucrar la materia prima sino abarcar los métodos, proceso y técnicas de fabricación usadas, ya que se enfoca en los procesos donde no se requieran equipos o maquinaria especializada y con una disminución del gasto de energético al momento de la fabricación del producto (Pérez, 2015).

Alcance y limitaciones

Este proyecto de construcción de cubierta con materiales alternativos está enfocado en lograr por medio de un procedimiento de fácil armado se lleve a cabo un proceso que permita la disminución de los costos y los tiempos de elaboración manteniendo o mejorando el comportamiento eficiente del material a nivel estructural.

CARTÓN TUBULAR COMO ALTERNATIVA EN LA CONSTRUCCIÓN DE CERCHAS

18

El hecho de contar con industrias a nivel nacional que fabrican y producen que el Cartón tubular, permite que su utilización en la construcción de cerchas sea viable en grandes ciudades como Bogotá, Cali, Medellín, pero inviable en lugares remotos como comunidades indígenas y campesinos que no tienen un desarrollo industrial lo que incrementa precios en transporte de materiales y equipos para su armado en estos lugares.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Crear un sistema de cerchas económico que venzan luces a una distancia de nueve (9) a doce (12) metros para uso en cubiertas.

1.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar un sistema de fácil instalación.
- Brindar alternativas amigables con el ambiente
- Obtener una cercha con un diseño autónomo.
- Comparar las características que cumple una cercha realizada con el material utilizado a una encontrada en el mercado.

2. Marco Teórico

Tomando como base teórica la investigación realizada en el año 2016 sobre cómo implementar el cartón tubular a la construcción, en donde se centraron en la construcción de muros en tubos de cartón rellenos de aserrín como aislante térmico para climas fríos (Fernández y Hernández, 2016) comprobando la aplicabilidad del cartón tubular en viviendas para mejorar el confort térmico brindando así soluciones amigables con el medio ambiente.

En la investigación de la construcción de muros en tubos de cartón se realizó un prototipo de muros de fachada con tubos de cartón rellenos de aserrín, los cuales son materia prima con propiedades aislantes asimismo pueden ser reutilizables ayudando al medio ambiente y mejorando la comodidad en un ambiente interno; para explicar su eficiencia se realizaron experimentos, los cuales requirieron el uso de un termómetro de sonda para registrar la temperatura de la superficie de los muros, prueba realizada de igual manera a un muro en ladrillo tipo tolete macizo, subsiguientemente se compararon los datos Recuperado, dando como evidencia la mejora a nivel climático. Adicionalmente en el progreso de la investigación, se evidencia la viabilidad económica del sistema de muros propuesto, en comparación con el sistema de mampostería, factor que da a conocer la posibilidad técnica y económica constructiva del sistema propuesto (Fernández y Hernández, 2016).

De acuerdo con la investigación realizada el uso del cartón en el sector de la construcción es totalmente viable por sus características y propiedades, este material se fabrica a partir de la viruta de la madera de árboles como el pino, en este proceso la fibras

se unen entre si conformando capas de papel, el cartón está compuesto por varias capas de este, haciéndolo más fuerte y resistente, en su proceso de fabricación las láminas de papel pueden tener diferentes formas, creando diferentes tipos de cartón en donde este puede tomar diferentes formas.

Se describen a continuación las prácticas planteadas de diferentes materiales y distintos métodos que se emplean para el progreso económico en el sector de la arquitectura y la construcción a nivel de la reutilización de los elementos, por ejemplo, entre los más destacados están las construcciones realizada con las botellas y envases en PET, este proceso se concibe desde dos perspectivas según Pérez (2015).

La primera radica en el uso de plástico molido o triturado. La obtención de la materia prima viene dada por el uso de los envases descartables de bebidas u otros plásticos empleados para embalajes u otros usos, su compactación y estabilización para la creación de bloques que puedan ser apilables. Los envases de plástico (PET, tereftalato de polietileno) son molidos e incorporados en una pasta. Se pueden mezclar con cemento Portland utilizando estos elementos plásticos en sustitución de los áridos empleados en el hormigón tradicional

La segunda opción es utilizar las botellas como recipientes y rellenarlas de arena u otros materiales del lugar empleando o no una estructura adicional. En este caso las botellas son vinculadas con mortero, argamasa o tierra. (pp. 20-21).

Los nuevos usos de estos materiales (cartón, papel, tetrabrik, envases de plástico PET, botellas de vidrio y neumáticos) han llevado a los investigadores, constructores, arquitectos, ingenieros y demás personal asociados a gremio de la construcción a emplear estos materiales para satisfacer las necesidades del sector dando origen a una elección innovadora frente a los materiales tradicionales y generando alternativas de uso en diferentes partes constructivas de cualquier tipo de edificación. En relación con lo anterior Pérez (2015) realiza la siguiente apreciación:

Una construcción con nuevos materiales, que hasta ahora no se habían utilizado, pero, generalmente, mediante las técnicas constructivas tradicionales y locales. Se trata de emplear técnicas constructivas que no requieran un alto grado de conocimiento, ni una mano de obra especializada facilitando la realización de una auto construcción sin la necesidad de emplear equipos especializados, reduciendo así los gastos (p.8).

Este tipo de comportamiento da paso a la introducción de un nuevo término conocido como la Arquitectura Sostenible, de la cual nacen otras definiciones como la Arquitectura R.A.R.E (más conocido por sus siglas en el idioma inglés de Renovable, Adaptativa, Reciclable y Ambiental) (Cerón, 2013). Estos principios deben considerarse de manera integral al proceso de construcción y diseño de un proyecto arquitectónico basados en la adaptación de las necesidades humanas y los cambios ambientales del entorno (Altomonte & Luther , 2006). en concordancia se evidencia “el desarrollo de la arquitectura a partir de conceptos como: Modulación, reciclaje, reinstalación, desinstalación, capacidad

de adaptación, análisis del ciclo de vida se perfilan como los cimientos fundamentales para el desarrollo de Arquitectura Sostenible” (Cerón, 2013, p.27).

Como prueba de lo anterior está la propuesta presentada en la Figura 1 y la Figura 2, donde se puede observar la planimetría del prototipo de muros para fachada utilizando el cartón tubular conocidos en inglés como Paperboardcores o paperboard tubes, para construcciones de uso residencial, junto con los tipos de uniones propuestos utilizando la varilla roscada.

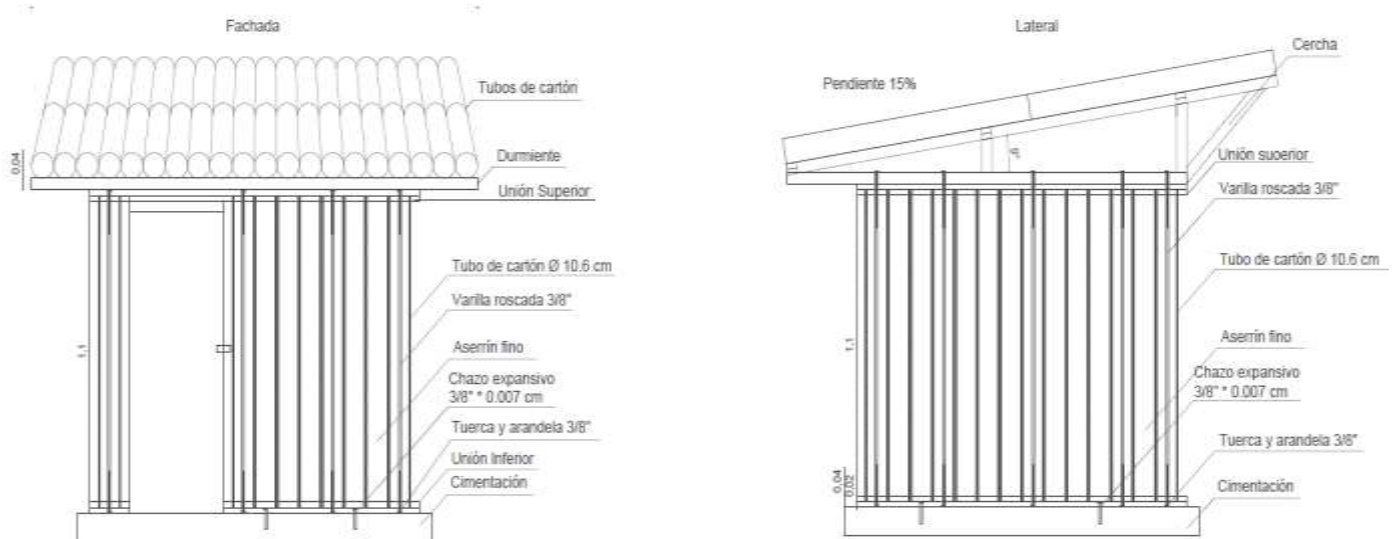


Figura 1. Vista frontal y lateral de la fachada construida con cartón tubular para uso residencial. Tomada de: Fernández y Hernández (2016). Muros en tubos de cartón rellenos de aserrín como aislantes térmicos para climas fríos (Tesis de tecnología). Universidad la Gran Colombia, Bogotá D.C. Recuperado de <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/4020/Proyecto%20Muros%20en%20Tubos%20de%20carton%20Rellenos%20de%20Aserr%c3%adn.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

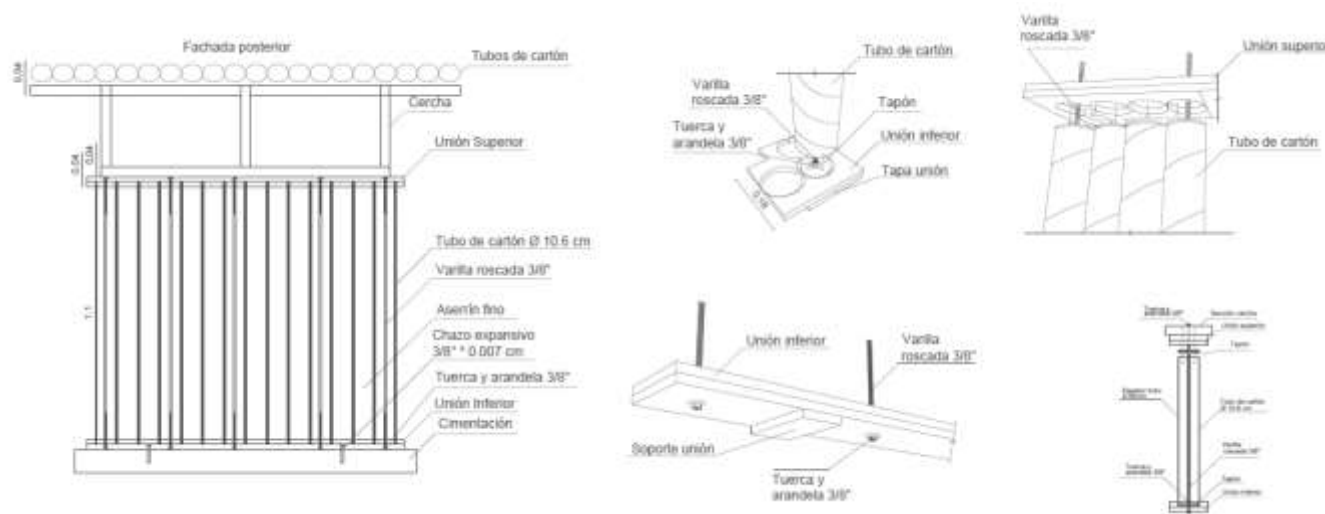


Figura 2. Vista posterior de una fachada construida con cartón tubular para uso residencial con los detalles constructivos de las uniones con varillas roscadas. Tomada de: Fernández y Hernández (2016). Muros en tubos de cartón rellenos se aserrín como aislantes térmicos para climas fríos (Tesis de tecnología). Universidad la Gran Colombia, Bogotá D.C. Recuperado de <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/4020/Proyecto%20Muros%20en%20Tubos%20de%20Carton%20Rellenos%20de%20Aserr%c3%adn.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Partiendo de la planimetría de los muros en cartón tubular se hace evidente realizar e implementar una prueba de impermeabilización que rectifique la efectividad de los elementos seleccionados, ya que este es un factor de alta relevancia para garantizar la resistencia al agua, es decir, que el material cuente con un recubrimiento para que sea impermeable y con ello mejor su estabilidad y resistencia a agentes externos líquidos.

Para la prueba de impermeabilización se utilizaron dos productos previamente seleccionados el primero fue el imprimante acrílico Greconal y el segundo fue el Impermeabilizante Paraguas Corona, para analizar su comportamiento y eficiencia en los tubos por lo tanto es indispensable un sellado eficaz para asegurar que no se filtre ningún tipo de líquido (Fernández y Hernández, 2016) como por ejemplo el agua en caso de lluvia. A continuación, en la Figura 3 se evidencia el proceso realizado.



Figura 3. Prueba de impermeabilización la cual consistió en aplicar cada producto a un juego de tubos y dejar secar por un periodo de dos (2) horas. Tomada de: Fernández y Hernández (2016). Muros en tubos de cartón rellenos se aserrín como aislantes térmicos para climas fríos (Tesis de tecnología). Universidad la Gran Colombia, Bogotá D.C. Recuperado de <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/4020/Proyecto%20Muros%20en%20Tubos%20de%20Carton%20Rellenos%20de%20Aserr%c3%adn.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.



Figura 4. Prueba de impermeabilización en este paso se ubicaron los tubos en sentido vertical sumergiéndolos en agua durante 48 horas, debidamente sellados por uno de sus extremos para evitar que el agua se filtre en la parte que se encuentra expuesta a la humedad. Tomada de: Fernández y Hernández (2016). Muros en tubos de cartón rellenos se aserrín como aislantes térmicos para climas fríos (Tesis de tecnología). Universidad la Gran Colombia, Bogotá D.C. Recuperado de <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/4020/Proyecto%20Muros%20en%20Tubos%20de%20Carton%20Rellenos%20de%20Aserr%c3%adn.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

En la Figura 4 se observan cuatro (4) tubos completamente sellados para ser sumergidos en un agua, esta prueba permitirá verificar cuál de los dos productos será más efectivo para que el cartón tenga propiedades impermeabilizantes y no sufra deformaciones al contacto con agentes líquidos. Como análisis de la prueba se evidenció que Los tubos

uno y dos de color blanco cubiertos con el producto numero dos impermeabilizante Paraguas Corona, no presentaron filtración por la capa externa. En la Figura 5 se puede apreciar el uso de estos tubos con el recubrimiento impermeabilizante en un prototipo en donde los tubos sin impermeabilizante pesaban ciento diez (110) gramos y con la aplicación del producto paso a un peso de ciento sesenta y ocho (168) gramos (Fernández y Hernández, 2016) lo cual sigue siendo un peso razonable para ser transportados e instalados.



Figura 5. Prototipo constructivo del uso de cartón tubular rellenos de aserrín, para la conformación de muros. el proceso de impermeabilización los tubos, demostró la eficiencia del producto marca Corona, ya que, al someterlo a la prueba, absorbió el 1% de agua, en comparación con el imprímato el cual absorbió un 22%. Demostrando de esta manera la durabilidad de los elementos frente a agentes externos como la lluvia en fachadas de uso residencial. Tomada de: Fernández y Hernández (2016). Muros en tubos de cartón rellenos se aserrín como aislantes térmicos para climas fríos (Tesis de tecnología). Universidad la Gran Colombia, Bogotá D.C. Recuperado de <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/4020/Proyecto%20Muros%20en%20Tubos%20de%20Carton%20Rellenos%20de%20Aserr%c3%adn.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Los tubos de cartón son fabricados a base de materia prima reciclada. Estos tubos se diseñan de medidas precisas, de acuerdo a los requerimientos del proyecto. Es decir, en

cualquier dimensión de longitud, calibre o diámetro. Adicionalmente en la literatura investigada también se encontró que la impermeabilización de los tubos de cartón se puede realizar aplicando polivinilo clorado; logrando así, que estos elementos sean de bajos costes, de fácil de reparación y sustitución (Pérez, 2015).

En pro de la sencillez en las conexiones de los tubos se ha utilizado juntas en diversos materiales como madera, acero, aluminio, plástico, cuerdas, entre otros elementos. La aplicación del cartón tubular comenzó en el año 1986 en la exhibición de Alvar Aalto. Pero se dejaron de utilizar y reaparecieron tres (3) años después, en una exposición como estructuras tipo paneles y muros divisorios (Pérez, 2015), las diferentes conexiones o juntas permitieron el desmonte de la estructura para ser transportadas y reutilizadas en otro espacio y así disminuir el impacto ambiental por la emisión de desechos, para esta fecha la arquitectura en cartón tubular se concentra principalmente en refugios temporales para los damnificados de las catástrofes naturales, gracias a sus bajos costes y su fácil instalación (Pérez, 2015).

Posteriormente, el uso de cartón tubular se dio tras el Terremoto de Kobe Japón en el año 1995, en donde se diseñaron unos refugios con materiales reciclables como se observa en la Figura 6. Este tipo de construcciones se pueden implementar de manera ágil y sin necesitar mano de obra calificada; Ya que su estructura se basa en tubos de cartón que se ubicaban sobre las canastas plásticas de distribución de las cervezas, a las cuales se les vertían en su interior lonas rellenas de tierra, estas canastas funcionaban como la cimentación del refugio; lo que promovió la arquitectura humanitaria, en este proceso se fabricaron tres (3) ejemplares los que se les evaluaron sus características de resistencia y

durabilidad así como los costos causados en su desarrollos uno de estos prototipos fue el seleccionado para implementar en el campamento de Byumaba en el año 1999 (Pérez, 2015), también se implementaron estructuras divisorias en los asentamientos humanos, donde han ocurrido desastres ambientales como por ejemplo el Paper Partition System (Mireva, 2017) construido en el año 2006 en Fujisawa, Japón. El cual se Destaca por su fácil capacidad de montaje, transporte y reinstalación.



Figura 6. Refugio construido en el terremoto de Kobe (Japón). Tomada de: Pérez Gamarra, S. (2015). Construcción alternativa III. contricción low-cost reciclar y construir con el desecho otras oportunidades para materiales de reciclado y nuevos usos para los materiales convencionales. Universidad de Valladolid, Valladolid. Recuperado de <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/14068>.

El cartón en forma de tubo no sólo es usado en pequeñas construcciones, sino también pueden ser utilizado para edificaciones mucho más grandes. Como por ejemplo el proyecto de la edificación de la catedral permanente, la cual se efectuó posteriormente al terremoto del año 2011 que perturbó a la metrópoli neozelandesa de Christchurch construidos por el Arquitecto Shigeru Ban (Cerón, 2013). Otra buena muestra de las opciones del uso del cartón tubular es la Figura 7 donde se visualiza “el Paper Bridge realizado junto al Pont du Gard, un acueducto romano situado cerca de Nimes, Su ligereza

y provisionalidad contrastan con la dureza, pesadez y durabilidad de puente construido en piedra” (Pérez, 2015, p. 25).



Figura 7. Puente de cartón, cerca de Nîmes (Francia) ideado por Shigeru Ban. Tomada de: Pérez, S. (2015). Construcción alternativa III. contricción low-cost reciclar y construir con el desecho otras oportunidades para materiales de reciclado y nuevos usos para los materiales convencionales. Universidad de Valladolid, Valladolid. Recuperado de <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/14068>

De acuerdo a la revisión anterior y la literatura la arquitectura del cartón tubular se logra categorizar en tres (3) grandes líneas, en relación a la conversión y origen de la materia prima utilizada como lo definió Pérez (2015):

Materia prima preparada exprofeso: los elementos constructivos se han diseñado expresamente para este tipo de construcciones.

Residuos y material de desecho: se emplean materiales de desecho de los alrededores realizando unas ligeras modificaciones de su estructura inicial (compactado, prensado).

Transformación de las fibras de celulosa provenientes de materiales de desecho: se emplea la celulosa de papel y cartón reciclado, como materia prima para obtener elementos finales empleados en la construcción. (p.22)

A través de la implementación de las estructuras de cartón tubular, la humanidad ha

logrado establecer zonas totalmente equipadas, con una eficiencia de los elementos que no se había probado anteriormente. Esta condición es extraordinaria ya que nace del descubrimiento de los nuevos usos de los elementos existentes y no de la dependencia de nuevos métodos o técnicas para fabricar materiales nuevos; “en Colombia, según cifras de la Asociación Nacional de Industriales ANDI, el reciclaje de papeles en la última década va en incremento, donde el papel cartón presenta la mayor porción del reciclaje total” (Cerón, 2013, p.10). comprendiendo la viabilidad reutilización que posee el cartón tubular y el plástico (PET) y fundándose en el progreso de la tecnificación de la industria de los empaques y envases que utilizar estos materiales para fabricarlos, es posible pensar en estos como una elección para la construcción y diseño de cerchas a dos (2) aguas con estos tipos materiales lo que implicaría un proceso de bajo costo y de fácil instalación.

2.1. Antecedentes Teóricos

En Colombia se han venido adelantando estudios e investigación acerca del sistema constructivo basado en tubos de cartón reutilizado en donde muestra que el cartón puede ser un material para el sector de la construcción al utilizarse de forma correcta como por ejemplo la implementación en la construcción de muros divisorios no estructurales. (Orjuela, 2018). Como antecedentes teóricos se destaca el trabajo desarrollado del arquitecto Japonés Shigeru Ban quien ha empleado el cartón tubular como material principal para la construcción de objetos arquitectónicos como refugios, capillas y viviendas de emergencia entre otras.

En la exploración, este arquitecto Japonés ha realizado ensayos de resistencia a ciertos componentes en los laboratorios de la universidad de Waseda en el departamento de arquitectura de Tokio, Japón en el espacio de tiempo comprendido entre de agosto de 1990 y agosto de 1991, las pruebas realizadas tenían como fin establecer los resultados a largo plazo de una carga axial constante en el tubo de papel durante un año (Orjuela, 2018). Para este extenso experimento, se utilizaron cinco (5) tubos de cien (100) milímetros de diámetro, de doce puto cinco (12.5) milímetros de espesor y de cuatrocientos (400) milímetros de longitud. Los cuales son sometidos a una fuerza axial de mil (1000) kgf, y se determina la condición de que es menos de un tercio ($1/3$) de la resistencia a la compresión del tubo de papel. Teniendo en cuenta que la resistencia a compresión de un tubo de papel es de ciento tres puntos dos (103.2) kgf/cm². El valor medido de la fuerza de torsión axial aplicada a las muestras equivalente a mil (1000) kgf es de trescientos diez (310) kgf/cm. (Vélez, 2018).

En los últimos años el cartón tubular en el espacio de la construcción ha tenido un acogimiento relevante, y es por ese motivo que otras personas han pensado también en el desarrollo de viviendas, pero ya en este caso no son de emergencia, sino de habitabilidad continua, siendo este el caso del proyecto “wikkellhouse” en el cual se usa una aplicación del cartón corrugado de manera estructural, esta vivienda funciona de manera modular, acoplándose a las necesidades del usuario. (Orjuela, 2018,p.15).

La vivienda puede desplegar bajo diferentes parámetros de manera dinámica y personificada lo cual brinda una sensación de un ambiente a base de materiales naturales.

A partir de estas construcciones realizadas por el Arquitecto japonés Shigeru Ban, se forjaron una serie proyectos humanitarios que fueron de asistencia para víctimas, como desastres naturales y violencia, estos proyectos le llevaron a ser merecedor de la asesoría para la ONU en el Alto Comisionado para los Refugiados (UNHRC) del año 1995 a año 1999. (Diez, 2010). Inmediatamente de estos proyectos con los que se dio a entender, los procesos y diseños construidos en papel y cartón tubular se han ido optimizando y desplegándose cada vez mejor, esto se puede evidenciar en la vivienda de cartón papel construida en Japón en el año 1995, luego el puente construido en un curso de verano que impartió en el sur de Francia en el año 2007 como se observa en la Figura 7, la exposición de Japón para la Expo Hannover en el 2000, el nuevo Centro Pompidou de Francia en el 2010 (Diez, 2010) y diversos tipos de construcciones que han sido bien aceptadas en sector de la construcción.

En Colombia existe una empresa caleña Cartontubos donde su primordial línea económica es la fabricación de tubos de cartón para enrollar diferentes tipos de materiales, en el año 2012 decidieron incursionar en el sector de la construcción creando cilindros diseñados concretamente para la fundición de cuerpos cilíndricos y el aligeramiento de las losas de concreto, procedimientos innovadores en la industria del territorio nacional, pero que en países como, Estados Unidos, México y Brasil llevan más de 50 años de aplicación en el sector (Orjuela , 2018)

Esta empresa Colombiana define el cartón tubular como “una estructura cilíndrica conformada por cintas de cartón que son enrolladas en espiral y laminadas a alta presión con adhesivos especiales sobre ejes metálicos de diversas dimensiones, logrando así los

diámetros y espesores requeridos para sus diferentes usos” (Cartontubos.SAS, s.f., párr.3).

Una de las formas de emplear este material, es a modo de encoframiento, ya sea para pilares, columnas y pilotes de concreto, en este caso el concreto es vertido al interior del tubo sometiéndolo a un esfuerzo de tracción uniforme en toda su estructura. Una vez fraguada la mezcla, se retira el tubo haciendo una incisión vertical en uno de sus extremos para poder retirarlo de manera espiralada, de acuerdo a su procedimiento de fabricación. Otros de los usos del cartón tubular es el aligeramiento de algunas partes constructivas, como lo son, paredes, losas de entrepisos y placas para puentes, se puede utilizar como una unidad portante temporal de la estructura de concreto, lo que indica que el tubo quedaría expuesto a esfuerzos de flexión y compresión diametral, ya que el tubo sería implementado de manera horizontal, también garantiza que el aire queda atrapado en su interior, lo cual genera un apropiado aislamiento acústico y térmico. (Cartontubos.SAS, s.f.)

Para realizar la implementación de estos tubos cilíndricos de cartón en la línea de la construcción la empresa Cartontubos realizó pruebas de laboratorio a los diferentes tubos comercializados como resultado de estas pruebas donde se simuló el comportamiento mecánico del tubo.

Tabla 1

Prueba de compresión tubo de cartón

Características del tubo	Valor	Resultado
Diámetro interno	52 mm	Resistencia máxima compresión: 0,73 kN
Diámetro externo	54,5 mm	
Longitud	150 mm	0,73 kN / 0,009807 kgf = 74,43 kgf/cm ²
Área interna	2123 mm ²	
Área externa	2332 mm ²	74,43 kgf / 20,9 Cm ² =3,56

Área anillo	209 mm ²
-------------	---------------------

Adaptado de: Orjuela, Y. (2018). Sistema constructivo basado en tubos de cartón reutilizado (tesis de pregrado). Universidad La gran Colombia, Bogotá. Recuperado de https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/3291/Construcarton_sistema_productivo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

A la fecha los tubos de cartón han sido usados como vigas, debido a que su capacidad portante es manipulada al mínimo, siendo su capacidad auto portante un reto. Esto se debe, a su índice bajo de elasticidad en flexión y, consecuentemente, rigidez en flexión. (Bank & Gerhardt, 2016) Debido a esta razón, la mejor manera de ser utilizados es como poste viga en un sistema de pequeña escala como por ejemplo los refugios para damnificados por desastres como se observa en la Figura 6, también se pueden utilizar en y sistema de vigas rígido como por ejemplo el pabellón de la Bienal de Singapur como se observa en la

Figura 8.



Figura 8. Pabellón en Singapur Bienale en el año 2006.

Tomado de: Huaroto, A. (2018). Investigación previa acerca del empleo de tubos de cartón reciclado (paperboard tubes/ paperboard cores) en edificaciones (tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Huancayo. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/324982924_INVESTIGACION_PREVIA_ACERCA_DEL_EMPL

EO_DE_TUBOS_DE_CARTON_RECICLADO_PAPERBOARD_TUBES_PAPERBOARD_CORES_EN_E
DIFICACIONES

De acuerdo con lo anterior y características de composición del cartón tubular este funciona mucho mejor a la flexión que a la compresión. Por lo tanto, este tiene buenas propiedades para poder ser doblado y funcionar en un sistema de cerchas para cubiertas a dos (2) aguas.

3. Marco de referencia

La investigación, se precisa en la identificación de los componentes, que se reconoce por sus propiedades de resistencia, favorecen que estos materiales sean implementados para fabricar cerchas a dos aguas, en cualquier parte del territorio nacional, es considerable entender el ambiente donde se va a instalar y se debe tener en cuenta la garantía de un buen funcionamiento.

Estos materiales elegidos no solo contribuyen con temas estructurales son reutilizados y reciclados, lo que implican un entorno favorable y de gran beneficio con el medio ambiente. La construcción es una de las industrias que más causan contaminación ambiental, en la producción de su materia prima y los desechos creados por vapores y basuras de las empresas que producen los materiales. En resultado, es preciso el uso de material reutilizado y uno de los mejores ejemplos de trabajo y sostenibilidad es el presentado por el arquitecto Shigeru Ban.



Figura 9. Pabellón de papel construido en 1989 en Nagoya, Japón.

Tomado de: Huaroto, A. (2018). Investigación previa acerca del empleo de tubos de cartón reciclado (paperboard tubes/ paperboard cores) en edificaciones (tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Huancayo. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/324982924_INVESTIGACION_PREVIA_ACERCA_DEL_EMPL_EO_DE_TUBOS_DE_CARTON_RECICLADO_PAPERBOARD_TUBES_PAPERBOARD_CORES_EN_EDIFICACIONES

En el año 1989, el arquitecto Ban construyó un pequeño pabellón de papel (paper arbor) en cual utilizó como material estructural los tubos de cartón por primera vez. Para esto, El arquitecto ejecutó ensayos de laboratorio donde concluyó que el cartón tubular cuando se somete a compresión puede resistir diez (10) MPa y cuando se somete a flexión quince (15) MPa. Con el paso del tiempo la complejidad estructural de los diseños pasó de un extremo a otro, lo que obligo que se diseñaran nuevos experimentos para certificar la integridad de las construcciones en este material. Pasados seis (6) meses, se decidió desmotar el pequeño pabellón para ser probado. En esta prueba se pudo evidencia que a pesar de estar expuesto a condiciones climáticas e intemperie, la resistencia de los tubos de cartón aumento gracias al endurecimiento del pegamento empleado en su proceso de construcción.

Posteriormente, el arquitecto Ban en pro de la causa humanitaria viajo a varios países como Japón, Ruanda, Turquía y Haití. En estos lugares Ban no solo contribuyó refugios y viviendas en cartón tubular y madera, sino que impartió sus conocimientos a los habitantes de estos países para que construyeran ellos mismo sus propias viviendas.



Figura 10. Shigeru Ban enseñando a armar una estructura en cartón tubular.
Tomado de: Blixt. (2019). Total safe pack. Recuperado de <https://www.totalsafepack.com/arquitectura-sostenible-con-carton-reciclado/>

3.1. Proceso de construcción: fabricación, montaje y uniones

En el año 2006, cuando ocurrió la catástrofe de Fujisawa se desarrolló una versión mejorada del sistema constructivo en cartón tubular, donde la estructura se implanto utilizando los tubos de cartón y muros en tela, con uniones de contrachapado, y unas cuerdas que cumplen con la función de refuerzos, esta estructura se podía montar en solo media hora por cualquier persona y sin necesidad de requerir clavos o herramientas especializadas.



Figura 11. Detalle de la unión de los cilindros de cartón y refuerzo de cuerda con una pieza de contrachapado. En Fujisawa por Shigeru en el 2006.

Tomado de: Huaroto, A. (2018). Investigación previa acerca del empleo de tubos de cartón reciclado (paperboard tubes/ paperboard cores) en edificaciones (tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Huancayo. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/324982924_INVESTIGACION_PREVIA_ACERCA_DEL_EMPL_EO_DE_TUBOS_DE_CARTON_RECICLADO_PAPERBOARD_TUBES_PAPERBOARD_CORES_EN_EDIFICACIONES

Para este mismo año se realizaron experimentos donde se emplearon dos métodos de aislamiento impermeabilizante en los tubos; el primero fue la aplicación a cada tubo una capa de impermeabilizante en este caso se observó que no impedía que las primeras capas de los tubos se humedecieran, pero en el interior de los tubos estaba completamente secos. (Huaroto, 2018) . En relación al segundo método de aislamiento fue la aplicación con una capa de poliuretano de baja volatilidad, en este experimento se observó que este material

impermeabilizaba totalmente de cada tubo y adicionalmente otorgaba un acabado brillante al tubo lo que mejoraba la estética de la construcción (Preston & Bank, 2012).



Figura 12. Tubos de cartón aislados frente a la humedad mediante doble tratamiento.
Tomado de: Huaroto, A. (2018). Investigación previa acerca del empleo de tubos de cartón reciclado (paperboard tubes/ paperboard cores) en edificaciones (tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Huancayo. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/324982924_INVESTIGACION_PREVIA_ACERCA_DEL_EMPL_EO_DE_TUBOS_DE_CARTON_RECICLADO_PAPERBOARD_TUBES_PAPERBOARD_CORES_EN_EDIFICACIONES

El arquitecto Ban ha diseñado uniones de nodo espacial que admiten trasferir los esfuerzos en las tres (3) direcciones, en a la construcción del puente de cartón en Francia en el año 2007 se usaron uniones regidas en acero como se visualiza en la Figura 13.



Figura 13. Unión rígida de acero en Pasarela Temporal y Pabellón Vasarely
Tomado de: Huaroto, A. (2018). Investigación previa acerca del empleo de tubos de cartón reciclado (paperboard tubes/ paperboard cores) en edificaciones (tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Huancayo. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/324982924_INVESTIGACION_PREVIA_ACERCA_DEL_EMPL_EO_DE_TUBOS_DE_CARTON_RECICLADO_PAPERBOARD_TUBES_PAPERBOARD_CORES_EN_EDIFICACIONES

En el año 2011 para construcción de refugios temporales se emplearon sistemas de particiones el cual se considera como uno de los más simples y eficientes en el uso de tubos de cartón gracias a su alto factor de elasticidad de flexión y menor factor de rigidez, así como una baja resistencia a la compresión.



Figura 14. Proceso de ensamblaje de uniones y vista final del Sistema de particiones para refugios por Ban en el 2011

Tomado de: Huaroto, A. (2018). Investigación previa acerca del empleo de tubos de cartón reciclado (paperboard tubes/ paperboard cores) en edificaciones (tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Huancayo. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/324982924_INVESTIGACION_PREVIA_ACERCA_DEL_EMPL_EO_DE_TUBOS_DE_CARTON_RECICLADO_PAPERBOARD_TUBES_PAPERBOARD_CORES_EN_EDIFICACIONES

Como parte de proceso constructivo en cartón tubular surgió la necesidad de unir los tubos para fabricar estructuras más grandes como por ejemplo el pabellón de papel ubicado en el jardín de la escuela de negocios Instituto Empresa de Madrid España en el año 2013, este está compuesto por una estructura de ciento setenta y tres (173) tubos de cartón conectados por uniones de madera que recaen sobre columnas elaborados en este mismo material (Huaroto, 2018). La conexión del cartón tubular con los nudos de madera se realiza por la técnica de machihembrado y se sujetan con tornillería (Ban, 2020). Esta técnica permite el desmontaje fácilmente en caso de requerirse. Adicionalmente esta construcción cuenta con setenta y ocho (78) nudos de madera laminada, trescientos y

sesenta y ocho (368) tornillos, cinco (5) pilares de cartón de treientos treinta (330) mm y treinta (30) tensores metálicos.



Figura 15. Pabellón en Madrid construido por Shigeru Ban en el año 2013.
Tomado de: Ban, S. (2020). Shigerubanarchitects.com. Recuperado de http://www.shigerubanarchitects.com/works/2013_madrid_paper_pavilion/index.html

Posteriormente, se emplean juntas de aluminio fundido a presión de diferentes tipos y formas las cuáles dependen de la cantidad de tubos de cartón a unir como se observa en la Figura 16.

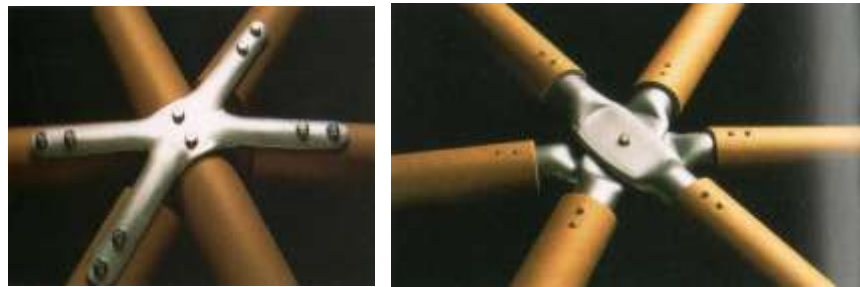


Figura 16. Uniones de aluminio.
Tomado de: Huaroto, A. (2018). Investigación previa acerca del empleo de tubos de cartón reciclado (paperboard tubes/ paperboard cores) en edificaciones (tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Huancayo. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/324982924_INVESTIGACION_PREVIA_ACERCA_DEL_EMPL_EO_DE_TUBOS_DE_CARTON_RECICLADO_PAPERBOARD_TUBES_PAPERBOARD_CORES_EN_EDIFICACIONES

También, se han empleado uniones que bloquean el extremo de los tubos con una pieza metálica central que sobresale para atornillarse a una pieza metálica circular, el metal utilizado para estas piezas es el acero, estas articulaciones son prudentemente flexibles a

nivel vertical, pero horizontalmente están reforzadas para impedir la movilidad. En la Figura 17 se parecían las uniones de la torre de papel cartón la cual emplea este tipo de conexión, con acero en lugar de usar el aluminio. (WordPress., s.f.).



Figura 17. Uniones en acero utilizadas en la torre de cartón tubular en el London Design Festival 2009 Tomado de: WordPress.com. (s.f.). SHIGERU BAN: BUILDING WITH PAPER – BOATHOUSE AND PAPER TOWER. Recuperado de <https://clarewashington.wordpress.com/2012/12/10/shigeru-ban-building-with-paper-boathouse-and-paper-tower/>.

Las uniones, juntas o conexiones pueden servir para aliviar cualquier estrés acumulado debido a deformación a largo del tiempo y cambios dimensionales inducidos por la humedad en la estructura. No obstante, si se usan tales conexiones, se necesitan partes estructurales adicionales, como cables de restricción y diafragmas finales para certificar la estabilidad general de la estructura. comúnmente, el cartón tubular está conectado en la parte donde se superponen para impedir tal deformación en el plano. Esta condición permite aumentar la rigidez estructural y hace que el análisis estructural sea más sencillo (Bank & Gerhardt, 2016). Los detalles de conexión pueden ser complicados, especialmente en el caso de sistemas superpuestos y multicapa como se evidencia en la Figura 18.



Figura 18. Uniones o conexiones superpuestas, que se atornillaron a través de los tubos.

Tomado de: Bank, L, & Gerhardt, T. (2016). Paperboard tubes in structural and construction engineering. Woodhead Publishing Series in Civil, 455-480. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/298064463_Paperboard_tubes_in_structural_and_construction_engineering

Los tubos de cartón fabricado por proceso de bobinado en espiral se obtienen en cualquier longitud. En general, es preferible tener tubos producidos en la longitud de la estructura para evitar conexiones o empalmes, En la mayoría de los proyectos grandes del arquitecto Ban como por ejemplo, el Pabellón de Japón y el dosel MOMA, se fabricaron tubos de más de cuarenta (40) metros de longitud y posteriormente enviados al lugar de construcción, cabe resaltar, que con esta longitud el transporte es más complicado y se requieren de camiones tipo planchón para llevarlos En consecuencia, el envío de tales tubos largos no siempre es posible económicamente factible, y en ese caso se hace evidente el uso de empalmes longitudinales.

CARTÓN TUBULAR COMO ALTERNATIVA EN LA CONSTRUCCIÓN DE CERCHAS

44

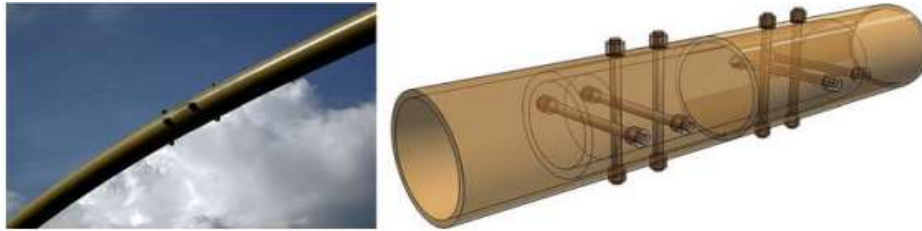


Figura 19. Conexiones de empalme longitudinal del tubo de cartón.

Tomado de: Bank, L, & Gerhardt, T. (2016). Paperboard tubes in structural and construction engineering. Woodhead Publishing Series in Civil, 455-480. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/298064463_Paperboard_tubes_in_structural_and_construction_engineering

Las estructuras bidimensionales y tridimensionales se han utilizado en un gran número de proyectos de Ban. En estas estructuras generalmente, los tubos de papel solo se usan para los miembros de compresión y los miembros tensores son a menudo cables metálicos o elementos de madera que pueden o no estar cubiertos con tubos de papel por razones estéticas.



Figura 20. Detalle de los cables tensores y las juntas nodales para una estructura de cartón tubular

Tomado de: Bank, L, & Gerhardt, T. (2016). Paperboard tubes in structural and construction engineering. Woodhead Publishing Series in Civil, 455-480. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/298064463_Paperboard_tubes_in_structural_and_construction_engineering

4. Marco Normativo

En la actualidad, se registran las normas que reglamentan y admiten la construcción de una estructura tipo cercha en materiales como el cartón tubular garantizando su buen funcionamiento y que al ser implementado genere confianza al sector de la construcción ya su usuario final.

La reglamentación de la cercha se basa en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) y la Normas técnica colombiana (NTC1691). En la primera se expone que los requisitos generales para la protección contra incendios en su apartado número J.2.52.1 indica (NSR-10, 2010j):

Para los acabados interiores no deben emplearse materiales que al ser expuestos al fuego producen descomposición o combustión, substancias tóxicas en concentraciones superiores a las provenientes del papel o la madera, de acuerdo con la tabla J.2.5-2. (p.J-6).

De acuerdo con lo anterior, el recubrimiento para impermeabilizar el cartón tubular deberá cumplir con las características expuestas en la tabla clasificación de materiales según sus características de propagación de llamas del reglamento NSR-10 en la Tabla 2 se pueden visualizar dichas características.

Tabla 2

Clasificación de materiales según sus características de propagación de llamas según la norma NTC 1691 (J.2.5-2)

Clase	Índice de propagación de llama
1	0 a 20
2	26 a 75
3	76 a 225
4	Más de 225

Tomado de: NSR-10 Norma Sismo Resistente (2010j). Título J Requisitos de protección contra incendios en edificaciones. Ministerio de ambiente, Vivienda y desarrollo territorial. Recuperado de <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/10titulo-j-nsr-100.pdf>

Según el reglamento “el índice de propagación de llama es una medida comparativa, de manera adimensional, como una calificación visual de la propagación de la llama en el tiempo, para cada material ensayado de acuerdo con ASTM E 84” (NSR-10, 2010j, p.7). Adicionalmente se visualiza la calificación de los diferentes materiales o elementos empleados para acabados y terminados en interiores, junto con sus índices de propagación del fuego (NSR-10, 2010j).

Tabla 3

Clasificación de materiales por categorías según la norma NTC 1691 (J.2.5-3)

Clase	Material
1	Lana de vidrio sin aglutinantes ni aditivos
	Pañetes de cemento
	estucos, yesos
	Cartón de fibrocemento
	Fibra asfáltica
	Placas planas de fibrocemento

	Ladrillo Baldados de cerámica Vidrios Algunos azulejos anti acústicos
2	Hoja de aluminio sobre respaldo apropiado Cartón de fibra o yeso con revestimiento de papel. Madera tratada mediante impregnación Algunos pañetes anti sonoros Algunos azulejos anti acústicos
3	Madera de espesor nominal de 2.5 cm o más Planchas de fibras con revestimiento a prueba de fuego Cartón endurecido Algunos plásticos
4	Algodón Plástico Papel Superficies cubiertas con aceite o parafina Viruta Tela Papel aislante

Adaptado de: NSR-10 Norma Sismo Resistente (2010j). Título J Requisitos de protección contra incendios en edificaciones. Ministerio de ambiente, Vivienda y desarrollo territorial. Recuperado de <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/10titulo-j-nsr-100.pdf>

En relación a los pórticos arriostrados el reglamento NSR-10 los define como una estructura que comprende una cercha vertical, la cual cumple la función de proporcionar la resistencia a las fuerzas laterales logrando una estabilidad a la estructura. Adicionalmente, define que los pórticos con cerchas dúctiles comprenden una cercha dúctil cuyo tramo central, denominado segmento especial, actúa a manera de mecanismo disipador de energía, de forma que los demás elementos distintos a este segmento se mantengan en una condición elástica, y cumplan con las exigencias estipulados en el reglamento (NSR-10, 2010j).

El reglamento NSR-10 expone las bases para el diseño de los Pórticos con cerchas dúctiles (PCD) este diseño debe realizarse para que la estructura cuente con una alta resistencia a las deformaciones inelásticas significativas, intrínsecamente al fragmento de cercha. Los PCD deben restringirse al espacio o luces entre columnas no superiores a los veinte (20) metros y el peralte total no superior a los uno punto ocho (1.8) metros. Los fragmentos o segmentos de las cerchas y las columnas que no son parte de la fracción especial se trazan para mantenerse elásticos a los pesos de carga ejercidos por la fluencia total y el fortalecimiento del fragmento especial por el efecto de la deformación. (NSR-10, 2010j).

Con respecto al Segmento o fragmento especial el reglamento expone que la cercha horizontal que conforman el fragmento SRS debe poseer una fracción especial ubicada en la parte central comprendida entre 0.25 y 0.75 de la luz de la cercha. El índice de relacional entre la longitud y la altura de cualquiera de los paneles de la fracción especial no debe superar los uno puntos cinco (1.5), ni debe ser inferior a los cero puntos sesenta y siete (0.67).

Los paneles que conforman el fragmento especial según el reglamento NSR-10 deben ser de carácter vierendeel, es decir que, todos los paneles arriostramiento deben formar una equis (X); no es admisible la composición de ellos ni la implementación de otras disposiciones o configuraciones de las diagonales de las cerchas.

Al realizar la configuración de la estructura para una cercha se requiere del uso de piezas diagonales en el fragmento especial, la cuales deben ser elaborados con el mismo

material de la misma unidad. Dichas piezas en diagonal deben conectarse en los sitios donde se superponen o se cruzan. Estas interconexiones deben contemplar un diseño que permita soportar una fuerza por lo menos cero punto veinticinco (0.25) veces la resistencia nominal a tensión en las diagonales. No se debe usar uniones pernadas para los componentes del alma al interior del fragmento especial; las cargas muertas y vivas de las piezas diagonales en el fragmento especial. Tampoco es admisible la unión de las piezas de las correas dentro del fragmento especial, ni la distancia entre ellos será inferior a un medio ($1/2$) de la longitud del panel externo al fragmento especial (NSR-10, 2010).

5. Aspectos Metodológicos

La directriz metodológica sistematiza este proyecto describiendo el tipo y diseño del mismo, y los instrumentos de recolección de datos, para analizar los fundamentos para proponer un sistema de cerchas económico que venzan luces a una distancia de nueve (9) a doce (12) metros para uso en cubiertas.

De acuerdo con la norma lo primero que se debe encontrar es la forma de impermeabilizar el cartón usado materiales que permitan retardar su propagación al fuego y según la con la literatura y el marco de referencia de la presente propuesta la cercha deberá ser desmontable de forma sencilla.

A partir del auto conocimiento, la investigación realizada, el análisis de la estructuración de una cercha común en comparación con a una cercha fabricada a base de cartón tubular, tomando como principio los objetivos específicos para dar como resultado una propuesta viable económicamente y que por sus características sea reconocida como alternativa para desarrollo de elementos sostenibles en el sector de la construcción.

Posteriormente, se realizará un modelado de la implementar los tubos de cartón y sus uniones, ajustándose a las diferentes necesidades requeridas para la construcción de las cerchas de cartón. Como primer acercamiento se realizará un análisis de la manera en la cual se pueden modular los tubos dependiendo de su forma obteniendo una cercha a dos aguas que cumpla con las normas requeridas las cuales serán sometidos a pruebas y ensayos para garantizar su funcionamiento.

5.1. Enfoque

El enfoque del presente trabajo será de carácter mixto ya que a través de pruebas, experimentos y ensayos se determinarán los mejores elementos para relacionar el cartón tubular a la construcción; lo novedoso será trabajar el cartón tubular con elementos como el PET y adecuarlo a la arquitectura moderna.

El enfoque mixto se fundamentará en el nivel cualitativo y cuantitativo ya que analiza los datos recolectados a través de las diferentes investigaciones realizada a lo largo del tiempo relacionadas con el uso del cartón e la construcción, adicionalmente se buscará información por medio de entrevistas observación y de igual manera se realizan pruebas que permitan calificar el producto.

Estos métodos irán conducidos en primera fase a la revisión bibliográfica de referencias internacionales y las corrientes actuales sobre el uso del cartón tabular en proyectos de construcción, que permitan reconocer los indicadores claves para el desarrollo de proceso procesos e implementación de las cerchas.

Finalmente, para el desarrollo de la propuesta de un sistema de cerchas económico que venzan luces a una distancia de nueve (9) a doce (12) metros para uso en cubiertas se empleará una orientación metodológica cuántica y una técnica deductiva para el estudio de los datos recopilados tanto de fuentes bibliográficas, así como de la información sintetizada mediante el trabajo de campo el cual se centrara en los siguientes aspectos:

- Cálculo del tiempo al ejecutar fabricar el producto.
- Herramientas para el desarrollo del producto.

- Diferencia entre materiales para cada producto.

5.2. Procedimiento

Partiendo de la base del marco normativo y las directrices del reglamento NSR-10 en su Capítulo J.2 correspondiente a las exigencias generales para la prevención de incendios en edificaciones. En primera instancia se plantea encontrar la forma apropiada de cubrir y usar los tubos de cartón de tal manera que sean resistentes al fuego y a la penetración de líquidos.

La primera prueba de resistencia al fuego se realizó aplicándole a los tubos silicona líquida y como acelerante el alcohol el 69% como se observa en la Figura 21 , en esta prueba se mesclo la silicona líquida y alcohol etílico para generar un componente espeso con el que se cubrió el cartón para impermeabilizarlo, como resultado se obtuvo que la mezcla funciona como impermeabilizante al agua ya que el líquido no penetra a las capas externas del cartón tubular, pero no es retardante al fuego ya que con solo tres (3) minutos de exposición a una pequeña llama de un encendedor los tubos se consumieron en su totalidad.



Figura 21. Prueba de resistencia al fuego al cubrir el tubo con silicona liquida.
Elaboración propia.

La segunda prueba consistió en cubrir el tubo con yeso en este caso se emplearon dos tipos el lleno en venda distribuido por las farmacéuticas y el yeso de construcción distribuido por las ferreterías en la Figura 22 se puede observar la prelación de los materiales y elementos para realizar el ensayo, posteriormente se realiza la aplicación del cada tipo de yeso en los extremos de un tubo cartón junto con una capa de impermeabilizante acronal y se deja secar por un periodo de cuarenta y cinco (45) minutos.



Figura 22. Prueba de resistencia al fuego al cubrir el tubo con silicona liquida.
Elaboración propia.

En esta segunda prueba se obtuvo como resultado que el yeso se comportó de manera adecuada, pero se seleccionó el yeso en polvo distribuido en la ferreterías y depósitos de construcción por su facilidad de aplicación y el proceso en a gran escala resultaría más eficiente, a nivel de costos el yeso en la presentación en polvo es más económico que en comparación con la presentación en vendas.



Figura 23. Prueba de resistencia al fuego al cubrir el tubo con yeso.
Elaboración propia.

En conclusión, el yeso con una capa de impermeabilizante acronal será el material de cubrimiento de los tubos en primera instancia porque es un aislante a los líquidos y por qué después de estar expuesto más de quince (15) minutos a una fuente de calor constante el tubo de cartón no prendió fuego ni generó humos, adicionalmente se evidenció que, si se desea, después de la aplicación del yeso y el impermeabilizante estos pueden ser pintados para mejorar su presentación estética y tener un mejor acabado.

En relación a las conexiones o juntas entre tubos de cartón que se requieren para construir la cercha se realizaron varios ensayos el primero consistió en utilizar la parte superior de las botellas de PET las cuales encajarían en los extremos de los tubos y así también sellar estos extremos para frenar el paso de los líquidos hacia el interior del tubo.

En esta prueba se prepara una mezcla de cemento, agua y arena para fijar el tubo al parte superior de la botella la cual fue cortada con una sierra como se visualiza en Figura

24 y se utilizó la mezcla para fijarla al tubo pero esta técnica no es la adecuada ya que la unión no queda completamente fija al tubo y no permite la conexión entre ellos.



Figura 24. Prueba de unión con PET con mezcla de cemento.
Elaboración propia.

Tomando como base los conceptos y los resultados de la prueba anterior se decidió realizar otro experimento donde se realizaron cortes diagonales a los extremos de los tubos de tal forma que casaran perfectamente, posteriormente se utilizó una platina de cincuenta (50) Cm para perforarla y con pernos fijarla a los extremos del cartón y de esta forma lograr unir los extremos.



Figura 25. Prueba de unión con platina y cortes diagonales.
Elaboración propia.

Como resultado de la prueba realizada en la se obtuvo que los cortes no permitieron fijar adecuadamente la platina y adicionalmente el interior de los tubos quedaba descubriendo permitiendo así, filtraciones indeseadas.

Con el proceso de encontrar una unión adecuada entre los tubos que conformarían la cercha, para ello fue necesario conseguir un pieza de acero cincuenta (50) cm de longitud y una (1) pulgada diámetro, esta pieza se dividió en tres (3), dos de quince (15) cm de longitud y otra de veinte (20) cm de longitud como se observa en la Figura 26.



Figura 26. Corte de pieza de acero de cincuenta (50) centímetros.
Elaboración propia.

Seguidamente se hizo necesario un proceso de soldadura de las piezas a los pernos ubicados en los extremos de los tubos como se visualiza en la Figura 27 , con este proceso se puedo analizar que los tubos quedaban unidos pero no era práctico para su instalación ya que es un proceso dispendioso y requería que las partes de la cercha llegaran al lugar pre armadas ante de su instalación lo cual, a futuro dificultaría su transporte por tanto este método de unión fue descartado, con este resultado se pretende seguir el patrón y hacer las siguientes uniones pero no fue exitoso ya que no cumplían con una fácil instalación y el proceso de ensamble la hacía más complicada la instalación de la estructura completa de la cercha .



Figura 27. Proceso de soldadura de las piezas en acero.
Elaboración propia.

Partiendo del análisis de la prueba anterior se determinó que estas pizas deberían ser planas y no cilíndricas en la parte donde se colocaría el perno y la arandela de fijación por tanto se adquirió una nueva varilla la cual fue sometida a un proceso de corte y modelamiento como se observa en la Figura 28 y la Figura 29.



Figura 28. Proceso de corte de las piezas en acero.



Figura 29. Proceso de modelamiento de las piezas en acero.

Elaboración propia.

Después del proceso realizado en las Figura 28 y la Figura 29, se procede a soldar las piezas de tal manera que se construya la unión con una cabeza plana y una perforación en s como se observa en la Figura 30, a continuación se retoma la prueba donde se utilizó una botella PET junto con un tapón elaborado en cartón corrugado del mismo diámetro de tubo para sellar los extremos de dicho tubos de cartón este procedimiento se visualiza en la Figura 31, una vez cortada la botella y ubicado el tapón en el interior del tubo se procede a realizar una perforación a un costado de la pieza de PET para verter en su interior la mezcla de mortero grout como se aprecia en la Figura 32.



Figura 30. Unión de acero.
Elaboración propia.



Figura 31. Procedimiento de sellado de los extremos del cartón tubular.
Elaboración propia.

En la Figura 32 se observa la unión en acero terminada al extremo del cartón tubular. Este proceso se realiza en ambos costados del tubo, finalmente se deja fraguar el mortero por un periodo de tiempo de sesenta (60) de minutos.



Figura 32. Fijación de la pieza de unión al extremo del cartón tubular.
Elaboración propia.

5.3. Proceso constructivo

Una vez se cuenta con los tubos de cartón totalmente armados con el recubrimiento de yeso, el impermeabilizante acronal y la pieza de unión fijada a sus extremos como se observa en la Figura 33 se procede a realizar el armado de la cercha uniendo los módulos desde sus puntas. Es importante precisar que las piezas de unión son más largas en los módulos que van hacia los extremos de la cercha con el fin de poder unirse en el vértice como se visualiza en la Figura 35.

CARTÓN TUBULAR COMO ALTERNATIVA EN LA CONSTRUCCIÓN DE CERCHAS

60

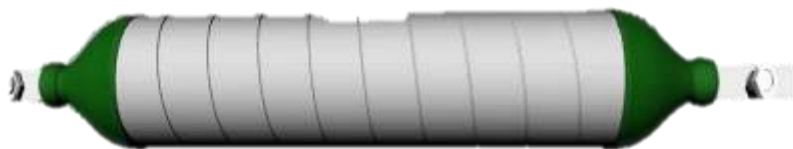


Figura 33. Modulo de cartón tubular. Realizado en Rhinoceros versión 5.0.
Elaboración propia.



Figura 34. Construcción de la cercha. Realizado en Rhinoceros versión 5.0.
Elaboración propia.

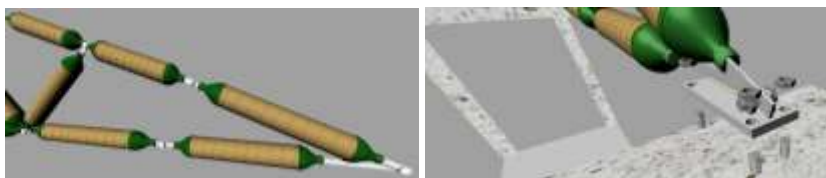


Figura 35. Armado en los extremos de la cercha. Realizado en Rhinoceros versión 5.0.
Elaboración propia.

En la Figura 36 se observa la cercha completamente construida la cual está configurada por módulos en equis (X) como lo exige el reglamento NSR-10.

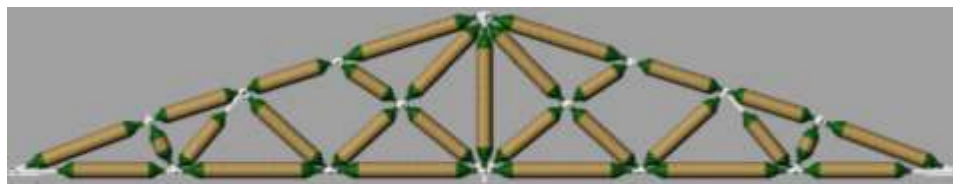


Figura 36. Propuesta de cercha cartón tubular y uniones en acero y PET. Realizado en Rhinoceros versión 5.0
Elaboración propia.

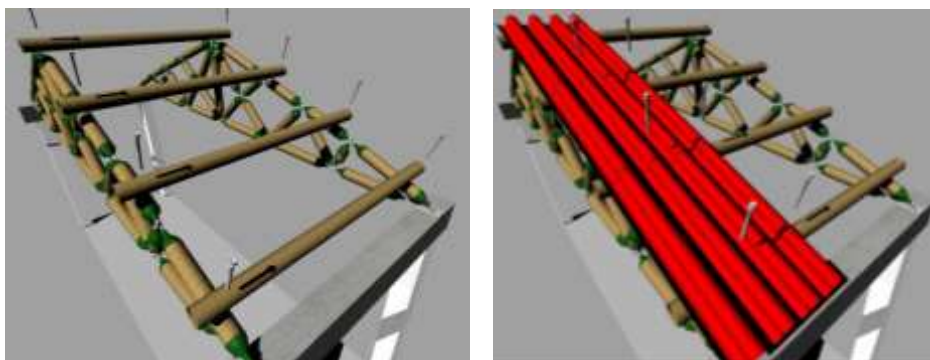


Figura 37. Sistema de fijación de la cercha a las correas y de las tajas a la estructura final. Realizado en Rhinoceros versión 5.0.

Elaboración propia.

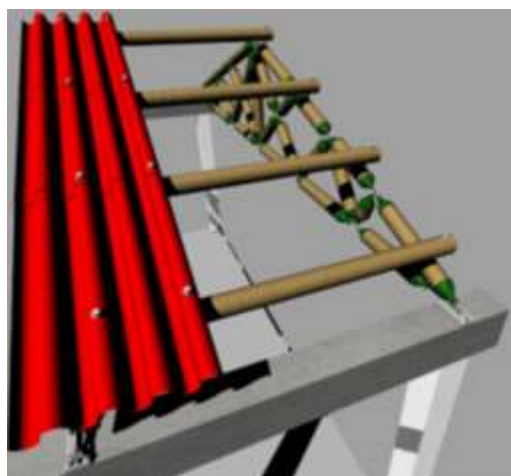


Figura 38. Estructura final. Realizado en Rhinoceros versión 5.0.

Elaboración propia.

5.4. Análisis y Discusión de Resultados

De acuerdo a la clasificación de materiales para acabados interiores y elementos que se utilizan dentro de una edificación están caracterizados en la Tabla 3, donde estos materiales están identificados por niveles donde los el nivel uno (1) son los menos combustibles y el nivel cuatro (4) son los más combustibles. De acuerdo con lo anterior el

cartón está clasificado en el nivel tres (3) lo que implica que se requiere un recubrimiento retardante a la combustión, durante los experimentos realizados se determinó que el recubrimiento más adecuado en el yeso con una capa de impermeabilizante acronal ya que aparte de ser retardante al fuego evita la filtración de líquidos a las capas internas del cartón tubular.

A continuación, se presentan la tabla de costos y materiales necesarios para construir la cercha en cartón tubular, en esta tabla también se detalla los tiempos y el personal necesarios para la instalación de una cerca de nueve (9) a doce (12) metros.

Tabla 4

Materiales de fabricación y costos de las cerchas en cartón tubular

Materiales	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Parcial
Cartón tubular de 4 pulgadas de 1 metro	und	32	\$ 500	\$ 16,000
Yeso industrial	kg	25.6	\$ 1,500	\$ 38,400
Varilla acero corrugado de 5/8	m	1	\$ 28,000	\$ 28,000
Platina en acero de 20mm * 2mm * 20 cm acero cold roled calibre 20	m	1	\$ 12,000	\$ 12,000
Verilla roscada cincada 5 -16	m	2	\$ 18,000	\$ 36,000
Arandelas	und	66	\$ 100	\$ 6,600
Tuercas hexagonales 5-16	und	66	\$ 220	\$ 14,520
Botellas PET de 3 litros	und	64	\$ 10	\$ 640
Pintura anticorrosiva	Gl	0.125	\$ 35,000	\$ 4,375
Mortero 1 a 4	m3	0.032	\$ 140,000	\$ 4,480
Soldadura Hoc 60-13	kg	4	\$ 7,200	\$ 28,800
Total materiales cercha de 9 metros.				\$ 189,815
Valor del metro de Cercha en cartón tubular				\$ 21,091
Equipos y Herramientas				
herramienta menor	und	1	\$ 4,500	\$ 4,500
Equipo de Soldadura	día	1	\$ 40,000	\$ 40,000

Pulidora	día	1	\$ 20,000.00	\$ 20,000
Subtotal Equipo y herramienta				\$ 64,500
Mano de Obra				
ayudante soldador	h	7	\$ 10,215	\$ 71,505
oficial soldador	h	7	\$ 15,322	\$ 107,254
subtotal mano de obra				\$ 178,759
Transporte				
Transporte herramientas menores	und	1	\$ 8,500	\$ 8,500
Transporte cartón	viaje	0.5	\$ 50,000	\$ 25,000
Transporte botellas	viaje	0.5	\$ 50,000	\$ 25,000
Subtotal				\$ 58,500
Total Cerca de 9 metros				\$ 491,574
Valor Total metro de cerca tubular incluida la instalación				\$ 54,619

Elaboración propia.

Al comparar los costos y tiempos de instalación de ambos tipos de cerchas registrados en la Tabla 4 y Tabla 5 , posible inferir que hay una reducción en costos del diecisiete (17%) por ciento lo que viabiliza la propuesta de la cerchas en cartón tubular adicionalmente, estas cerchas de cartón son de fácil instalación y en caso de requerirse se puede demostrar e instalarla e otro lugar los módulos son completamente reutilizables y estos se pueden transportar fácilmente ya que es posible unirlos en sitio.

Tabla 5

Materiales de fabricación y costos de las cerchas en acero

Materiales	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Parcial
Tubo estructural redondo 5" x 3.0 mm x 6 m	und	2	\$ 75,000	\$ 150,000
Soldadura He 60-13 de 1 octavo	kg	10	\$ 7,200	\$ 72,000
Tuerca hexagonal 5 -16	und	66	\$ 250	\$ 16,500
Unión en acero	m	2	\$ 18,000	\$ 36,000
Arandelas	und	66	\$ 15	\$ 990

CARTÓN TUBULAR COMO ALTERNATIVA EN LA CONSTRUCCIÓN DE CERCHAS

64

Pintura anticorrosiva	galón	2.5	\$	35,000	\$	87,500
Total materiales cercha de 9 metros.					\$	362,990
Valor del metro de Cercha en acero					\$	40,332
Equipos y Herramientas						
herramienta menor	und	1	\$	4,500	\$	4,500
Equipo de Soldadura	día	1	\$	40,000	\$	40,000
Pulidora	día	1	\$	20,000	\$	20,000
Subtotal					\$	64,500
Mano de Obra						
ayudante soldador	h	7	\$	10,215	\$	71,505
ayudante soldador	h	7	\$	10,215	\$	71,505
oficial soldador	h	7	\$	15,322	\$	107,254
subtotal mano de obra					\$	250,264
Transporte						
materiales menores	und	1	\$	8,500	\$	8,500
Transporte cartón	viaje	0.5	\$	50,000	\$	25,000
Transporte botellas	viaje	0.5	\$	50,000	\$	25,000
Subtotal transporte					\$	58,500
Total Cercha en acero de 9 metros					\$	593,244
Valor Total metro de cercha tubular incluida la instalación					\$	65,916

Elaboración propia.

Al realizar el análisis de Tabla 5 correspondiente a la cercha tradicional es posible evidenciar que se requiere de un personal más especializado por tanto el costo de instalación es superior al de la cercha de cartón, aunque ambas se instalan en un periodo de tiempo similar.

5.5. Beneficios

Al hacer una cercha con materiales como el cartón tubular y compararlo con una cercha elaborada en acero tenemos una disminución del gasto adicionalmente el aprovechamiento de recursos disminuye el daño ambiental ocasionado por la industria, La construcción de la cercha planteada no requiere mano de obra calificado para su armado y su tiempo de construcción en sitio es comparable con la de una cercha de acero tradicional

5.6. Conclusiones y Recomendaciones

Según los resultados encontrados se concluye que la mejor forma de utilizar el cartón tubular para la construcción de cerchas es aplicándole una capa de yeso industrial e impermeabilizante acronal sobre su superficie con el fin de retardar los efectos del fuego y mejorar su resistencia a los líquidos como por ejemplo el agua lluvia.

A partir de esta propuesta se comprueba que es posible construir cerchas con elementos estructuralmente portantes para cubiertas a dos aguas utilizando materiales reutilizado como las botellas de PET y el cartón tubular, lo que representa un paso importante ya que con esto se logra promover y darles una segunda vida útil a materiales que después de cumplir una primera función terminan afectando el medio ambiente, con esto disminuimos los costos en su elaboración e instalación trasladándoles este beneficio en costos y funcionalidad a los usuarios finales.

Durante el proceso investigativo y experimental del cartón tubular se evidencio que es un elemento con altas características estéticas y físicas como por ejemplo su durabilidad, flexibilidad, sustentabilidad, resistencia y adaptación para la construcción de sistemas modulares como muros, columnas y cerchas.

Es importante resaltar que si bien es un material flexible y resistente requiere de un recubrimiento para adquirir propiedades impermeabilizantes y retardantes al fuego como una capa de yeso y el impermeabilizantes acronal dando un acabado estético y funcional.

La metodología empleada para construcción de las cerchas en cartón tubular se puede catalogar como una estrategia alternativa de la construcción pone en evidencia que el

buen habito de reciclar o de otorgar un segundo uso a un elemento permite llevar a cabo procesos no solamente amigables con el entorno ambiental sino también económicamente viables ante los sistemas constructivos convencionales.

Lista de Referencia o Bibliografía

- Altomonte, S., & Luther, M. B. (2006). A Roadmap to Renewable Adaptable Recyclable Enviromental (R.A.R.E) Architecture. *The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture*. Recuperado de http://web5.arch.cuhk.edu.hk/server1/staff1/edward/www/plea2018/plea/2006/Vol2/PLEA2006_PAPER155.pdf
- Ban, S. (2020). *Shigerubanarchitects.com*. Recuperado de http://www.shigerubanarchitects.com/works/2013_madrid_paper_pavilion/index.html
- Bank, L. C., & Gerhardt, T. D. (2016). Paperboard tubes in structural and construction engineering. *Woodhead Publishing Series in Civil*, 455-480. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/298064463_Paperboard_tubes_in_structural_and_construction_engineering
- Blixt. (2019). *Total safe pack*. Recuperado de <https://www.totalsafepack.com/arquitectura-sostenible-con-carton-reciclado/>
- Cartontubos.SAS. (s.f.). *Línea Construcción Cartontubos*. Recuperado de <https://cartontubos.com/la-empresa/#:~:text=Descripci%C3%B3n,requeridos%20para%20sus%20diferentes%20usos.>
- Cerón Rincón, F. A. (2013). Uso de estructuras desmontables en cartón reciclado (corrugado y tetrabrik) para construcción de aulas temporales en Bogotá (tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/9506/13/franciscoarturoceronrincon.2013.pdf>
- Diez Peñaloza, T. (agosto de 2010). *El arte de la construcción en papel de Shigeru Ban*. Recuperado de <http://www.codigodiez.mx/textosarquitectura/shigeruban.html>
- Fernández Salamanca, V. C., & Hernández Monroy, M. N. (2016). Muros en tubos de cartón rellenos se aserrín como aislantes térmicos para climas fríos (Tesis de tecnología). Universidad la Gran Colombia, Bogotá D.C. Recuperado de <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/4020/Proyecto%20Muros%20en%20Tubos%20de%20Carton%20Rellenos%20de%20Aserr%C3%ADn.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Huaroto, A. (2018). Investigación previa acerca del empleo de tubos de cartón reciclado (paperboard tubes/ paperboard cores) en edificaciones (tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Huancayo. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/324982924_INVESTIGACION_PREVIA

_ACERCA_DEL_EMPLEO_DE_TUBOS_DE_CARTON_RECICLADO_PAPER
BOARD_TUBES_PAPERBOARD_CORES_EN_EDIFICACIONES

- Mireva, V. (2017) Shigeru Ban's architecture in the context of traditional craft techniques. A: Architectonics. "International Conference Architectonics Network: Mind, Land and Society, Barcelona, 31 May, 1-2 June 2017: Final papers". Barcelona: GIRAS. Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2117/121359>
- NSR-10 Norma Sismo Resistente. (2010f). Bogotá. Título F Estructuras metálicas. Ministerio de ambiente, Vivienda y desarrollo territorial Recuperado de <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/6titulo-f-nsr-100.pdf>
- NSR-10 Norma Sismo Resistente. (2010g). Bogotá. Título G Estructuras de madera y estructuras de guadua. Ministerio de ambiente, Vivienda y desarrollo territorial Recuperado de <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/7titulo-g-nsr-100.pdf>
- NSR-10 Norma Sismo Resistente. (2010j). Bogotá. Título J Requisitos de protección contra incendios en edificaciones. Ministerio de ambiente, Vivienda y desarrollo territorial Recuperado de <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/10titulo-j-nsr-100.pdf>.
- Orjuela Cubillos, Y. F. (2018). Sistema constructivo basado en tubos de cartón reutilizado (tesis de pregrado). Universidad La gran Colombia, Bogotá. Recuperado de https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/3291/Construcarton_sistema_productivo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pérez Gamarra, S. (2015). Construcción alternativa III. contrucion low-cost reciclar y construir con el desecho otras oportunidades para materiales de reciclado y nuevos usos para los materiales convencionales (tesis de pregrado). Universidad de Valladolid, Valladolid. Recuperado de <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/14068>
- Preston, S. J., & Bank, L. C. (2012). Portals to an Architecture: Design of a temporary structure with paper tube arches. *Construction and Building Materials* vol. 30, 657-666. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/234095022_Portals_to_an_Architecture_Design_of_a_temporary_structure_with_paper_tube_arches
- Vélez Ávalos, A. C. (2018). Diseño de modulo flexible para actividades temporales en espacio públicos a partir de materiales reciclados. (tesis de pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja, Loja Ecuador. Recuperado de <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/22407>

WordPress.com. (s.f.). SHIGERU BAN: BUILDING WITH PAPER – BOATHOUSE
AND PAPER TOWER. Recuperado de
<https://clarewashington.wordpress.com/2012/12/10/shigeru-ban-building-with-paper-boathouse-and-paper-tower/>

Anexos

- Video del proceso constructivo
- Planos de detalle en Rhinoceros 5.0
- Panel explicativo