

CONSTRU-CARTÓN
(Sistema constructivo basado en tubos de cartón reutilizado)

Yeison Fabián Orjuela Cubillos

Universidad La Gran Colombia
Arquitectura
Bogotá
JUNIO 2018

CONSTRU-CARTÓN

(Sistema constructivo basado en tubos de cartón reutilizado)

Yeison Fabián Orjuela Cubillos

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de arquitecto,

Director: Arquitecto Fabian Aguilera Martínez

Universidad La gran Colombia

Arquitectura

Bogotá,

2018

ÍNDICE GENERAL

Resumen	5
Abstract	6
Palabras clave	7
Keywords	7
Introducción	8
Formulación del problema	9
Hipótesis	11
Justificación	12
Objetivo General	13
Objetivos Específicos	13
Marco Referencial	14
Contextualización y Formulación del Proyecto	17
¿Qué es el poliestireno expandido?	17
Procedimiento de creación del EPS	17
Características	18
Problemática	19
Antecedentes	20
Metodología de investigación experimental	23
Características del casetón basado en tubos de cartón	24
Bibliografía	29
Anexos	30

Índice imágenes

1. Tubo cartón	25
2. Bloque poliestireno expandido (EPS)	25
3. Modulo ortogonal	26
4. Modulo panal	26
5. Modulo definitivo	28
6. Casetón de aligeramiento	28
7. Muro divisorio	28
8. Modulación preliminar 1	32
9. Modulacion preliminar 2	33

Resumen

CONSTRU-CARTON es un proyecto que involucra investigación, diseño y pruebas de Laboratorio. 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.

Se ofrece una alternativa en el aprovechamiento de recursos como es el cartón que se produce en forma de tubos para el embalaje y transporte de papeles de impresión que están a la mano y no están prestando un servicio adicional al que lleva en su fabricación optimizando aspectos tecnológicos, económicos y ambiental que tiene mayor relevancia ya que se buscan nuevas tecnologías limpias que generen la construcción de un hábitat sostenible. 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 viviendas.

El diseño de un sistema alternativo para aligeramiento de losas de concreto y muros divisorios en viviendas de máximo tres pisos en el material escogido que fueron los tubos de cartón, los cuales vienen embalando materiales para impresión con un amplio uso en la ciudad de Bogotá; dicho material desde su primer análisis demuestra una estructura que se utilizara en la construcción como elemento aligerante para losas de concreto y complemento estructural para un sistema de muros divisorios además puede llegar a ser competitivo en su eficiencia con los tradicionalmente utilizados en poliestireno expandido (EPS) en la ciudad de Bogotá.

Abstract

CONSTRU-CARTON is a project that involves research, design and testing of Laboratory. One of the research lines of the Faculty of Architecture of the university La Gran Colombia is that of technological habitat and construction in the technological innovation modality.

An alternative is offered in the use of resources such as cardboard that is produced in the form of tubes for the packaging and transport of printing papers that are close by and are not providing an additional service to their manufacturing, optimizing technological, economic and environmental aspects. greater relevance since new clean technologies are sought that generate the construction of a sustainable habitat. Additional one is proposed: efficiency in final costs of the system that benefits the builder and promoter of new systems like this for its use in housing

The design of an alternative system for lightening concrete slabs and dividing walls in houses with a maximum of three floors in the chosen material that were cardboard tubes, which are packing printing materials with wide use in the city of Bogotá; said material from its first analysis demonstrates a structure that will be used in construction as a lightening element for concrete slabs and structural complement for a system of dividing walls can also be competitive in its efficiency with those traditionally used in expanded polystyrene (EPS) in the city of Bogota.

Palabras clave

Poliestireno, reducir, reciclar, reutilizar

Keywords

Polystyrene, reduce, recycle, reuse

Introducción

La utilización del poliestireno expandido en aligeramiento de losas de concreto y muros divisorios no estructurales puede ser reemplazada por un producto en tubo de cartón.

Basados en pruebas, ya sean prácticas o de laboratorio, se va a encontrar la manera mediante la cual se pueda usar los tubos de cartón, en conjunto con láminas de triplex de 3 mm, para crear casetones de aligeramiento recuperables de las losas de concreto y módulos para muros divisorios con ventajas térmico-acústicas que los hagan competitivos con los tradicionalmente comercializados.

Estos elementos podrán ser modelados con la forma necesaria, siempre y cuando su estructura lo permita, esta estructura está basada en el módulo ortogonal, debido a la forma del material (cilíndrico), es la estructura más fuerte que se puede generar que nos permita un fácil ensamble y el uso de los sistemas tradicionales constructivos, el uso de este módulo nos permite la utilización de la misma estructura para fundición que se maneja tradicionalmente en losas aligeradas y también la utilización de la perfilería utilizada para el armado de un muro divisorio en Drywall.

El espesor de los casetones de aligeramiento es de 8 cm ya que como referente de diseño se encuentra el sistema de placa fácil y sus dimensiones límites tanto en bloques aligerantes como en los perfiles metálicos que se proponen y para los módulos de muro divisorio su espesor es de 4 cm esta variación lo permiten los tubos de cartón ya que usualmente los tubos se encuentran con una longitud entre 1 y 1.5 metros, lo cual nos brinda la facilidad de generar módulos de casi todos los espesores requeridos.

Formulación del problema

El poliestireno expandido (EPS) desde su proceso de fabricación genera cerca de 57 subproductos químicos tóxicos dañinos para el medio ambiente, muestra de esto son los productos clorofluorocarbonados (CFC) que van directamente a afectar la capa de ozono; oficina nacional de normas para el centro de investigación de incendios que catalogo los productos liberados durante la creación de la espuma de poliestireno.

Asimismo el poliestireno expandido tiene otra problemática para su proceso de reciclado debido a su dificultad para transportar el material ya que una tracto mula que normalmente transporta 30 toneladas, cargada de EPS solamente transporta alrededor de 300 kg dependiendo de la densidad del material y según el artículo Isabel Junc. 1 Feb 2014 El icopor, una amenaza ambiental creciente para Bogotá El espectador “El icopor una amenaza ambiental creciente para Bogotá” del periódico El espectador del 01 de febrero de 2014 sostiene que para los recicladores del programa basura cero no es rentable procesar el material ya que de 15000 bodegas registradas en Bogotá por la UAESP (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos) para el pesaje de material reciclable, solo dos les compran EPS a los recicladores las cuales son:

- Usaquén
- Puente Aranda

En concordancia con el panorama anterior surge la siguiente pregunta:

¿Cómo se lograría diseñar una alternativa al uso de poliestireno expandido con base en tubos de cartón para la construcción?

Al respecto de la pregunta: el tubo de cartón es un material con altas propiedades de resistencia que puede ser reciclado de una forma más sencilla, como lo vemos se está incluyendo en la industria de la construcción en la ciudad de Cali con

CONSTRU-CARTON

empresas como cartontubos sas; que mediante la modalidad de outsourcing vio el potencial del material y lo está incluyendo en forma de formaleta para la fundición de columnas y como aligeramientos de concreto fabricando sus elementos en unas medidas estandarizadas.

Hipótesis

La utilización del poliestireno expandido en aligeramiento de losas puede ser reemplazada en la construcción de casetones por un producto en tubo de cartón. Basados en pruebas de laboratorio, se va a encontrar la manera mediante la cual se pueda usar los tubos de cartón, en conjunto con láminas también de cartón, para crear casetones de aligeramiento de las losas de concreto.

Estos casetones podrán ser modelados con la forma necesaria, siempre y cuando su estructura lo permita, esta estructura está basada en modulo ortogonal, debido a la forma del material (cilíndrico), el uso de este tipo de estructura permite el desarrollo de formas rectangulares, lo cual genera una gran facilidad al momento de su uso, permitiéndonos satisfacer las necesidades del usuario en el momento de la construcción de una losa aligerada.

Con el desarrollo de este prototipo se evidencia la aplicación del módulo ortogonal para para el diseño de un sistema aplicable a muros divisorios el cual se complementa con el sistema estructural del Drywall, se adapta a este y complementado con un aislamiento en espuma de poliuretano aumenta sus ventajas termoacústicas haciéndolo un sistema eficiente e innovador.

Apoyado en los estudios y proyectos desarrollados por el arquitecto Shigeru Ban y los productos ofertados en tubos de cartón para la construcción en Colombia se basa esta investigación que concluye con el diseño de los prototipos que forman un sistema constructivo innovador a partir de la reutilización de material reciclable.

Justificación

El tema que se aborda con esta investigación es pertinente debido a que además que se desincentiva el uso de un producto altamente contaminante como lo es el poliestireno expandido (EPS) el cual según estudios internacionales ha venido subiendo su consumo a nivel mundial en los últimos años tanto así que se elevó al doble desde el año 2001 al 2011.

Por otro lado se plantea la reutilización de los tubos de cartón utilizados en el embalaje de materiales para la impresión que se estaban yendo directamente a las plantas de reciclaje, luego que ya no transportaban el material de plotter.

Objetivo General

Diseñar un sistema constructivo para aligeramiento de losas de concreto y un módulo tipo panel para muros divisorios con base en tubos de cartón como alternativa a la utilización del poliestireno expandido para la ciudad de Bogotá.

Objetivos Específicos

1. Comparar dos materiales de construcción (EPS y tubos de cartón) con el fin de evidenciar la potencia del tubo de cartón como material alternativo.
2. Desarrollar un sistema un sistema técnico que potencialice el tubo de cartón para su uso como elemento aligerante de losas de concreto.
3. Proponer un sistema constructivo en tubos de cartón con base en pruebas y comparaciones del material.

Marco Referencial

¿Cómo desarrollar un sistema constructivo en tubos de cartón como alternativa al uso de poliestireno expandido? Para la realización de este proyecto se tiene como apoyo teórico el trabajo y experiencia con la que cuenta el señor Gustavo Molina quien ha fundado su empresa “cartontubos” en la ciudad de Cali la cual comenzó a trabajar con tubos de cartón en el año 2012 incursionando y abriendo el mercado para este material en la construcción con lo cual se centrara el proceso en bases firmes como lo son las experiencias del material en el mercado por más de 4 años pero además se quiere llegar a darle un plus que será la reutilización del tubo de cartón que se encuentra como desecho en las diferentes industrias a nivel capital.

Razón por la cual este sistema será una alternativa al uso del poliestireno expandido en Bogotá ya que éste es un material con propiedades físicas y químicas que lo hacen altamente contaminante, difícil de reciclar y reusar, por esto no es apreciado en las plantas de reciclaje en cambio el cartón puede seguirse reutilizando las veces necesarias.

Mediante el método científico de investigación y basados en pruebas de laboratorio, se va a encontrar la manera mediante la cual se pueda usar los tubos de cartón, en conjunto con láminas también de cartón, para crear casetones de aligeramiento de las losas de concreto y módulos tipo panel para muros divisorios.

Como fundamento teórico se cuenta con el trabajo del arquitecto Japonés Shigeru Ban que tiene antecedentes en la utilización del mismo material en el que se basa ese trabajo en la construcción de objetos arquitectónicos como refugios, capillas y viviendas de emergencia entre otras

En su rigurosa investigación, este arquitecto ha realizado pruebas de resistencia a ciertos factores en los laboratorios de la universidad de Waseda en el departamento de arquitectura de Tokio, Japón en el periodo de agosto de 1990 y agosto de 1991, las pruebas realizadas tenían como finalidad determinar las consecuencias a largo plazo de una carga axial constante en el tubo de papel durante un año (Constructivos, 2014).

Para este prolongado experimento, se toman 5 tubos que tienen 100 milímetros de diámetro, de 12.5 milímetros de espesor y de 400 milímetros de longitud. Estos tubos se someten a una fuerza axial de 1000 kgf, y se determina la condición de que es menos de un tercio de la resistencia a la compresión del tubo de papel. (Constructivos, 2014)

Teniendo en cuenta que la resistencia a compresión de un tubo de papel es de 103.2 kgf/cm². El valor medido de la fuerza de torsión axial aplicada a las muestras equivalente a 1000 kgf es de 310 kgf/cm. (Constructivos, 2014)

En las pruebas realizadas por Shigeru Ban, se encuentran pruebas de temperatura y la humedad relativa, cambios dimensionales, ensayo de compresión. Relación entre la carga y la tensión, ensayo a flexión y estos resultados se pueden evidenciar en el libro "SHIGERU BAN" Phaidon Press, Mathilda McQuaid (Constructivos, 2014)

En los últimos tiempos el cartón en el ámbito de la construcción ha tenido una acogida muy amplia, 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 "wikkelhuse" 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.

CONSTRU-CARTON

Los módulos se fabrican de una manera muy similar a los tubos de cartón, ya que para ello se implementa un molde en el cual las láminas de cartón van siendo envueltas hasta tener el espesor requerido, estos módulos están diseñados con estimado de vida útil de aproximadamente 50 años, ya que son terminados en su exterior con capa impermeable, cada módulo tiene unas dimensiones de $h= 3.5\text{m}$, largo $= 4.6\text{m}$ y ancho $= 1.2\text{m}$ (ver anexo 1) su peso aproximado es de 500 Kg. (ovacen)

Al utilizar una configuración modular, la vivienda puede desarrollarse bajo diferentes parámetros y se convierte en algo dinámico, muy personalizado lo cual se refleja en el resultado final, para los acabados por lo general se utiliza madera tanto en sus interiores como exteriores, brindando así una sensación de materiales 100% naturales.

Ya como resultado se planea generar el producto que será el casetón de aligeramiento para losas de concreto y el modulo tipo panel para muros divisorios hechos en tubos de cartón que además será incluido en un sistema propuesto que mejore su funcionamiento dentro de una vivienda tipo desarrollada por un programa social del gobierno.

Basados en la trayectoria, experiencia y pruebas hechas anteriormente por personas especializadas en el tema, y las propias desarrolladas en el laboratorio de la facultad de ingeniería de la universidad la Gran Colombia tendremos las referencias necesarias para lograr fundamentar y seguir adelante con el proyecto, complementando lo necesario para asegurar que el casetón y el panel divisorio tengan las mismas o mejores características que los demás productos manejados tradicionalmente.

Contextualización y Formulación del Proyecto

¿Qué es el poliestireno expandido?

Es un termoplástico el cual fue expandido gracias a químicos aplicados al estireno por medio de un proceso industrializado; este material fue patentado por la empresa americana BASF AG en 1950, se dio a conocer en estados unidos como EPS (expandable polystyrene) (Zamora, 1997)

Procedimiento de creación del EPS

Los productores de plásticos crean unas pequeñas esferas de entre 0.2 y 0.3 mm, usualmente llamados perlas; éstas deben ser sometidas a un proceso que se compone de 3 etapas, luego se tendrá el producto final.

En la primera etapa, se aplican altas temperaturas a las perlas, utilizando en la mayoría de los casos agua o vapor de agua, a la vez que se aplica el agente expansor, esto con el fin de expandir su tamaño original hasta aproximadamente 50 veces, en la segunda etapa, se deja reposar el material, para dar inicio a un proceso de difusión y finalmente, las perlas previamente expandidas son puestas en moldes que se someten a una última expansión, generando un volumen solido que tendrá una forma particular, dependiendo del molde utilizado (Zamora, 1997)

El proceso descrito antes, puede tener variaciones, las cuales permitirán modificar la densidad del producto final, esto dependiendo para que sea requerido.

Características

Resistencia a la compresión

La resistencia del material varía según la densidad del mismo, esta densidad, oscila entre los 50 y 150 KPa, en las pruebas que se desarrollaron en el laboratorio de la universidad la Gran Colombia el resultado máximo de resistencia a la compresión fue de 0,451 kgf/cm². Teniendo en cuenta que las muestras que fueron evaluadas eran de alta densidad.

Resistencia química

El EPS es un material de gran resistencia a productos inorgánicos, la manera para diluirlo es por medio de solventes orgánicos, como los combustibles de hidrocarburos

Impermeabilidad

El material es altamente resistente a la humedad, es casi que totalmente impermeable al agua, pero en su defecto es permeable en gran medida a los gases

Exposición a los factores naturales

El poliestireno expandido, al ser impermeable, implica que no puede generar ningún tipo de hongo, por ende, no se pudre, así mismo tampoco genera ningún sustrato o beneficio nutricional a la tierra (Zamora, 1997)

Problemática

El poliestireno expandido parece durar para siempre, ya que es resistente a la fotólisis, o la descomposición de los materiales por los fotones procedentes de una fuente de luz. Esto, combinado con el hecho de que el poliestireno expandido es ligero y por lo tanto flota (Comite Ambiental, 2012), significa que con el tiempo una gran cantidad este material se ha acumulado a lo largo de las costas y vías fluviales de todo el mundo. Ahora se considera el principal componente de los desechos marinos.

El poliestireno expandido se obtiene por la polimerización del estireno tratado en agua y mediante la colaboración de un agente de expansión, el poliestireno expandido, posee entre 3000 y 6000 millones de celdillas (Ramos, 1979), además de la descripción que hace el libro de Juan de Cusa, de la fabricación, se ha comprobado que en ese proceso se generan más de 50 subproductos químicos con altos niveles contaminantes del medio ambiente (Kinhal, 2013); en un comienzo se usaban productos bromados, que son dañinos para la capa de ozono, pero luego de la evidencia de la magnitud del problema con el que se estaban enfrentando los fabricantes, se optó por utilizar como base productos hidrofluorocarbonos, que tienen niveles un poco más bajos de contaminación (Kinhal, 2013), pero si entramos a evaluarlos de una forma más objetiva llegamos a darnos cuenta que aun ellos están generando daños muy graves al medio ambiente ya que producen un aumento considerable en el calentamiento global y nuevamente podemos concluir que este material, desde su fabricación no es para nada ecológico.

Dentro de sus características se encuentran su flotabilidad y bajo peso lo cual lo convierte en un producto que al llegar a cuerpos de agua, los contamina mediante procesos de sedimentación y si estos cuerpos hídricos poseen población animal, estos fácilmente confunden las celdillas con alimento y terminan muriendo, debido a que cuando el producto ingresa al organismo de un ser vivo, no es digerido y su expulsión es algo compleja. (Clean Up Australia Ltd, 2010)

Debido al alza que se ha venido presentando en los últimos en la utilización de este material en casi todas las áreas del mercado, sería de suma importancia implantar ciertas metodologías que aumenten la vida útil del material, ya que en la mayoría de los casos, éste es utilizado una sola vez y posteriormente desechado, esto en aras de reducir el impacto ambiental que tiene como consecuencia el EPS (Peña, 2013)

Antecedentes

Shigeru Ban

Arquitecto japonés, nacido en el año 1957, quien se especializa en experimentar nuevos materiales para la construcción, dedicando gran parte de su vida profesional en ello, en un gran interés por la construcción en materiales ligeros, se dio a la tarea de establecer los tubos de cartón como material tanto estructural como de construcción en viviendas, lo cual se vio reflejado por primera vez en Kobe, Japón, donde ocurrió un terremoto en 1995 éste dejó muchas personas damnificadas, allí se dio la oportunidad de demostrar su teoría generando una serie de viviendas de emergencia, así como también una iglesia (Peñaloza, 2010)

A partir de estas construcciones, se generaron una serie proyectos de carácter humanitario que han sido de gran ayuda para víctimas con diferente problemática, como desastres y violencia, estos proyectos le llevaron a ser merecedor de la asesoría para la ONU en el Alto Comisionado para los Refugiados (UNHRC) de 1995 a 1999. (Peñaloza, 2010)

Luego de estos proyectos con los que se dio a conocer, los procesos y diseños construidos en cartón y papel han ido mejorando y desarrollándose cada vez mejor, esto se puede evidenciar en la casa de papel de Japón en 1995, un puente construido en un curso de verano que impartió en el sur de Francia en el 2007, el pabellón de Japón para la Expo Hannover en el 2000, el nuevo Centro Pompidou de Francia en el 2010 y diversos tipos de construcciones que han sido aceptadas con entusiasmo (Peñaloza, 2010)

Gracias a su trabajo humanitario, la estética de sus construcciones y el uso de materiales innovadores en ellas, Shigeru Ban fue galardonado con el premio Pritzker en el año 2014, por la dignidad humana que exalta su arquitectura y por su preocupación por el medioambiente. (Semana, 2014)

Cartontubos

Empresa caleña, dedicada a la fabricación de tubos de cartón para enrollar diferentes tipos de materiales, en año 2012 deciden incursionar en la industria de la construcción generando cilindros diseñados específicamente para la fundición de cuerpos cilíndricos y el aligeramiento de losas de concreto, procedimientos innovadores en la industria en nuestro país, pero que en países como México, estados unidos y Brasil llevan un poco más de 50 años (Cartontubos)

El tubo es 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)

Una de las maneras de usar el material, es a modo de encoframiento, ya sea para columnas, pilares y pilotes de concreto, el cual 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 un corte vertical en uno de sus extremos para poder retirarlo de manera espiralada, que es como se fabrica. (Cartontubos)

También se usan como aligeramiento en diversas áreas de la construcción, como lo son losas de entrepiso, paredes, placas para puentes y demás, se puede utilizar como elemento portante provisional de la estructura de concreto, lo que quiere decir 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 buen aislamiento térmico y acústico. (Cartontubos)

Para poder generar esta implementación la empresa Cartontubos realizó pruebas de laboratorio a los diferentes tubos comercializados en la industria de la

CONSTRU-CARTON

construcción, estas pruebas realizadas por la Pontificia Universidad Javeriana de Cali, arrojaron que el cartón es un material resistente y que puede ser usado para estos fines. (Cartontubos)

Metodología de investigación experimental.

El tipo de investigación que se llevara a cabo en este proyecto es experimental, pues hasta este momento hay muy poco material documentado acerca del uso de los tubos de cartón como aligeramiento de losas de concreto y muros divisorios ya que el único referente que tenemos a nivel nacional es la empresa cartontubos.

A diferencia de ellos, que fabrican los tubos para un determinado fin en la industria de la construcción, se van a implementar los tubos que son desechos en diferentes áreas de producción, modulándolos y ajustándolos a las diferentes necesidades requeridas para el aligeramiento de losas 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 un casetón y un panel para muros divisorios que a su vez van establecer cuál de las opciones obtenidas es la más conveniente; para evaluar este criterio, se procederá a crear un modelo de cada una de las modulaciones los cuales serán sometidos a pruebas de laboratorio.

Estas pruebas también serán realizadas en casetón de poliestireno expandido (icopor) y se va a comparar los resultados obtenidos de ambas muestras para de esta manera conocer cuál de los prototipos cuenta con mejores características en su materialidad.

En caso de que los prototipos en tubos de cartón no tengan las mismas o mejores características que el poliestireno expandido, se procederá a realizar las investigaciones y mejoras pertinentes para optimizar el producto y hacerlo competitivo

Características del casetón a base de tubos de cartón

El casetón será compuesto por tubos de un diámetro aproximado de 5.5cm, los cuales se ubicarán de manera vertical de acuerdo con la mejor modulación que arrojaron las pruebas para soportar una compresión axial únicamente al momento de verter el concreto para la losa, estos tubos serán sujetos entre si con el adhesivo que mayor resistencia demostró (adhesivo para madera) formando un bloque que contará con una cubierta superior e inferior en láminas de cartón corrugado tratadas con impermeabilizante acrílico que evita que se llenen de concreto.

La modulación de los tubos es de manera ortogonal, es decir que partiendo de un tubo se ubicaran los demás a 0, 90, 180 y 270 grados, generando un apoyo máximo de cuatro tubos o mínimo de dos (ver Modulación preliminar 1

Como es de general conocimiento, entre más apoyos existan en una estructura vertical, más resistente es, gracias a la forma cilíndrica que presenta el material, es posible modularlo de manera hexagonal o con forma de colmena, este tipo de estructura presenta una mayor resistencia, ya que en la modulación el cuerpo que menos apoyos tiene es también de dos, pero a diferencia del caso anterior, el que más tiene es de seis, estos apoyos estarán a 60, 120, 180, 240, 300 y 360 grados, brindando más estabilidad y rigidez al bloque. (Ver Modulación preliminar 2) aunque tiene una gran desventaja y es una difícil modulación para el montaje del bloque aligerante puesto que su forma no tiende a ser ortogonal.

Resultados pruebas de compresión

Pruebas de laboratorio

Los resultados de estas pruebas simulan el comportamiento mecánico del material de material a escala real para revisar las pruebas completas remitirse al documento “Pruebas de laboratorio Construo-Cartón”.

PRUEBA DE COMPRESIÓN TUBO DE CARTÓN

DIAMETRO INTERNO: 52 mm

DIAMETRO EXTERNO: 54,5 mm

LONGITUD: 150 mm

AREA INTERNA: 2123 mm²

AREA EXTERNA: 2332 mm²

AREA ANILLO: 209 mm²

RESISTENCIA MÁXIMA

COMPRESIÓN: 0,73 kN

$0,73 \text{ kN} / 0,009807 \text{ kgf} = 74,43 \text{ kgf/cm}^2$

$74,43 \text{ kgf} / 20,9 \text{ Cm}^2 = 3,56$



1 Tubo cartón

PRUEBA DE COMPRESION BLOQUE POLIESTURENO EXPANDIDO

AREA: 64 cm

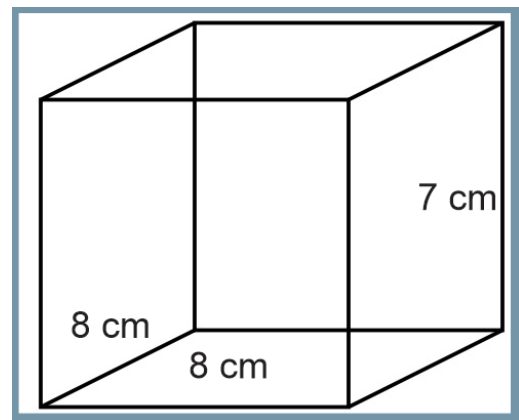
VOLUMEN: 448 cm²

RESISTENCIA MAXIMA: 0,23 kN

(deformación del 10%)

$0,23 \text{ kN} = 23,45 \text{ kgf} + 5,46 \text{kgf} = 28,91 \text{kgf}$

$28,91 \text{ kgf} / 64 \text{ cm}^2 = 0,451 \text{ kgf/CM}^2$



2 Bloque poliestireno expandido (EPS) 25

PRUEBA DE COMPRESION MODULO ORTOGONAL

RESISTENCIA MÁXIMA

COMPRESIÓN: 3,76 kN

$R=3,76 \text{ kN} / 0,009807 \text{ kgf} =$

$383,3 \text{ kgf} + 5,46\text{kgf}= 388,7 \text{ kgf}$

388,7 kgf

$Am 2,09 \text{ cm}^2 \times 4 = 8,36 \text{ cm}^2$

$R/ Am= R/\text{cm}^2$

$388,7 \text{ kgf} / 8,36= 46,4 \text{ kgf}/\text{cm}^2$

46,4 kgf/cm²



3 Modulo ortogonal

PRUEBA DE COMPRESION PANAL

RESISTENCIA MÁXIMA

COMPRESIÓN: 4,95 kN

$R 4,95 \text{ kN} / 0,009807 \text{ kgf} =$

$504,7 \text{ kgf} + 5,46\text{kgf}= 510,1 \text{ kgf}$

510,1 kgf

$Am 2,09 \text{ cm}^2 \times 7 = 14,6\text{cm}^2$

$R/ Am= R/\text{cm}^2$

$510,1 \text{ kgf} / 14,6 \text{ cm}^2 = 34,9\text{kgf}/\text{cm}^2$



4 Modulo panal

MODULO DEFINITIVO

Con base en los resultados de resistencia a la compresión de concluyo que el módulo más eficiente es el tipo ortogonal que también al ensamblarse con el mejor adhesivo ensayado (Colbon madera) aumento notablemente su resistencia en un 149%.

RESISTENCIA MÁXIMA

COMPRESIÓN: 7,47 kN

$R \ 7,47 \text{ kN} / 0,009807 \text{ kgf} =$

$504,7 \text{ kgf} + 5,46\text{kgf} = 761,7 \text{ kgf}$

$Am \ 2,09 \text{ cm}^2 \times 7 = 14,6\text{cm}^2$

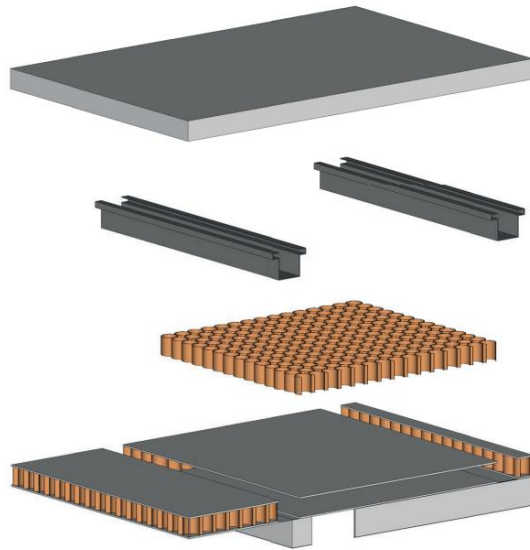
$R / Am = R / \text{cm}^2$

$761,7 \text{ kgf} / 14,6 \text{ cm}^2 = 52,1\text{kgf/cm}^2$

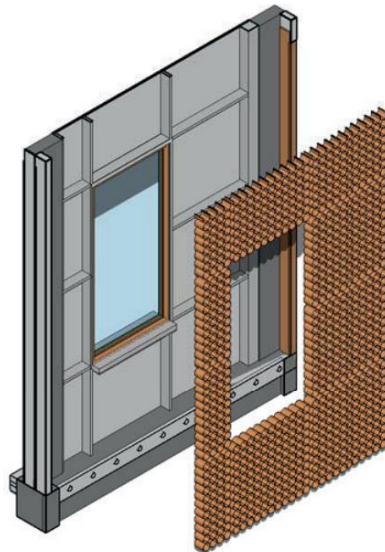


[5 Modulo definitivo](#)

Diseños preliminares



6 Casetón de aligeramiento

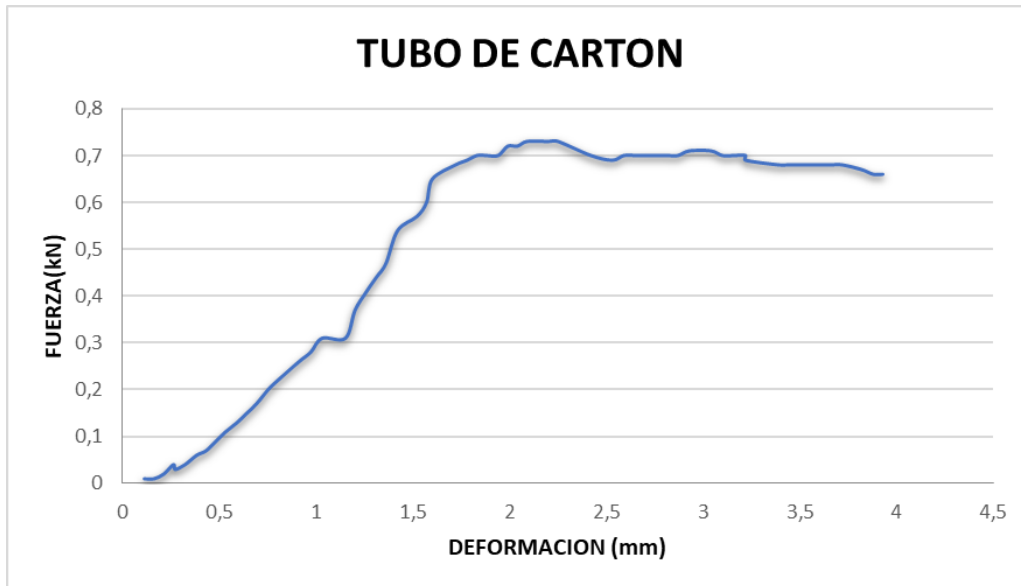


7 Muro divisorio

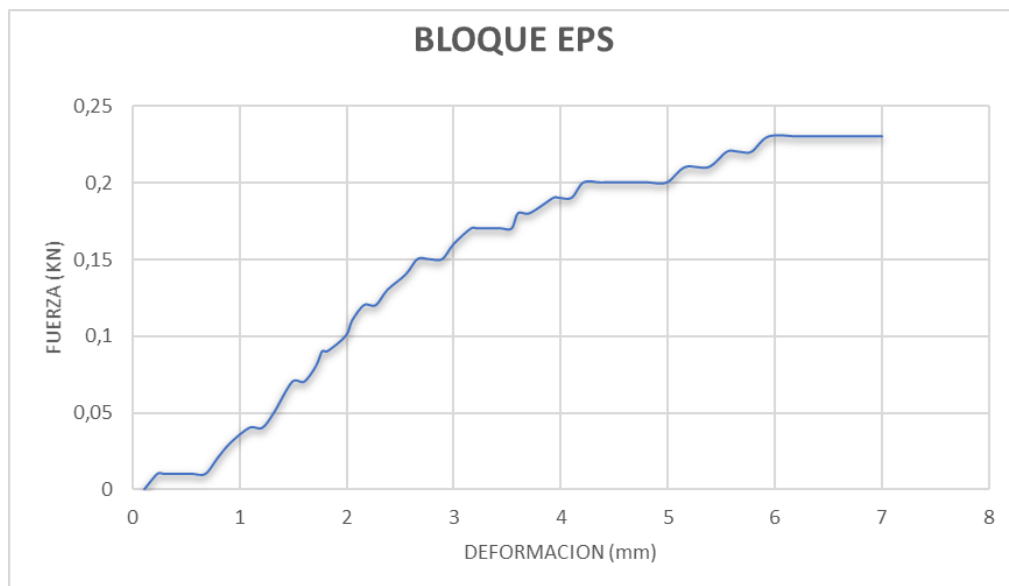
Bibliografía

- Cartontubos. (s.f.). *Cartontubos*. Obtenido de <http://cartontubos.com/>
- Clean Up Australia Ltd. (Mayo de 2010). *clean up*. Obtenido de www.cleanup.org.au/PDF/au/clean_up_australia_polystrene_factsheet.pdf
- Comite Ambiental. (12 de Julio de 2012). *Comite ambiental*. Obtenido de <http://tips-comiteambiental.blogspot.com.co/2012/07/contaminacion-por-desechos-de.html>
- Constructivos, S. (9 de Diciembre de 2014). *ARQUITECTURA REVOLUCIONARIA*. Obtenido de <http://arquitecturadecarton.blogspot.com.co/2014/12/tubos-de-carton.html>
- Junca, I. (1 de Febrero de 2014). El icopor, una amenaza ambiental creciente para Bogotá. *El Espectador*.
- Kinhal, V. (2013). *I love to know*. Obtenido de <http://greenliving.lovetoknow.com/>
- Peña, C. H. (2013). Reciclaje termo - mecánico del poliestireno expandido (Icopor), como una estrategia de mitigación de su impacto ambiental en rellenos sanitarios. Manizales, Colombia: Universidad de Manizales.
- Peñaloza, T. D. (Agosto de 2010). *Codigo Diez*. Obtenido de <http://www.codigodiez.mx/textosarquitectura/shigeruban.html>
- Ramos, J. d. (1979). *aplicaciones del plastico en la construccion*. bogota.
- Semana. (5 de Abril de 2014). *Semana*. Obtenido de <http://www.semana.com/cultura/articulo/shigeru-ban-el-arquitecto-del-papel/382576-3>
- Zamora, C. D. (1997). Carcterizacion del poliestireno expandido como material de aligeramiento de terraplenes. *Carcterizacion del poliestireno expandido como material de aligeramiento de terraplenes*. Bogotá, Colombia: Universidad de los andes.

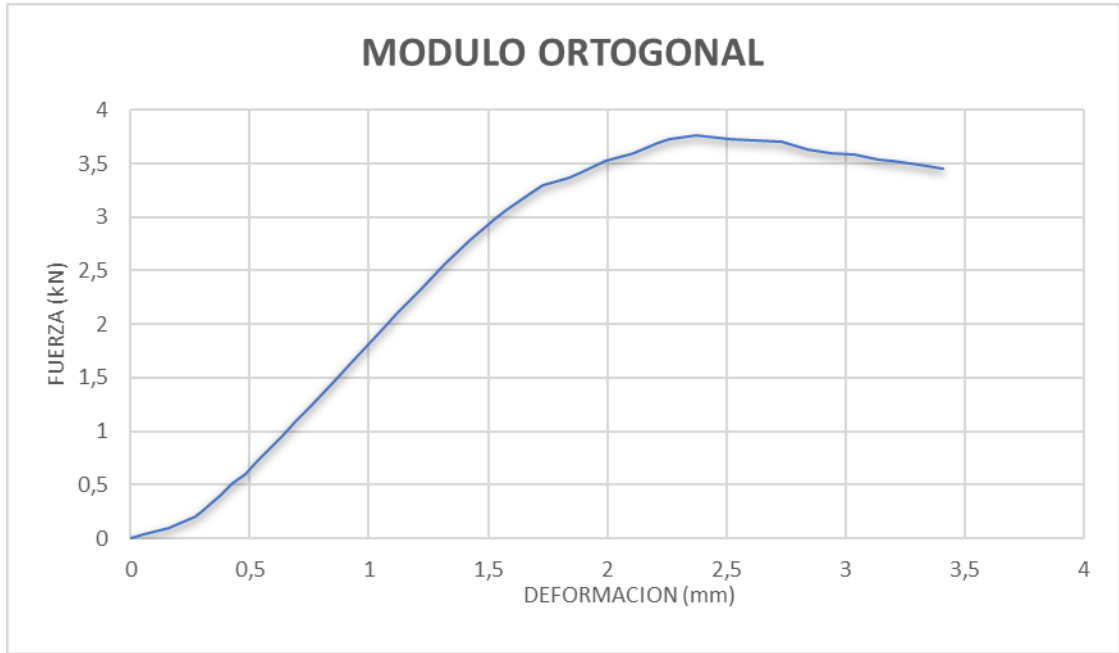
Anexos



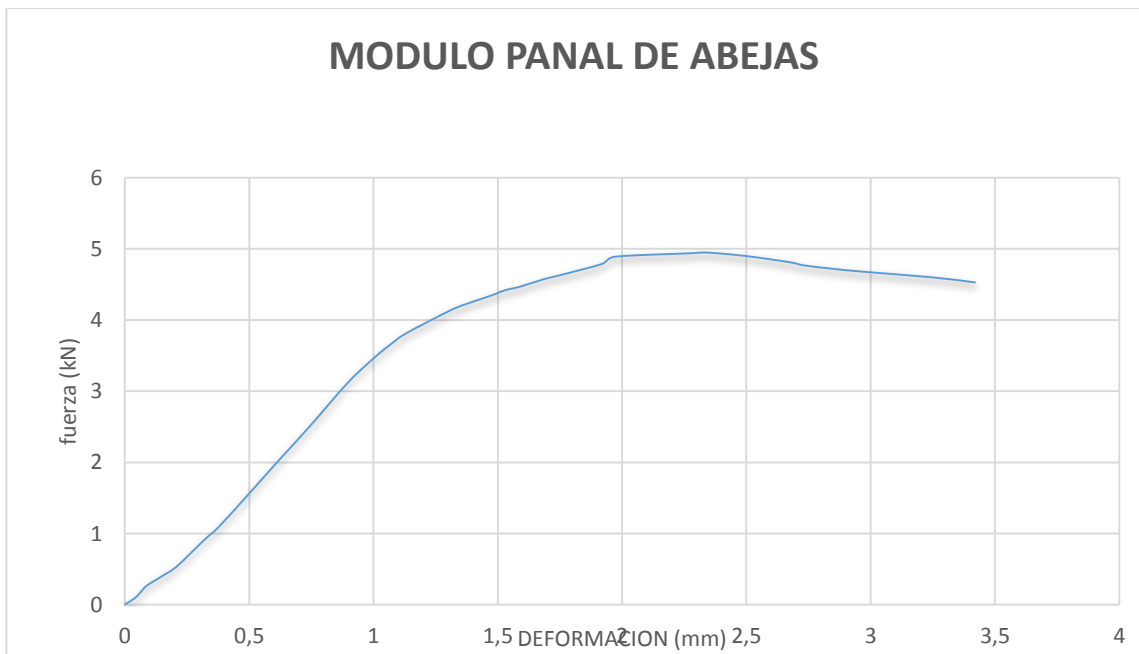
Grafica 1 compresión tubo de cartón



Grafica 2 compresion bloque poliestireno



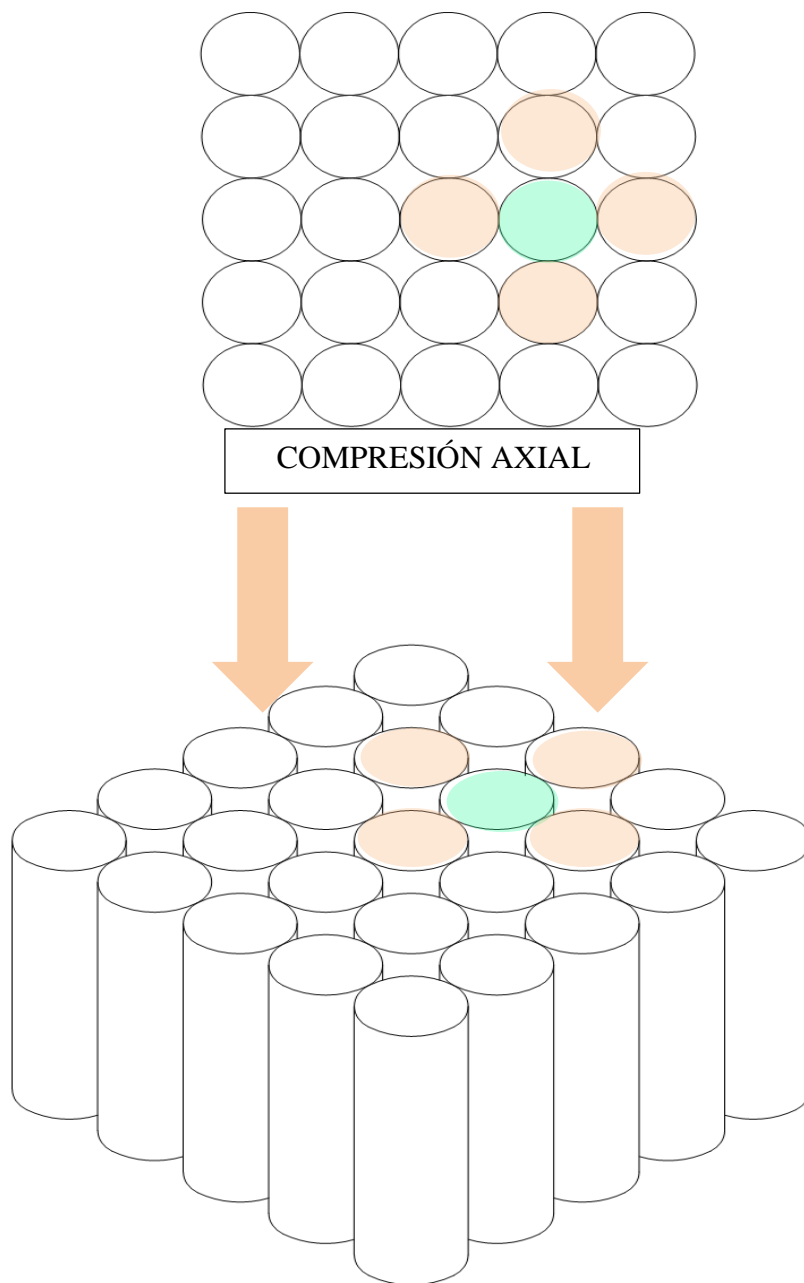
Grafica 3 compresion modulo ortogonal



Grafica 4 compresion modulo panal

Modulación tubos forma ortogonal

Cuatro apoyos entre tubos



Modulación tubos forma panal

Modulación tubos tipo colmena (panal de abeja)

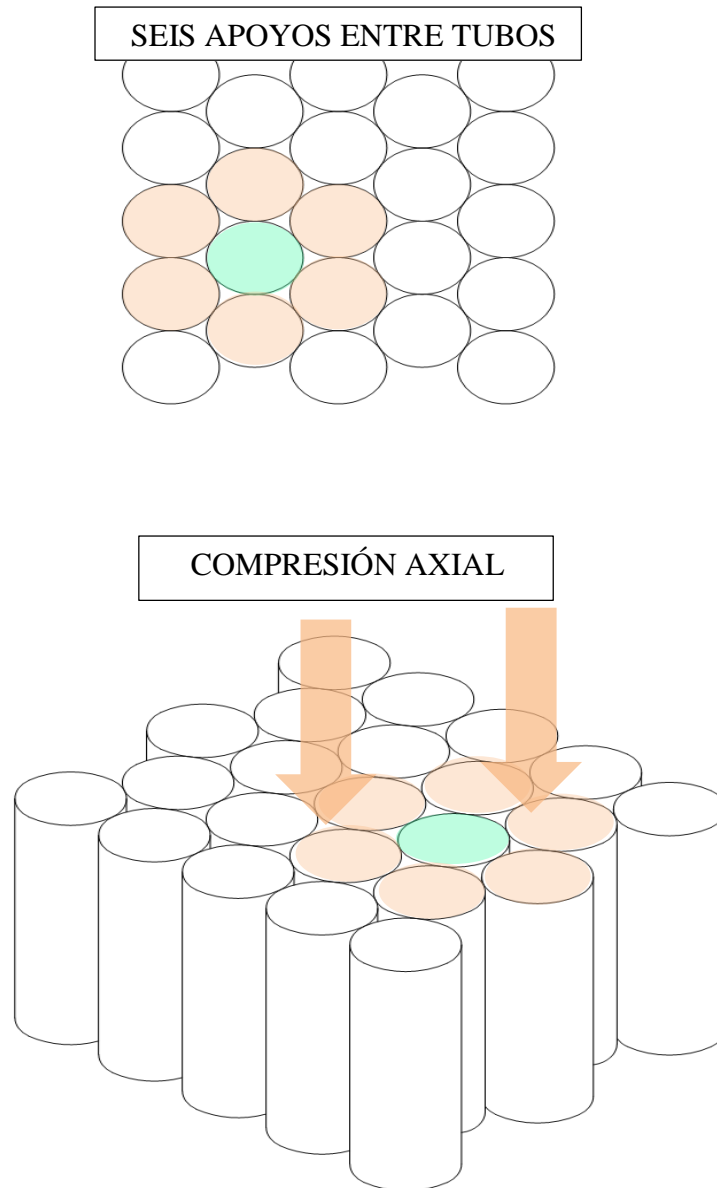


Ilustración 2 modelo panal