

MUROS EN TUBOS DE CARTÓN RELLENOS DE ASERRÍN COMO AISLANTE  
TÉRMICO PARA CLIMAS FRÍOS

VANESSA CATALINA FERNÁNDEZ SALAMANCA  
MAILIN NATALY HERNÁNDEZ MONROY



UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS  
BOGOTÁ D.C., 2016

Muros en Tubos de Cartón Rellenos de Aserrín Como Aislante Térmico para Climas Fríos

Trabajo de Grado Presentado Para Optar Al Título De  
Tecnólogo En Construcciones Arquitectónicas

Coordinador Programa de Tecnología en Construcciones Arquitectónicas  
Arquitecto Nelson Ricardo Cifuentes Villalobos

Coordinador Núcleo Énfasis Programa de Tecnología en Construcciones Arquitectónicas  
Arquitecta Liliana Rocío Patiño León



Universidad La Gran Colombia  
Facultad de Arquitectura  
Programa De Tecnología En Construcciones Arquitectónicas  
Bogotá D.C., 2016

## Nota de Aceptación

### Observaciones

---

---

---

---

---

---

ARQUITECTO NELSON R. CIFUENTES V.  
COORDINADOR PTCA

---

ARQUITECTA LILIANA ROCIO PATIÑO LEÓN  
COORDINADOR NÚCLEO ÉNFASIS

---

JURADO 1

---

JURADO 2

BOGOTÁ D.C., Diciembre de 2016



## **Dedicatoria**

*Para nuestros padres y familiares, quienes han sido la base de nuestra formación aportando grandes enseñanzas a nuestras vidas.*

*En especial les agradecemos por ser los principales benefactores del desarrollo de nuestro proyecto.*

## **Agradecimientos**

*Principalmente a Dios y nos gustaría agradecer a nuestra asesora, Arq. Yeimy Cifuentes por su dedicación y conocimiento. También, a todos aquellos que contribuyeron con sus conocimientos técnicos y profesionales, siendo de gran ayuda para nuestra formación académica.*

## Índice

### Contenido

<b>Resumen</b> .....	11
<b>Abstract</b> .....	12
<b>Introducción</b> .....	9
<b>Objetivos</b> .....	10
Objetivo General.....	10
Objetivos Específicos .....	10
<b>Marco de Referencias</b> .....	11
Marco Histórico .....	12
Marco Teórico.....	19
Marco Normativo.....	26
<b>Desarrollo Prototipo</b> .....	28
Producción de Elementos.....	28
Proceso de Construcción.....	36
<b>Pruebas de Impermeabilización y Temperatura</b> .....	42
Prueba de Impermeabilización.....	42
Prueba de Temperatura .....	45
.....	48
Presupuestos y APU.....	50
.....	50
<b>Análisis y Discusión de Resultados</b> .....	54
<b>Conclusiones y Recomendaciones</b> .....	55
Conclusiones.....	55
Recomendaciones .....	55
<b>Bibliografía</b> .....	56
<b>Anexos</b> .....	59

## **Definiciones**

### **Prueba de Impermeabilización (Registro fotográfico)**

### **Registro Fotográfico Prueba de Impermeabilización Dos**

### **Registro Fotográfico Toma de Datos de Temperatura**

## **Fabricación de Cubierta**

### **Planimetría prototipo**

### **Ficha Técnica Paraguas**

### **Ficha Técnica Imprimante**

## **Índice de Figuras**

Figura 1 Rango de confort.....	11
Figura 2 Flujo de materiales, uso, reutilización en el ciclo de vida de los edificios .....	12
Figura 3 Vivienda emergente tubos de cartón .....	13
Figura 4 Formaleta .....	13
Figura 5 Aligeramiento.....	13
Figura 6 Silla en tubos de cartón .....	14
Figura 7 Reforzamiento en el tubo de cartón .....	14
Figura 8 Teja en tubo de cartón .....	15
Figura 9 Perfilaría metálica .....	15
Figura 10 Paneles prefabricados.....	16
Figura 11 Mezcla del concreto .....	17
Figura 12 Reinstalación de lámina aula .....	18
Figura 13 Mapa climatológico de Cundinamarca .....	21
Figura 14 Maquina envasadora de tubos de cartón .....	23
Figura 15 Residuo aserrado de la madera (aserrín).....	23
Figura 16 Corte del tubo.....	28
Figura 17 Acabado final tubo.....	28
Figura 18 Maquina de corte .....	28
Figura 19 Trazo de la unión .....	29
Figura 21 Pieza unión.....	29
Figura 20 Corte con caladora .....	29
Figura 22 Acople de la unión .....	31
Figura 23 Puntilladora.....	31
Figura 24 Fijación de la unión.....	31
Figura 25 Unión lateral .....	31
Figura 26 Unión inferior .....	32
Figura 27 Perforaciones .....	32



Figura 28 Residuo del corte de la unión.....	32
Figura 29 Torno.....	32
Figura 30 Tapones perforados.....	33
Figura 31 Tapón.....	33
Figura 32 Vertido del aserrín .....	33
Figura 33 Apisonado del aserrín .....	34
Figura 34 Carpincol.....	34
Figura 35 Aplicación de Carpincol .....	34
Figura 36 Fijación del tapón.....	34
Figura 37 Cercha .....	35
Figura 38 Esquema.....	36
Figura 39 Diafragma (Unión).....	36
Figura 40 Anclaje varillas .....	37
Figura 41 Anclaje tapón .....	37
Figura 42 Inserción de tubos .....	37
Figura 43 Acople de tapón al tubo .....	37
Figura 44 Fijación de la unión a los tubos.....	38
Figura 45 Muros.....	38
Figura 46 Enlace de la cercha .....	38
Figura 47 Acople durmientes .....	39
Figura 48 Conformación cercha.....	39
Figura 49 Marcación del tubo .....	39
Figura 50 Aplicación de pegante.....	39
Figura 51 Anclaje de los tubos.....	40
Figura 52 Ubicación de los tubos en la cercha.....	40
Figura 53 Fachada posterior.....	40
Figura 54 Aplicación del sellante.....	40
Figura 55 Aplicación imprimante e impermeabilizante .....	41
Figura 56 Acabado puerta .....	41
Figura 57 Acabado final prototipo .....	41
Figura 58 Imprimante acrílico Greconal .....	42
Figura 59 Impermeabilizante Paraguas .....	42
Figura 60 Ubicación de los tubos.....	43
Figura 61 Sellado .....	43
Figura 62 30 minutos después desde el inicio de la prueba .....	43
Figura 63 Finalización de la prueba 14-10-2016 hora 10:30am.....	43
Figura 64 Inicio prueba 12-10-2016, hora 10:30am.....	43
Figura 65 Portería.....	46
Figura 66 Prototipo .....	46
Figura 67 Termómetro de sonda .....	46

## Índice de Tablas

Tabla 1 Proceso de fabricación del cartón.....	22
Tabla 2 Proceso de fabricación del ladrillo .....	24
Tabla 3 Propiedades térmicas de materiales.....	24
Tabla 4 Símbolos, magnitudes y unidades .....	26
Tabla 5 Toma de datos Temperatura de los materiales .....	47
Tabla 6 Presupuesto mampostería .....	50
Tabla 7 Presupuesto mampostería .....	50
Tabla 8 APU mampostería .....	51
Tabla 9 APU tubos de cartón.....	52

## Índice de graficas

Grafica 1 Prueba de impermeabilización.....	44
Grafica 2 Prueba dos de impermeabilización.....	45
Grafica 3 Diferencia de temperaturas.....	48
Grafica 4 Diferencia de temperaturas.....	49
Grafica 5 Análisis comparativo entre los dos sistemas .....	53

## Resumen

El dis confort térmico generado en climas fríos es una problemática que compromete la materialidad de la envolvente de una vivienda; la temperatura de la superficie de un material es una variable que contribuye para generar confort dentro de la misma, en la presente investigación se inicia la búsqueda de materiales que posean propiedades térmicas para ser implementados en un sistema de muros de fachada.

Los tubos de cartón poseen un coeficiente de conductividad térmica entre 0,14-0,53 W/ (M\*K), el aserrín 0,071 W/ (M\*K), por tal motivo se realizó un sistema de muros de fachada con estos materiales en un prototipo a escala 1:2 de los cuales se analizó la temperatura de la superficie para verificar su eficiencia, de igual manera se tomó la temperatura al sistema tradicional en mampostería para establecer un comparativo entre los mismos.

Los resultados obtenidos, después de realizar las pruebas experimentales en promedio arrojaron una mejora de 3,3 °C de temperatura entre los dos sistemas, es decir, mientras el sistema de mampostería en promedio aumento 0,9 °C del exterior al interior, el sistema de tubos aumento en promedio 4,2°C ,en donde esta última se mantuvo un rango entre los 21°C a los 24 °C, siendo esta una temperatura apropiada (de acuerdo con el diagrama de Givoni) para generar una condición de habitabilidad favorable en comparación con la ofrecida actualmente en la construcción tradicional.

## Abstract

The thermic discomfort generated in cold climate is considered as a problem which engages the involving materiality of a living place. The surface material temperature is a variable that contributes to produce comfort inside itself. In this research was the searching of materials that possess thermic properties in order to be implemented in the facade walls system.

The cardboard tubes have a thermic conductivity coefficient between 0,14 to 0,53 W/(M\*K), and the sawdust 0,071 W/(M\*K), therefore, it was built a facade walls system with these materials in a prototype using a 1:2 scale. Their surface temperature was analyzed to verify their efficiency, as well as it was taken the temperature of the traditional masonry system to stablish a comparison between them.

After making the experimental tests the results obtained shown as average an enhancement of 3,3 °C in temperature between these two systems, it refers to, meanwhile the masonry system shown an increasing average of 0,9 °C from outside to inside, the cardboard tubes system increased 4,2°C on average, where this last temperature keeping a rank between 21°C to 24 °C, it has been being an appropriated temperature (according to the Givoni's diagram) to generate a favorable habitability condition in contrast with the offered currently by the traditional construction.

**Palabras claves:** Temperatura, Envolverte, Cartón, Aserrín, Aislante térmico

**Key Words:** Temperature, Envelope, Cardboard, Sawdust, Thermal insulation

## Introducción

Una de las problemáticas desde el área arquitectónica es buscar alternativas para generar en las viviendas ambientes confortables para el ser humano, en donde el principal factor es la materialidad de la misma, por lo cual, se muestra como una oportunidad para aportar con otro tipo de materiales que puedan ser implementados en la construcción contribuyendo con una de las causas del dis confort por frío.

Otro componente impórtate 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 reutilizables.

En la presente investigación se realizó un prototipo de muros de fachada con tubos de cartón rellenos de aserrín, los cuales son materiales con propiedades aislantes además pueden ser reutilizables favoreciendo así al medio ambiente y a la contribución de confort en un ambiente interno; para demostrar su eficiencia se realizaron pruebas experimentales, las cuales requirieron de un termómetro de sonda que registrara la temperatura de superficie de los muros, prueba realizada de igual forma a un muro en ladrillo tolete macizo, posteriormente fueron comparados, dando evidencia de su mejora.

Adicionalmente en el desarrollo de la investigación, se muestra la viabilidad económica del sistema de muros propuesto, en comparación con el sistema de mampostería, factor que a pesar de no ser objetivo de interés, es importante dar a conocer ya que demuestra la viabilidad constructiva del sistema propuesto.

## Objetivos

### Objetivo General

Proponer muros de fachada con materiales reutilizados como tubos de cartón y aserrín para mejorar y analizar la temperatura de la superficie de los mismos en clima frío.

### Objetivos Específicos

Realizar un prototipo con materiales reutilizados (cartón y aserrín) siendo impermeabilizados para garantizar su durabilidad y analizar el mejoramiento de la temperatura que se produzca en la superficie interna del material.

Comparar el sistema implementado con el sistema tradicional (ladrillo tolete macizo) para evidenciar la diferencia de temperatura de cada uno de los materiales.

### Marco de Referencias

Dentro de la investigación, fue necesaria la identificación de materiales, que gracias a sus propiedades térmicas contribuyeran con el mejoramiento del ambiente interior en una vivienda, ubicada en clima frio como Bogotá, por lo tanto, es importante conocer los rangos de confort del ambiente en cada una de las variables que se deben tener en cuenta, para garantizar un confort en el ser humano. En la siguiente figura se puede evidenciar el rango de temperatura mínima y máxima de confort.

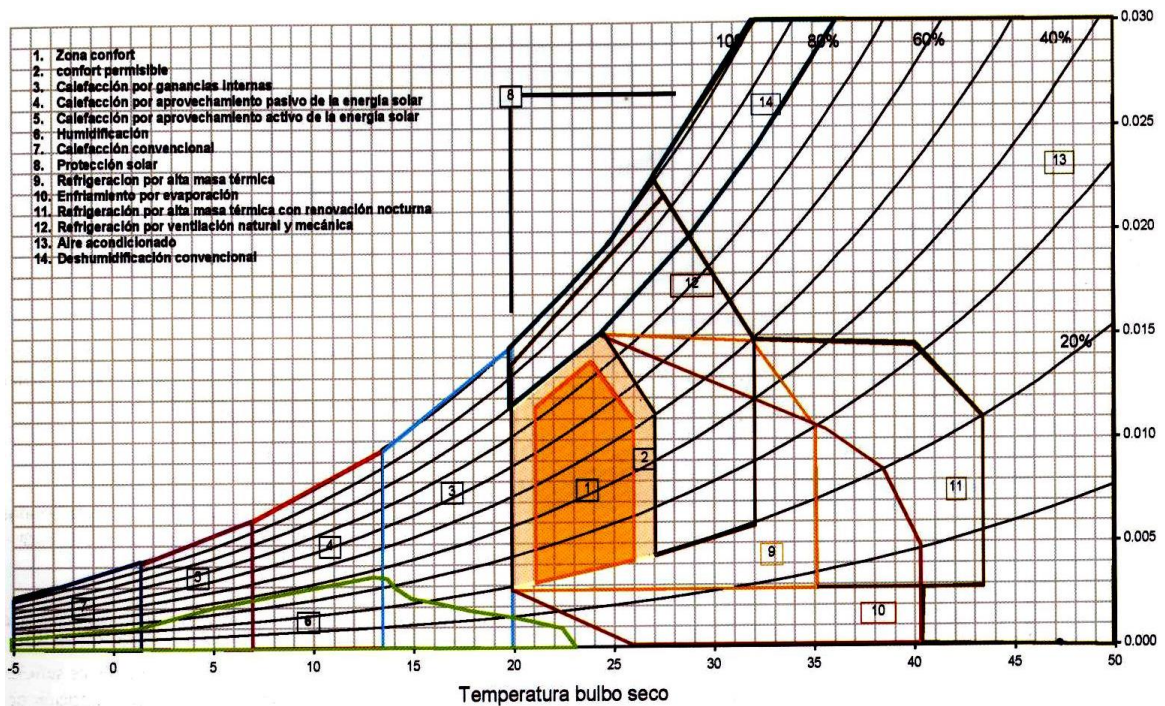


Figura 1 Rango de confort

Fuente (Climograma de Baruch Givoni, s.f.)

Los elementos seleccionados no solo aportan con sus propiedades térmicas si no que son materiales reutilizables y reciclables, los cuales resultan en el ámbito constructivo de gran ayuda con el medio ambiente ya que como sabemos la construcción es uno de los factores de alta contaminación ambiental, tanto en la fabricación de sus materiales como en los desechos generados por el mismo. En consecuencia, se hace preciso el uso de materiales que den

solución a esta problemática, como se ve en el esquema el ciclo de los materiales, pueden tener un aprovechamiento al ser reutilizados o reciclados, generando menos contaminación.

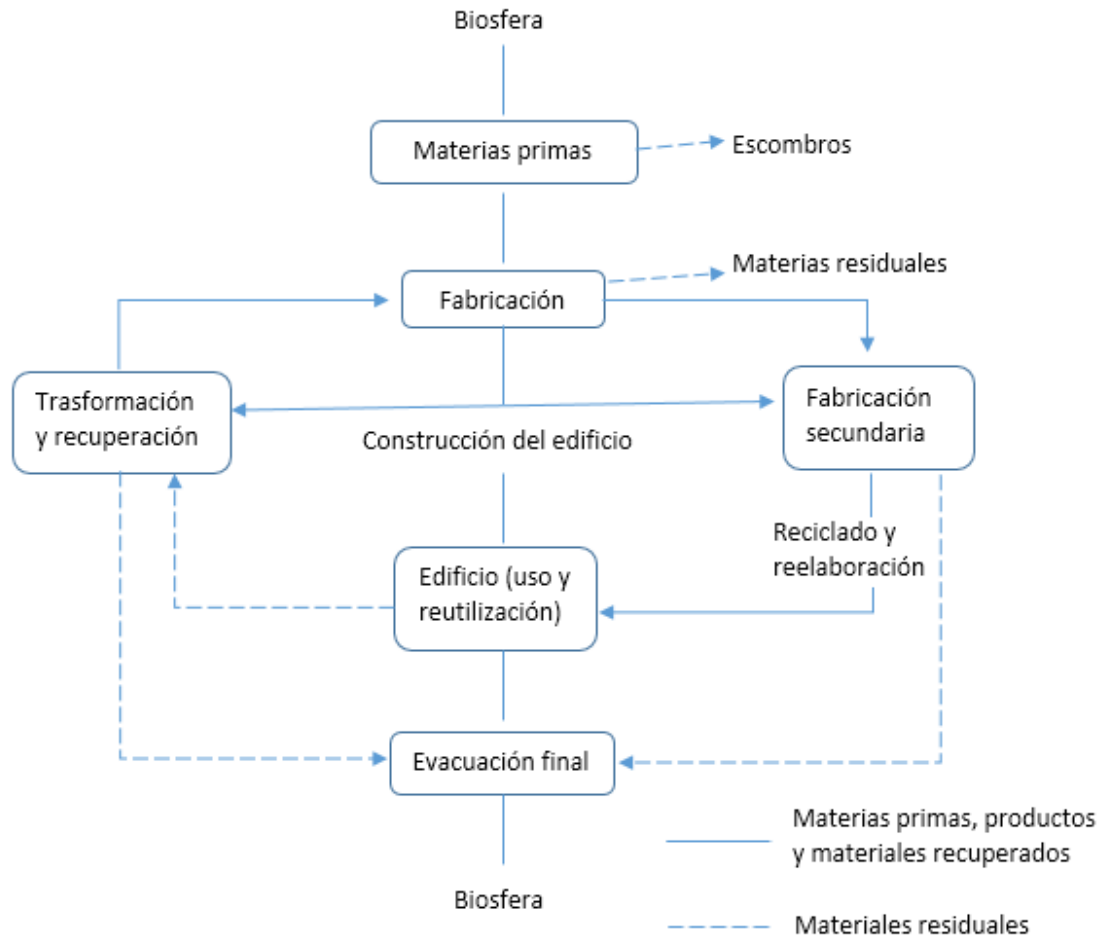


Figura 2 Flujo de materiales, uso, reutilización en el ciclo de vida de los edificios

### Marco Histórico

Materiales como los tubos de cartón y aserrín, pueden ser reutilizados en Bogotá, adicionalmente cuentan con propiedades aislantes óptimas para mejorar el ambiente interno de una vivienda, por lo tanto es importante reconocer el uso de estos materiales en la construcción expuestos en el presente marco.



Los tubos de cartón han sido utilizados como solución a la necesidad de viviendas emergentes en Turquía, debido al terremoto de 1995 en Kobe. El arquitecto japonés Shigeru Ban pensó en la utilización de estos como un material alternativo y viable para la construcción de viviendas emergentes como se observa en la figura 3. (Bevan, Diéguez, Remedios, Long, Kieran, & Rattenbury, 2014)



Figura 3 Vivienda emergente tubos de cartón

**Fuente** (Ingeniería en la red , 2007)

Por otra parte, los tubos de cartón en la construcción se hacen partícipes en la implementación de estos como formaletas o aligerantes en placas, del cual se han realizado diferentes investigaciones, haciendo referencia a su viabilidad y la posibilidad de ser implementadas. (Spottiswoode, 2012)

En Colombia la empresa Cartontubos, utiliza este material como fôrmatela en el vertido de concreto y como aligerante en placas de entrepiso (figura 4-5); ya que se presta para ser manipulado en diferentes medidas y grosores además de ser un material económico. (Cartontubos )



Figura 5 Aligeramiento

**Fuente** (Cartontubos , s.f.)



***Figura 4 Formaleta***

**Fuente** (Cartontubos , s.f.)

Adicionalmente en el país se promueve la reutilización de materiales como un compromiso con el medio ambiente, así como lo propone un modelo académico desarrollado en Medellín el cual consiste en la construcción de muebles con tubos de cartón como se observa en la figura 6, reforzados con listones en madera en su interior (figura 7), ese proceso fue llevado a cabo por La Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. (Mesa, 2013)



Figura 6 Silla en tubos de cartón

**Fuente** (Mesa, 2013)



Figura 7 Reforzamiento en el tubo de cartón

**Fuente** (Mesa, 2013)

En la Universidad la Gran Colombia se realizó un proyecto con este material, el cual consiste en tejas de cartón reutilizado, como alternativa de cubierta para construcciones arquitectónicas sostenibles, en el cual desarrollan un tipo de cubierta con uniones metálicas y varillas roscadas, con el fin de fijar los tubos entre sí, siendo impermeabilizadas con emulsión asfáltica, tela asfáltica entre otros componentes como se muestra en la figura 6 y 7. (Mora & López, 2015)



Figura 8 Teja en tubo de cartón

**Fuente** (Mora & López, 2015)



Figura 9 Perfilaría metálica

**Fuente** (Mora & López, 2015)

Tubotecnia S.A.S. Es una empresa ubicada en Bogotá dedicada a la fabricación de paneles con tubos de cartón, utilizando madera para su confinamiento, soportando los elementos aligerantes que se encuentran protegidos con una película de polímero termoencogible. Maneja 2 tipos de panel, para exteriores se utiliza madera en su estructura y para interiores utilizan aglomerado. (Tubotecnia SAS, 2014)



Figura 10 Paneles prefabricados

**Fuente** (Tubotecnia SAS, 2014)

Por otra parte el aserrín fue utilizado por el señor Walt Friberg (Moscow, Idaho) en donde creo un tipo de concreto más liviano y económico, para ello reemplazo los agregados de arena y grava por el desecho de la madera (aserrín), utilizándolo en paredes, pisos y techos de la casa, obteniendo además un aislamiento térmico en su interior. (Oettinghaus, 1948)

También en la Universidad Austral de Chile el estudiante Luis Eduardo Garcés, propone la fabricación de un concreto, el cual está compuesto por cemento, cal, aserrín (fino, -Grueso) y agua los cuales posteriormente se mezclan (figura 11) y se hace las respectivas pruebas en el cono de habrams, con el fin de identificar la dosificación que puede tener el concreto sin perder sus propiedades. (Riffo, 2004)



11 Mezcla del concreto

También se encontró un sistema constructivo realizado por el arquitecto Francisco Arturo Cerón Rincón de la Universidad Nacional de Colombia, facultad de artes que consiste en estructuras desmontables con cartón, compuesto por elementos livianos, modulares y re-instalables sin quipos de izaje con el fin de crear aulas temporales en Bogotá. Pasando por pruebas y ensayos mecánicos para evaluar su desempeño y poder así determinar su alcance. (Rincón, 2013)



Figura 12 Reinstalación de lámina aula

**Fuente** (Rincón, 2013)

Debido a la viabilidad de utilización de estos materiales en la construcción, se pretende dar un análisis acerca del comportamiento térmico de los mismos en viviendas de un piso, con muros de fachada contruidos en tubos de cartón rellenos de aserrín.

## Marco Teórico

### **Disconfort Térmico por Frio**

El entorno es un factor que afecta directamente el cuerpo humano como bien lo nombra Victor Olgyay:

*“El medio ambiental físico está formado por numerosos elementos relacionados [...] todos ellos inciden directamente en el cuerpo humano, el cual puede absorber o intentar contrarrestar sus efectos. En la lucha por conseguir el equilibrio biológico se producen diversas relaciones físicas y psicológicas. El hombre se esfuerza por llegar al punto en el que adaptase a su entorno le requiera solamente un mínimo de energía”.* (Olgyay, Design with climate , 2013)

Para que exista un confort entre el ambiente y el cuerpo se debe tener en cuenta los siguientes factores

Factor físico: temperatura del aire, temperatura superficial de los elementos del entorno, humedad relativa del aire, movimiento del aire cerca de la piel de la persona, aislación térmica de la vestimenta de las personas

Factor fisiológico: El peso y tamaño de las personas y la generación de calor del mismo cuerpo humano (metabolismo) (heidt, 2012, 2006)

En el prefacio del libro clima y arquitectura en Colombia Según el profesor Víctor Olgyay define que:

*“El problema de controlar el medio ambiente y crear a condiciones favorables y el desarrollo de los objetivos y actividades humanas es tan antiguo como el hombre mismo. Este en todas las épocas ha procurado satisfacer dos necesidades básicas fundamentales al construir su abrigo: primero protegerse contra los elementos y segundo poseer una atmosfera favorable a su desarrollo espiritual. Así a través de la historia, la vivienda ha reflejado soluciones propuestas por cada periodo cultural, al problema fundamental de crear un ambiente interior y controlado en medio de la naturaleza, muchas veces sometida a fuerzas adversas como el frio, el calor, los vientos, el agua, el sol.”*  
(Olgyay, Clima y arquitectura en Colombia, 1968)

Partiendo de esto todo ser humano debe suplir ciertas necesidades fisiológicas básicas, como comer, dormir o de abrigo, en donde la vivienda debe suplir este último para mantener los mecanismos de regulación del cuerpo y el ambiente en un estado óptimo para el ser humano, de acuerdo a (Fresquet, 1999)

Ahora bien, teniendo claro esta serie de necesidades fisiológicas, podemos definir las funciones de una fachada, que no solo responden a un aspecto estético, si no a otros requisitos como lo son, garantizar la impermeabilidad al agua, que posea aislamiento térmico y acústico hacia el interior, resistencia a la acción de los vientos y a su propio peso, todo esto con el fin de resguardar y brindar un confort dentro de la vivienda, asumiendo los factores físicos y fisiológicos para suplir el correcto desarrollo del ser humano, como lo nombran los autores anteriormente citados, en donde en el presente documento se tendrá en cuenta la variable de temperatura que identifique el rango de mejora como aislante térmico de los materiales propuestos (Tubos de cartón y aserrín)

Actualmente en Colombia especialmente en Bogotá en su mayoría no ofrecen condiciones aceptables debido al mal estado de las construcciones que presentan diferentes problemas de habitabilidad entre ellos el confort, sumándole a esta problemática un déficit de vivienda alto presentado por varios problemas sociopolíticos generados en el país, donde Bogotá concentra el mayor índice de necesidad de habitación (Calonge, 2012), conociendo la problemática de nuestro país es importante analizar no solo los materiales propuestos si no los utilizados actualmente en la construcción, en su mayoría la mampostería, por tal motivo será un factor de análisis en el presente documento.

Para la selección de materiales, las condiciones del entorno en donde van a ser implementados para la presente investigación, es necesario la identificación de un clima frío, ya que se pretende someter materiales con propiedades aislantes para este tipo de climas, por lo tanto se realizaron las pruebas en Bogotá en donde oscilan temperaturas entre 8 y 12 °C considerados según el instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM) como climas fríos, como se observa a continuación



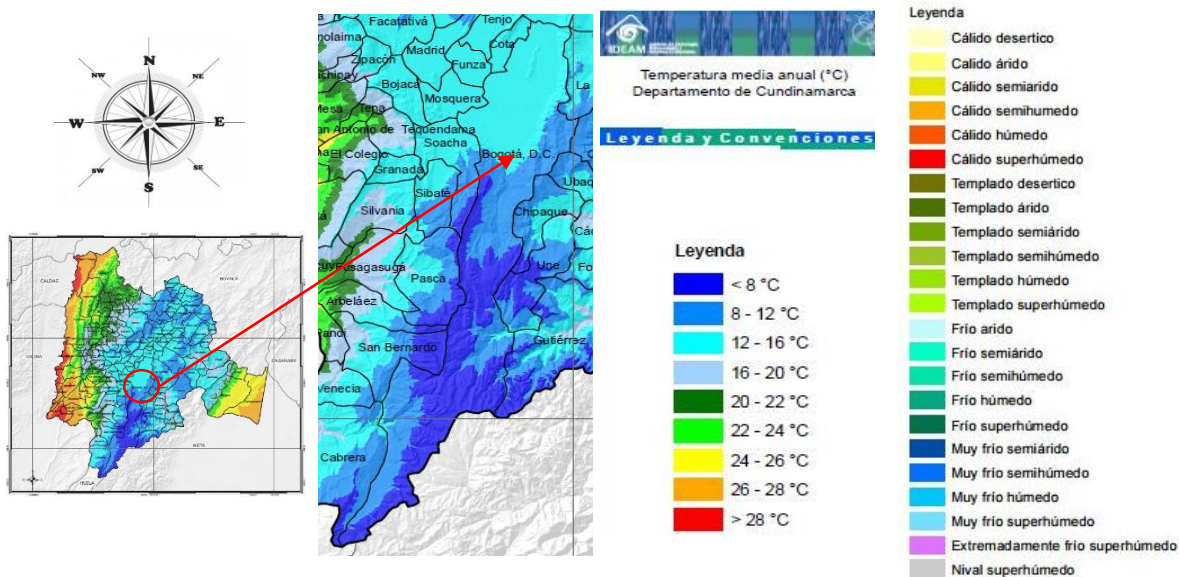


Figura 13 Mapa climatológico de Cundinamarca

Fuente (IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, s.f.)

Por tal motivo es importante el diseño y los materiales con los que se construye, ya que dependiendo la orientación en la que se encuentre la vivienda, podemos de alguna manera poner a nuestro favor los factores ambientales como la energía térmica solar. Así como lo es también una buena elección de materiales que contribuyan con los requerimientos antes mencionados, adicionalmente se debe tener en cuenta el cambio climático actual, ya que en el campo de la construcción muchos de los materiales requieren un proceso de fabricación y transformación que resultan contaminantes, por lo tanto se deben utilizar materiales que reduzcan o mejoren este impacto ambiental, como lo son los materiales reutilizables.

Luego de haber evaluado diferentes tipos de materiales, al seleccionar los tubos de cartón y aserrín se identificó sus propiedades como aislantes térmicos y que son materiales reutilizables, por lo tanto aportan con la disminución de contaminantes y con un ciclo de vida aún más largo, por ende explicaremos a continuación cada uno de sus componentes, propiedades y procesos de fabricación.

**Cartón y aserrín**

El cartón 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.

El proceso de fabricación del cartón deriva del papel siendo una práctica antigua descubierta por los egipcios al elaborar papiros. Actualmente su proceso consiste en:

Tabla 1 Proceso de fabricación del cartón

**Fuente** (*la pre stampa, las artes graficas vistas por otros ojos, 2014*)

PROCESO	DESCRIPCIÓN
<b>Deforestación</b>	Tala de árboles, donde la fibra que se utiliza se encuentra en el tronco.
<b>Descortezado</b>	Separación de la corteza y el tronco.
<b>Lavado</b>	Eliminación de arenas e impurezas.
<b>Astillado</b>	Corte en pequeñas piezas hasta formar astillas.
<b>Fabricación de la pasta</b>	Selección y separación de fibras por medio de la suspensión en el agua.
<b>Aditivación</b>	Adición de sustancias como colas, caolín, talco, yeso y colorantes que mejoran sus características.
<b>Ingreso a la maquina formadora de hoja</b>	Formación de la hoja por filtración en una o más telas que retienen las fibras y drenan el agua.
<b>Secado</b>	Cilindros giratorios calentados con vapor de agua.

### **Proceso de Fabricación de Tubos de Cartón**

Una vez se obtiene el papel este pasa por una maquina envasadora, como se observa en la figura 14, la cual se encarga de cortar el papel y posteriormente unirlo en un cilindro giratorio, con las medidas requeridas, para ser distribuidos en su gran mayoría a fábricas de papel y textileras que al finalizar su uso pueden ser reutilizados o reciclados.

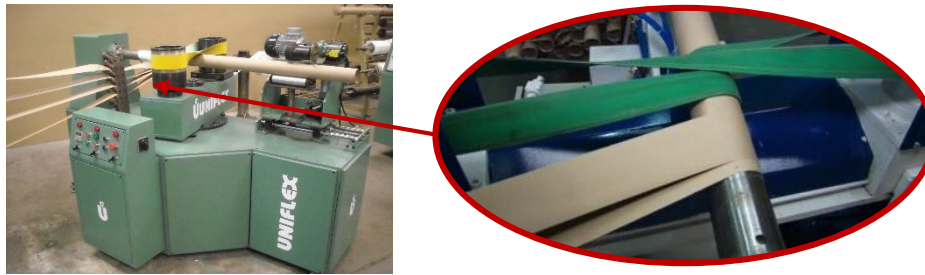


Figura 14 Maquina envasadora de tubos de cartón

Fuente (Lopez, 2014)

### Proceso de Fabricación del Aserrín

De todo el proceso de la fabricación del papel y otros usos de la madera en el momento de aserrarla, esta genera unas fibras como residuo denominadas aserrín.



Figura 15 Residuo aserrado de la madera (aserrín)

Fuente (Lopez, 2014)

Luego de conocer el proceso de fabricación del cartón y el aserrín, es importante conocer así mismo el de los ladrillos de arcilla, ya que este material es uno de los más utilizados comúnmente en la construcción de viviendas en Bogotá, por ende se comparara, el sistema de mampostería con los tubos de cartón rellenos de aserrín, analizando la temperatura de cada uno de los materiales para verificar su eficiencia como aislantes en climas fríos. Ahora bien los ladrillos de mampostería son elaborados con arcilla, compuestos por sílice, agua, alúmina, óxido de hierro entre otros siendo sometido a un proceso de fabricación que conlleva diferentes etapas evidenciadas en la siguiente tabla.

[Tabla 2 Proceso de fabricación del ladrillo](#)Fuente (*Parking*)

PROCESO	DESCRIPCIÓN
Maduración	Se tritura la arcilla y se homogeniza
Tratamiento mecánico	Tritura las piedras existentes dándole uniformidad al material
Humidificación	Se mezcla para humedecer y obtener una consistencia ideal para moldear
Moldeo	Se vierte la arcilla en una boquilla con la forma que se desea obtener y se somete con vapor caliente, saturado a 130°C.
Secado y cocción	eliminación del agua que el material absorbió, por medio de hornos desde 90-100°C

Una vez evidenciado el proceso de fabricación de los materiales se debe conocer su coeficiente de conductividad térmica, la cual determina la cantidad/velocidad de calor transmitido a través de un material, determinando si estos son viables al implementarlos como aislantes térmicos en clima fríos, como se observa en la siguiente tabla expresada en (W/(M.K)).

[Tabla 3 Propiedades térmicas de materiales](#)Fuente (*Miliarium.com, 2001*)

Material	Conductividad térmica (W/(M.K))	Difusividad térmica m <sup>2</sup> /s )
Acero	47-48	13,01-16,06
Aluminio	209-232	85,16-94,53
Ladrillo de mampostería	0,658	0,462
madera	0,13	0,112
Aserrín	0,071	
Vidrio	0,81	0,36
Yeso	0,81	0,538
Cartón	0,14-0,35	

En la columna de conductividad térmica los valores que se encuentran en un rango de 0,00-1 indican que su transmitancia es lenta a través del material y por ende es aislante; lo que nos indica que en comparación de los 3 materiales de interés el menos aislante es el ladrillo, la columna de difusividad térmica indica la rapidez con la cual un material reacciona a un cambio de temperatura.

### Marco Normativo

La intención en el presente marco es reconocer las normativas que regulan y exigen ofrecer un diseño constrictivo confortable para su habitabilidad, donde en Colombia se hace presente el sistema de certificación LEED (líder en eficiencia energética y diseño sostenible el cual premia al diseño y construcciones de cualquier tipo de uso sostenible y confortable. (Calonge, 2012). Adicionalmente el ministerio de vivienda por medio de la resolución 549 decreto 1077 215 da los lineamientos de construcción sostenible para generar una mejor calidad de vida. (territorio, 2015)

Es importante tener en cuenta las normas internacionales como la chilena (NCH) 853, donde se encuentra definiciones abarcadas en el presente documento necesarias para identificar los materiales apropiados como aislantes térmicos para climas fríos.

**Conductividad térmica:** cantidad de calor que en condiciones estacionarias pasan en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de material homogéneo.

**Transmitancia térmica:** flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre los ambientes separados por dicho elemento. (standardization, 2007 )

En la siguiente tabla muestra la simbología y unidades de los términos anteriormente definidos.

**Tabla 4** Símbolos, magnitudes y unidades

**Fuente** (standardization, 2007 )

Símbolos, magnitudes y unidades		
Símbolo de la magnitud	Magnitud representada	Unidad
$U$	transmitancia térmica	W/(m <sup>2</sup> x K)
$\lambda$	conductividad térmica	W/(m x K)

Otras normas internacionales son la ISO 7730, la cual explica el método Fanger que ubica en un rango de 0 a 3 y de 0 a -3 el voto medio estimado (PMV) el cual refleja la opinión de un grupo numeroso de personas sobre su sensación térmica. (7730, 2006)

Adicionalmente en otros países como américa del norte o en Europa poseen posee diferentes normas relacionadas a la calidad y confort de una vivienda. (ASHRAE, 2013)

Teniendo en cuenta los diferentes aspectos de los marcos de referencias, posteriormente se generara una propuesta constructiva de muros de fachada con materiales reutilizados, que puedan contribuir con un mejoramiento de temperatura al interior de una vivienda, teniendo en cuenta el mejoramiento térmico que pueda presentar el material y compararlo con los materiales actualmente implementados en la construcción

### Desarrollo Prototipo

Por consiguiente se dispuso ejecutar un prototipo a escala 1\_2 donde se realizaran las pruebas necesarias de temperatura y se confrontara con un sistema de tradicional con ladrillo tolete macizo, para ello describiremos el proceso de fabricación, su construcción y finalmente los resultados de las pruebas de temperatura, como se describe en el siguiente capítulo.

El sistema propuesto consiste en la reutilización de los tubos de cartón que son hasta 5 veces reutilizables y posteriormente se rellenan de aserrín, el cual es un residuo del aserrado de la madera. Para la elaboración de los muros se tuvo en cuenta diferentes elementos que lo conforman, como se observa a continuación.

#### Producción de Elementos

Los tubos que se van a utilizar son suministrados por la empresa Grupo Mayor, ubicada en la carrera 20 #12-43, la cual recibe tubos para ser cortados y reutilizados, los tubos que se utilizaran para el prototipo cuentan con una altura de 1,10m, 5mm de espesor y un diámetro de 4", su capa externa se encuentra envuelta con una película plástica de color blanco, que resulta favorable para la protección de los tubos frente a la humedad. A continuación se muestra el proceso de corte del tubo.



Figura 18 Maquina de corte

**Fuente** propia



Figura 17 Corte del tubo

**Fuente** propia



Figura 16 Acabado final tubo

**Fuente** propia

Para la conformación del muro se generó una unión con la forma del tubo, con el fin de fijarlos de manera vertical generando así la estabilidad requerida.



Las uniones se realizarán en MDF (Tablero de fibra densidad media) de 12mm de espesor, en este proceso es necesario realizar el trazo sobre la madera como guía, para la persona encargada de realizar el corte, para ello cada pieza se clasifica de acuerdo a la parte a la que pertenezca (las uniones de la parte inferior se identificaran con la letra A y las uniones superiores con la letra B)



Figura 19 Trazo de la unión

**Fuente** propia

Una vez se realiza el trazo de las uniones se debe continuar con el siguiente proceso (El desarrollo de la producción tarda aproximadamente entre 1 y 2 días)



Figura 20 Corte con caladora

**Fuente** Propia

Primero se toma la lámina de madera en donde previamente se ha trazado la forma de la unión para su posterior corte. (Se puede realizar con caladora o sierra si fin).



Figura 21 Pieza unión

**Fuente** propia

De esta manera queda la forma de la unión.





Figura 22 Acople de la unión

Fuente propia



Figura 23 Puntilladora

Fuente propia



Figura 24 Fijación de la unión

Fuente Propia



Figura 25 Unión lateral

Fuente Propia

Luego se coloca cada una de las piezas sobre una lámina de madera previamente cortada con la medida de la unión.

A continuación se asegura cada una de las piezas (carpíncol, puntilladora) a la lámina de madera, que está en la parte de abajo para garantizar la estabilidad de las mismas.

Las piezas son fijadas de manera que las juntas no queden una debajo de la otra (Esto ayuda en la estabilidad en la conformación del diafragma).

De esta manera se conforman una de las 4 piezas que forman el diafragma de la unión.



Figura 26 Unión inferior

Fuente Propia

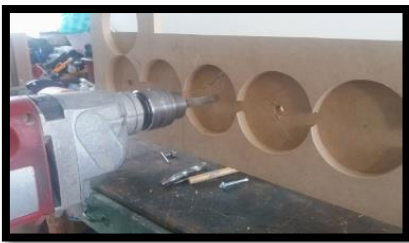


Figura 27 Perforaciones

Fuente Propia



Figura 28 Residuo del corte de la unión

Fuente Propia



Figura 29 Torno

Fuente Propia

Finalmente se une cada una de las piezas verificando su articulación para el posterior anclaje de los tubos de cartón como se observa en la imagen.

Una vez finalice este proceso se procede a perforar con un taladro, por donde pasara la varilla o el chazo según corresponda (Esto se debe realizar con un taladro y una broca para madera de 3/8”).

Con el residuo circular de la unión se fabricaran los tapones que deberán ir en cada uno de los orificios de los tubos de cartón, con el fin de sellarlos y garantizar que el aserrín no tenga espacio por el que pueda dispersarse.

Para su fabricación, se deberá trazar con un compás el diámetro interior del tubo, luego se colocara la circunferencia en un torno con el fin de perfilar el tapón para asegurar un perfecto encaje en el tubo.



Figura 30 Tapones perforados

**Fuente Propia**



Figura 31 Tapón

**Fuente Propia**

Cada uno de los tapones marcados previamente deberá llevar su respectiva perforación por la cual pasara la varilla o chazo correspondiente para su posterior anclaje.

Este es el resultado final de la elaboración del tapón, el cual debe pasar por una pulidora con el fin de lijar asperezas.

Una vez se obtengan los tapones se procederá a rellenar los tubos con aserrín, el cual se obtiene del aserrado de la madera, en este caso se utilizara aserrín fino debido a que es procedente del corte aglomerados (insumo suministrado por fábricas de madera como Madecentro), este proceso se lleva cabo de la siguiente manera, a excepción de los tubos que no llevan varilla en su interior.

En este proceso se lleva a cabo la compactación del aserrín con ayuda de un palo de madera, a continuación se colocara el tapón correspondiente para sellar el tubo.



Figura 32 Vertido del aserrín

**Fuente Propia**

Con ayuda de un recipiente se recoge el aserrín para luego ser vertido dentro del tubo.



A medida que se va llenando el tubo se vibra y se apisona, para garantizar la compactación del aserrín.

Figura 33 Apisonado del aserrín

**Fuente Propia**



Al terminar de llenar el tubo se debe aplicar en el borde Carpincol.

Figura 34 Carpincol

**Fuente Propia**



Luego se debe tomar el tapón y nuevamente se le aplica Carpincol, todo esto con el fin de certificar que el tubo quede totalmente sellado.

Figura 35 Aplicación de Carpincol

**Fuente Propia**



Finalmente con un martillo es necesario golpear suavemente el tapón para ajustarlo correctamente al tubo, retirando posteriormente el exceso de pegante sobrante.

Figura 36 Fijación del tapón

**Fuente Propia**

Finalmente para complementar el sistema es necesario implementar una cubierta y así determinar la temperatura dentro del prototipo a realizar; para este proceso se escogió una cercha en madera de pino, así como se observa a continuación.



[Figura 37 Cercha](#)

**Fuente Propia**

Proceso de Construcción

Una vez finalizada la producción de elementos se procede a ubicar el lugar de construcción del elemento, para el presente se realizó en la universidad nacional de Colombia, facultad de zootecnia, a continuación cada uno de los elementos que conforman el muro, donde se debe realizar los siguientes pasos de construcción para obtener finalmente el prototipo.

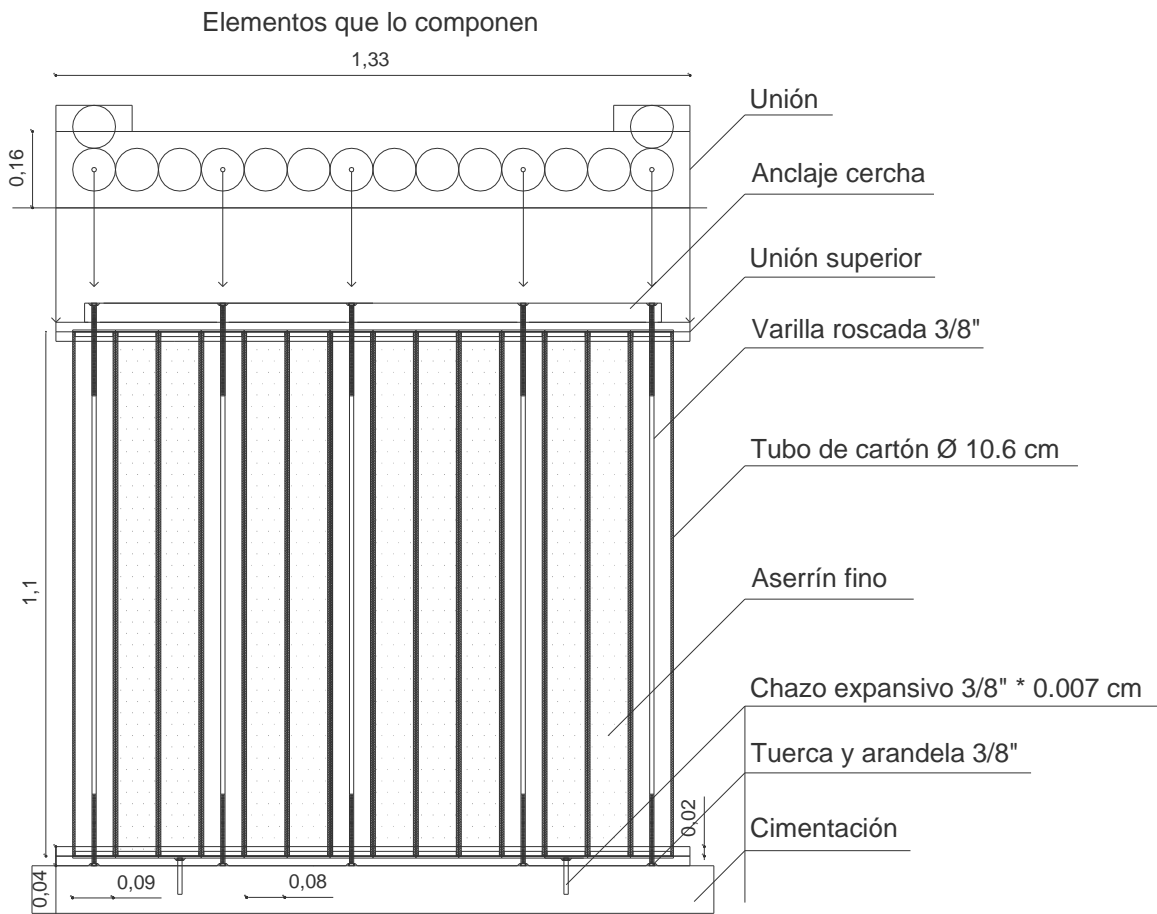


Figura 38 Esquema

Fuente Propia



Figura 37 Diafragma (Unión)

Fuente Propia

Se debe conformar el diafragma de uniones para demarcar el espacio.





Anclaje de las varillas a la unión desde la cara inferior de la misma con tuerca y arandela.

Figura 39 Anclaje varillas

**Fuente Propia**



Anclaje de tapón de varillas inferior con tuerca y arandela

Figura 40 Anclaje tapón

**Fuente Propia**



Inserción de los tubos respectivos de varilla a la unión

Figura 41 Inserción de tubos

**Fuente Propia**



Tapones superiores para rigidizar el anclaje a la unión superior

Figura 42 Acople de tapón al tubo

**Fuente Propia**



Posteriormente se colocan los tubos restantes para conformar el muro con su respectiva unión superior

Figura 43 Fijación de la unión a los tubos

Fuente Propia



Conformación de los muros

Figura 44 Muros

Fuente Propia



Figura 45 Enlace de la cercha

Fuente Propia

Colocación de la cercha y fijación de la misma a la unión con tuerca y arandela



Anclaje de los durmientes a la cercha con su respectiva fijación con puntilla.

Figura 46 Acople durmientes

**Fuente Propia**



Conformación de la cercha

Figura 47 Conformación cercha

**Fuente Propia**



Marcación del tubo y perforación para anclar los tubos por medio de una varilla roscada

Figura 48 Marcación del tubo

**Fuente Propia**



Tubo en PVC para la conformación de la teja, unido con PL 582

Figura 49 Aplicación de pegante

**Fuente Propia**



Unión de las tejas en sentido horizontal por medio de la varilla roscada fijada con tuerca y arandela

Figura 50 Anclaje de los tubos

Fuente Propia



Unión de la teja en sentido vertical

Figura 51 Ubicación de los tubos en la cercha

Fuente Propia



Conformación de la cubierta

Figura 52 Fachada posterior

Fuente Propia



Aplicación de del sellante en las dilataciones entre cada tubo y la unión.

Figura 53 Aplicación del sellante

Fuente Propia



Aplicación del imprimante e impermeabilizante con brocha de cerda mona.

Figura 54 Aplicación imprimante e impermeabilizante

Fuente Propia



Conformación de acabados marco, puerta y piso

Figura 55 Acabado puerta

Fuente Propia



Conformación del prototipo

Figura 56 Acabado final prototipo

Fuente Propia

### Pruebas de Impermeabilización y Temperatura

Se hace necesario una prueba de impermeabilización que rectifique la efectividad de los productos seleccionados, ya que este es un factor de alta importancia que garantiza la impermeabilidad del material y con ello su propia estabilidad y resistencia a agentes externos como el agua.

Para la prueba de impermeabilización se utilizaron dos productos previamente seleccionados (1. Imprimante acrílico Greconal - 2. 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 el agua en caso de lluvia.



La prueba consiste en la aplicación del producto #1 en dos de los tubos, dejando 2 horas de secado entre las dos capas, luego es preciso tomar el peso inicial de los mismos para posteriormente realizar el respectivo análisis.

Figura 57 Imprimante acrílico Greconal

Fuente Propia



Aplicación del producto #2 en dos tubos aparte, igualmente dejando 2 horas de secado entre las dos capas.

Figura 58 Impermeabilizante Paraguas

Fuente Propia



Luego se pondrán 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.

Figura 59 Ubicación de los tubos

Fuente Propia



Figura 60 Sellado

Fuente Propia

Reporte fotográfico de los tubos al transcurrir las 48 horas.



Figura 61 Inicio prueba 12-10-2016, hora 10:30am

Fuente Propia



Figura 62 30 minutos después desde el inicio de la prueba

Fuente Propia



Finalización de la prueba 14-10-2016 hora 10:30am

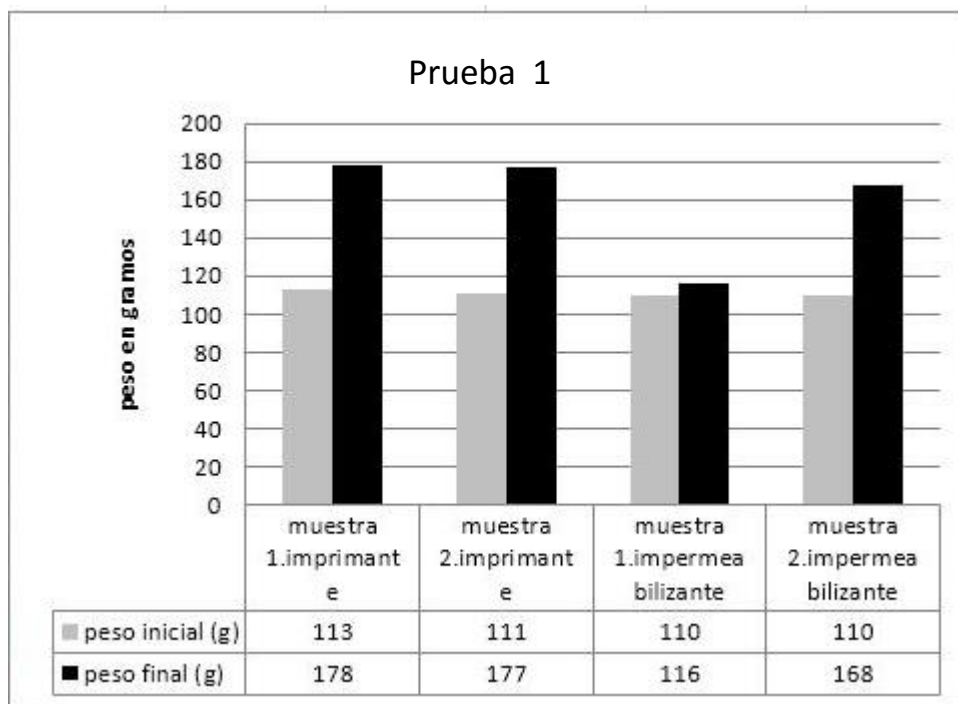
Fuente Propia

Como se pudo evidenciar durante la prueba, el tubo uno y dos (color café) cubiertos con el imprimante acrílico, permitió la filtración de agua en la capa externa de los tubos conforme se fueron sumergiendo en el líquido.

Los tubos uno y dos (color blanco) cubiertos con impermeabilizante, no presentaron filtración por la capa externa, a pesar de ello el tubo #2 no fue debidamente sellado por la parte inferior debido a una falla en la aplicación de los productos (figura 43), lo que permitió la filtración de agua.

Posteriormente se tomó el peso de cada uno de los tubos para dar resultados específicos de la absorción de agua, como se puede observar a continuación.

**Grafica 1** Prueba de impermeabilización  
Fuente Elaboración propia



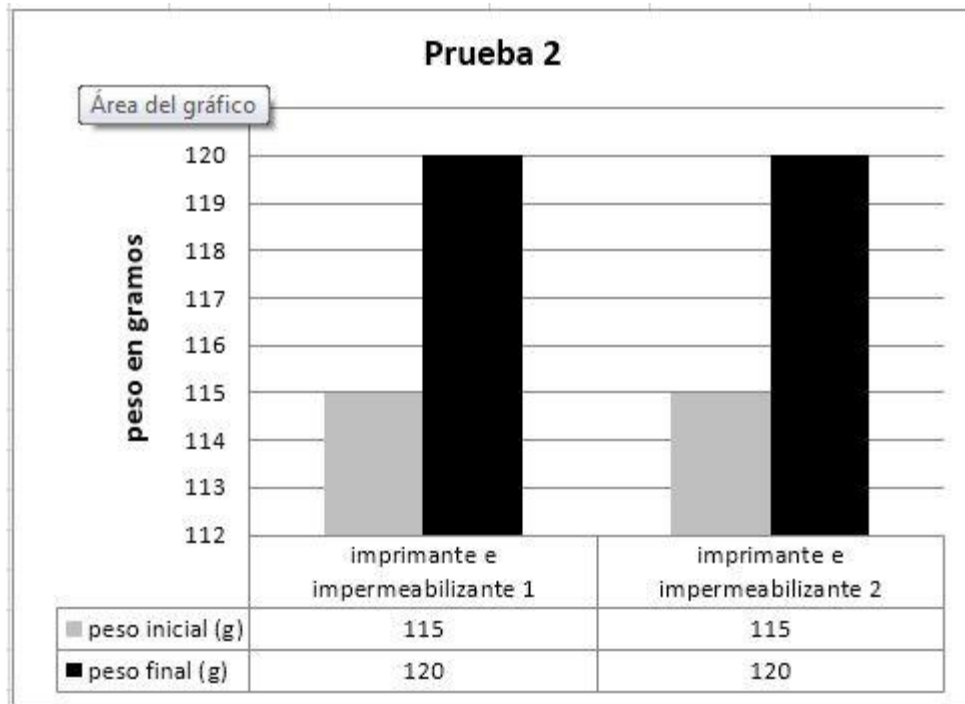
Una vez finalizada la prueba se observó que la muestra 1 y 2 del imprimante absorbieron un 57%-59% de agua, mientras las muestras 1 y 2 de impermeabilizante absorbieron 5% y 52% de agua, por tal motivo se puede concluir que el mejor comportamiento fue el del tubo #1 con impermeabilizante, ya que el #2 fallo por mala ejecución del sellado mas no del producto. Sin embargo para un mejor efecto se aplicaron los dos productos según recomendaciones dadas en el producto Impermeabilizante paraguas Corona, para obtener de esta manera un mejor acabado, por tal motivo se realizó una segunda



prueba con la aplicación de los dos productos, los cuales tuvieron un buen comportamiento el ser sumergidos en agua durante 48 horas, tiempo en cual absorbieron 5 gramos equivalentes al 4% de absorción de agua en relación a su peso inicial, como se observa en la siguiente gráfica.

**Grafica 2** Prueba dos de impermeabilización 2

**Fuente** Elaboración propia



Luego de la conformación del prototipo se procedió a la toma de datos de las temperaturas tanto del prototipo (ubicado en la Universidad Nacional de Colombia en la facultad de zootecnia) como las de mampostería en ladrillo tolete común (Ubicado en la calle 53 con carrera 45), El cual presta servicio de portería como se muestra en las imágenes 65 y 66.



Figura 64 Portería

**Fuente** Propia

Figura 65 Prototipo

**Fuente** Propia

Para la toma de datos se utilizó un termómetro de sonda, el cual evidencia la temperatura externa e interna de la superficie de los materiales en °C, como se muestra en la figura 67, para tomar los datos de temperatura es necesario sellar la sonda que mide esta, debido a que tiene que asegurarse de tomar la temperatura de la superficie del material, mas no del ambiente, por tan motivo esta se sella con icopor como se muestra en la siguiente imagen.



Figura 66 Termómetro de sonda

**Fuente** propia

Las temperaturas fueron tomadas al muro occidente de los dos espacios; relacionando de igual forma la temperatura externa del ambiente para identificar la diferencia entre esta y la temperatura de superficie de los materiales, las pruebas fueron realizadas en un periodo de siete días a diferentes horas como se evidencia la tabla 6, siendo las horas más frecuentes las

de mañana ( 7:00-8:00am) y noche (6:00-8:00pm) debido a que en estas horas oscilan las temperaturas más bajas en Bogotá.

**Tabla 5** Toma de datos Temperatura de los materiales

Fuente Elaboración propia

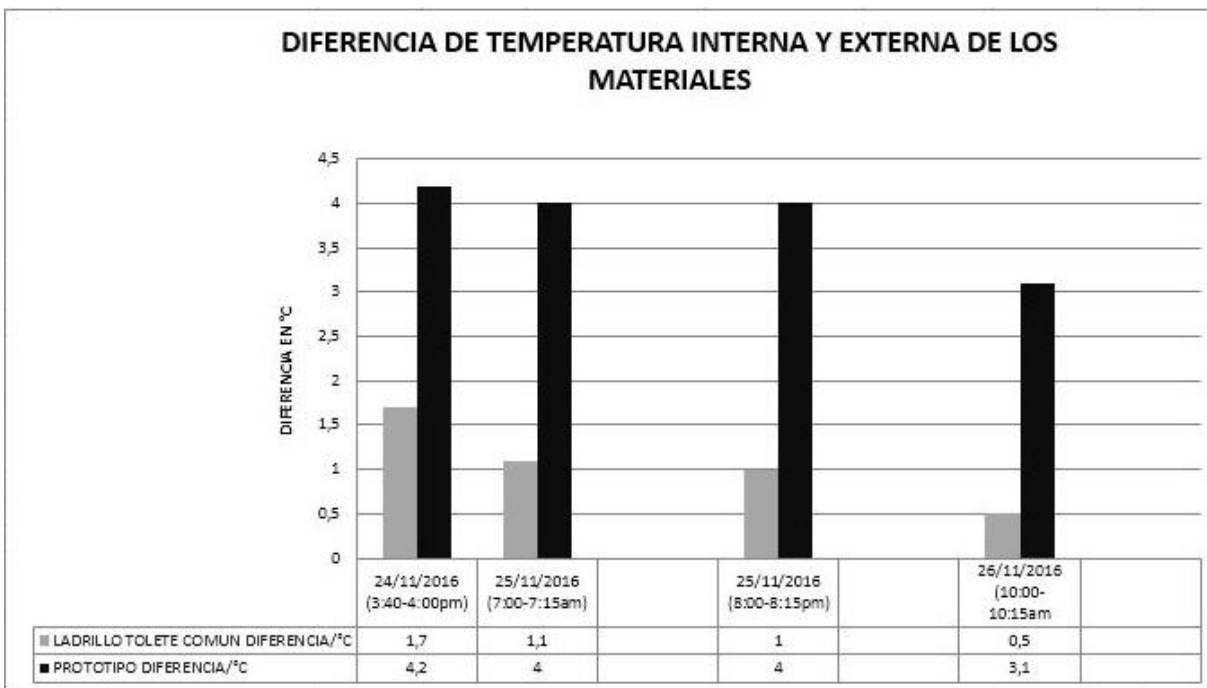
MATERIAL	DIA	HORA	TEMPERATURA EXT./°C	TEMPERATURA INT./°C	DIFERENCIA /°C	DIFERENCIA FINAL/°C	TEMPERATUR A AMBIENTE EXTERNO/°C
Ladrillo tolete comun	18/11/2016 (6:00-6:20pm)	6:20pm	17,5	18,4	0,9	3,8	
Prototipo		6:00pm	17,1	21,8	4,7		
Ladrillo tolete comun	19/11/2016 (7:30-7:50am)	7:30am	16,3	17,9	1,6	2,5	
Prototipo		7:50am	16,7	20,8	4,1		
Ladrillo tolete comun	21/11/2016 (6:00-6:20pm)	6:00pm	20,2	20,7	0,5	4,4	
Prototipo		6:20pm	21	25,9	4,9		
Ladrillo tolete comun	22/11/2016 (7:00-7:20am)	7:00am	16,7	17,6	0,9	3,1	15,9
Prototipo		7:20pm	17,2	21,2	4		18,6
Ladrillo tolete comun	22/11/2016 (3:30-3:50pm)	3:50am	18,5	19,1	0,6	4,7	15,9
prototipo		3:30pm	20,2	25,5	5,3		18,6
Ladrillo tolete comun	24/11/2016 (3:40-4:00pm)	4:00pm	19,5	21,2	1,7	2,5	19,5
prototipo		3:40pm	20,3	24,5	4,2		
Ladrillo tolete comun	25/11/2016 (7:00-7:15am)	7:00am	16,3	17,4	1,1	2,9	15,5
prototipo		7:15am	17,1	21,1	4		
Ladrillo tolete comun	25/11/2016 (8:00-8:15pm)	8:15pm	18,3	19,3	1	3	17,8
prototipo		8:00pm	19,2	23,2	4		
Ladrillo tolete comun	26/11/2016 (10:00- 10:15am)	10:00am	21,2	21,7	0,5	2,6	20,3
prototipo		10:15am	21,7	24,8	3,1		
					<b>PROMEDIO:</b>	3,3	

Como se observa en la anterior tabla el mejoramiento diferencial entre el sistema de mamposteria y el propuesto tubo una diferencia de 3,3°C, siendo los tubos de carton rellenos de aserrin los de mejor comportamieto, de igual forma se muestra la temperatura ambiente externa, la cual en relacion con la temperatura de superficie interna del prototipo aumento arproximadamente 6°C, siendo el de mejor comportamiento el del dia 25/11/2016, debido a que la temperatura externa se encontraba en 15,5°C y la intenterna de la superficie del prototipo en 21,1°C, es decir la temeratura aumento 5,6°C.

En las sigueites graficas se observa la direncia de cada uno de los materiles, desde su cara externa a la interna donde en promedio el de mamposteria aumento 0,9°C, mientras que el sistema propuesto aumento 4,2°C

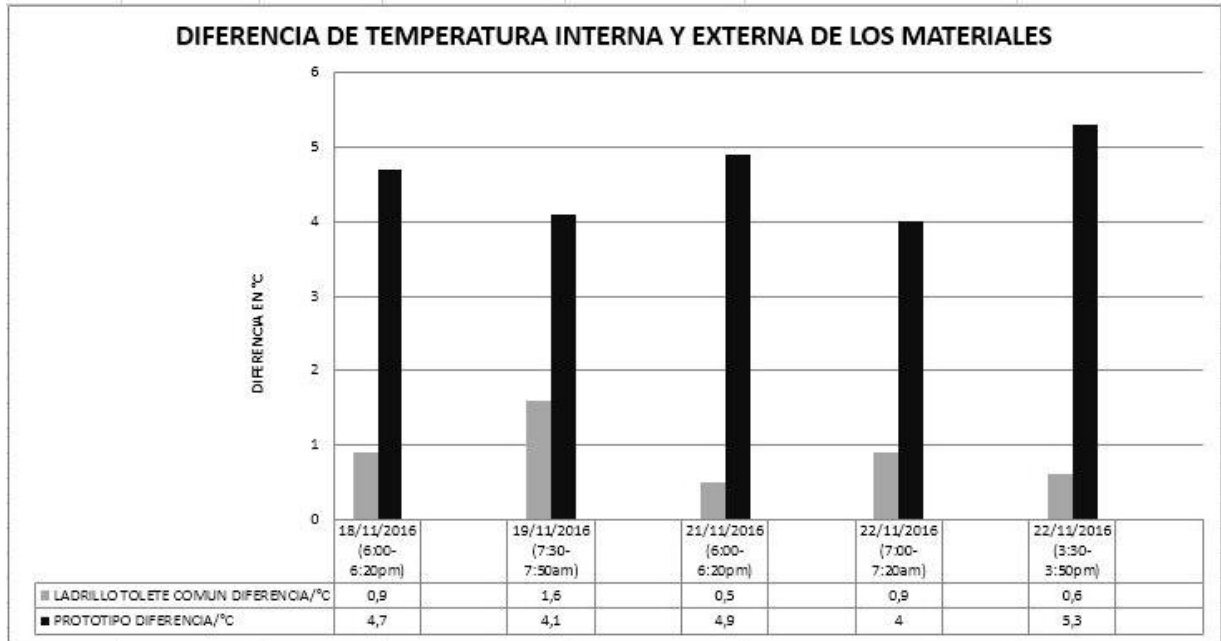
**Grafica 3** Diferencia de temperaturas

**Fuente** Elaboración propia



**Grafica 4** Diferencia de temperaturas

Fuente Elaboración propia



[Presupuestos y APU](#)

A pesar de no ser objetivo de la presente investigación, es importante tener en cuenta la viabilidad económica de cualquier sistema, para identificar su aplicabilidad y competitividad en el medio constructivo, por tal motivo se realizaron los análisis de precios unitarios por M2 del sistema propuesto y del sistema de mampostería, presentados a continuación.

**Tabla 6** Presupuesto mampostería

Fuente Elaboración propia

OBJETO: MURO MAMPOSTERIA M2							
PRESUPUESTO GENERAL							
				VERSION:	1,0	FECHA:	26/11/2016
ETAPA 1							
c.	ÍTEM	ACTIVIDAD	U.M.	CANTIDAD	VLR. UNITARIO	VLR. PARCIAL	
2	2	ACTIVIDADES PRELIMINARES					
	2.1	MURO EN MAMPOSTERIA TOLETE COMUN, INCLUYE PAÑETE, IMPERMEABILIZACION Y ACABADO	M2	1,0	\$ 91.558,83	91.559,00	
Total MAMPOSTERIA						91.559,00	

**Tabla 7** Presupuesto mampostería

Fuente Elaboración propia

OBJETO: MUROS EN TUBOS DE CARTON RELLENOS DE ASERRIN M2							
PRESUPUESTO GENERAL							
				VERSION:	1,0	FECHA:	26/11/2016
ETAPA 1							
c.	ÍTEM	ACTIVIDAD	U.M.	CANTIDAD	VLR. UNITARIO	VLR. PARCIAL	
1	1	MURO EN TUBOS DE CARTON RELLENOS DE ASERRIN					
	1.1	MUROS EN TUBOS DE CARTON RELLENOS DE ASERRIN	M2	1,0	\$ 36.948,74	36.949,00	
Total ACTIVIDADES MURO TUBOS DE CARTON						36.949,00	

Tabla 8 APU mampostería

Fuente Elaboración propia

MURAS EN TUBOS DE CARTON RELLENOS DE ASERRIN COMO AISLANTE TERMICO PARA CLIMAS FRIOS COMO BOGOTA				PRESENTADO A:		
				UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA		
ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO				Fecha	Versión	
				26/11/2016	1	
VN-TUBO						
<b>OBJETO:</b>		<b>PROTOTIPO DE CONSTRUCCION EN TUBOS DE CARTON</b>				
<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS CONSTRUCCIÓN</b>						
	No.	Nombre	Responsables	nombres	codigo	
<b>Capítulo</b>	1	MURO ENTUBOS DE CARTON	TECNOLOGAS EN C.A	Nataly hernández Monroy Vanessa Fernández Salamanca	2061411546 2061410178	
Códigos	Descripción		U.M.	Cantidad	Fecha	
	MURO EN MAMPOSTERIA TOLETE COMUN, INCLUYE PAÑETE, IMPERMEABILIZACION Y ACABADO		M2		26/11/2016	
<b>1. EQUIPO</b>						
Descripción			U.M.	Cantidad	Yr Unitario	Yr Total
Herramienta Menor (M.O)			UND	3,00	10.015,50	300
					<b>SUBTOTAL</b>	<b>300,47</b>
<b>2. MATERIALES</b>						
Descripción			U.M.	Cantidad	Yr Unitario	Yr Total
LADRILLO PRENSADO MACIZO 24,5x5,5x12CM			UND	60,000	650,00	39.000
MORTERO 1:4			M3	0,01	311.616,00	3.116
PAÑETE IMPERMEABILIZADO MURO 1:4			M2	1,00	29.653,00	29.653
ESTUCO 25KG			UND	0,20	20.900,00	4.180
PINTURA 1/4GL			UND	0,1500	9.500,00	1.425
					<b>SUBTOTAL</b>	<b>77.374</b>
<b>3. TRANSPORTES</b>						
Descripción			U.M.	Cantidad	Yr Unitario	Yr Total
Transporte de Materiales			%	5,0	77.374,16	3.868,71
					<b>SUBTOTAL</b>	<b>3.868,71</b>
<b>4. MANO DE OBRA</b>						
Trabajador			U.M.	Readimient	Yr Unitario	Yr. Total
Mano de obra AA ofic+ayud ppal + prestaciones			HC	0,50	20.031	10.015,50
					<b>SUBTOTAL</b>	<b>10.015,50</b>
					<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>	<b>91.559</b>

Tabla 9 APU tubos de cartón

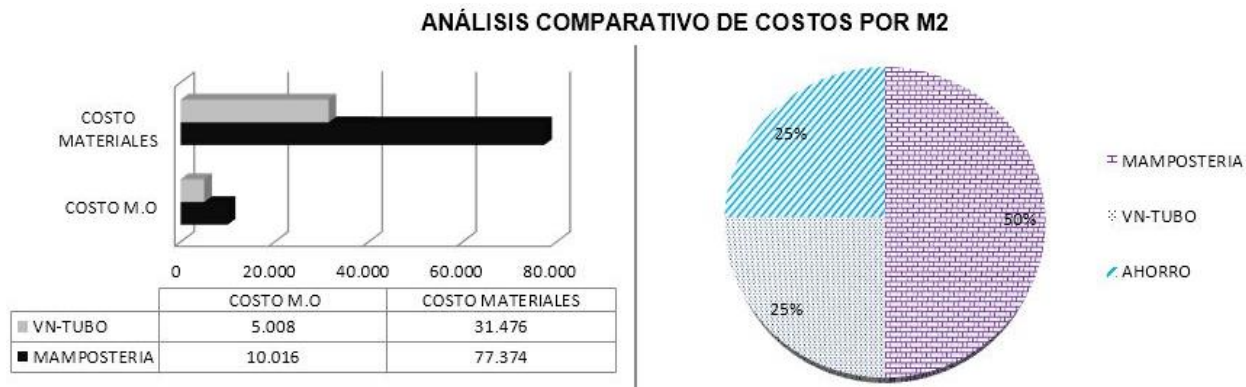
Fuente Elaboración propia

MUROS EN TUBOS DE CARTON RELLENOS DE ASERRIN COMO AISLANTE TERMICO PARA CLIMAS FRIOS COMO BOGOTA				PRESENTADO A:	
ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO				Fecha	Versión
				26/11/2016	1
YN-TUBO					
OBJETO: MUROS EN TUBOS DE CARTON RELLENOS DE ASERRIN M2					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS CONSTRUCCIÓN					
Capítulo	No.	Nombre	Responsables	nombres	codigo
1		MURO ENTUBOS DE CARTON RELLENOS DE	TECNOLOGAS EN C.A	Nataly hernández Monroy	2061411546
				Vanessa Fernández Salamanca	2061410178
		<b>Descripción</b>	<b>U.M.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Fecha</b>
		<b>MUROS EN TUBOS DE CARTON RELLENOS DE ASERRIN</b>	<b>M2</b>	<b>1,00</b>	26/11/2016
1. EQUIPO					
		<b>Descripción</b>	<b>U.M.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Yr Unitario</b>
		HERRAMIENTA MENOR	%	3,00	5.007,75
					150
					<b>SUBTOTAL</b>
					<b>150,23</b>
2. MATERIALES					
		<b>Descripción</b>	<b>U.M.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Yr Unitario</b>
		TUBOS DE CARTON	UN	10,000	850,00
		ASERRIN	LOMA	1,00	500,00
		MDF	UN	0,20	15.000,00
		VARRILLA ROSCADA 3/8" X 1m	UN	2,00	1.933,00
		TURCAS Y ARANDELAS 3/8"	UN	12,00	300,00
		SELLANTE DE SILICONA 280ML	UN	0,5000	6.900,00
		IMPERMEABILIZANTE 1/4 GL	UN	0,2000	15.900,00
		IMPRIMANTE 1/4 GL	UN	0,2000	10.300,00
		CHAZO ESPANSIVO	UN	2,0000	1.600,00
					<b>SUBTOTAL</b>
					<b>31.476</b>
3. TRANSPORTES					
		<b>Descripción</b>	<b>U.M.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Yr Unitario</b>
		Transporte de Materiales	%	1,0	31.476,00
					314,76
					<b>SUBTOTAL</b>
					<b>314,76</b>
4. MANO DE OBRA					
		<b>Trabajador</b>	<b>U.M.</b>	<b>Readimiento</b>	<b>Yr Unitario</b>
		Mano de obra AA ofic+ayud ppal + prestaciones	HC	0,25	20.031
					5.007,75
					<b>SUBTOTAL</b>
					<b>5.007,75</b>
					<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>
					<b>36.949</b>



En la siguiente tabla se observa la viabilidad de construcción con el sistema de tubos de cartón rellenos de aserrín, teniendo en cuenta los gastos en materiales y en mano de obra, por lo tanto se puede ahorrar un 25% en relación con los costos de un muro en mampostería, como lo muestra la gráfica del costado derecho.

**Grafica 5** Análisis comparativo entre los dos sistemas  
**Fuente** Elaboración propia



### Análisis y Discusión de Resultados

Luego de realizar el comparativo entre los dos materiales, en el sistema de mampostería, el mejoramiento dado en la diferencia entre la cara externa e interna de la superficie del material, tuvo un promedio de  $0,9^{\circ}\text{C}$  de diferencia, mientras en el sistema de tubos la diferencia promedio fue de  $4,2^{\circ}\text{C}$ , demostrando así el mejoramiento que presento el prototipo frente al sistema tradicional en mampostería, gracias a la implementación de los tubos de cartón rellenos de aserrín, donde se obtuvo en promedio una mejora de  $3.7^{\circ}\text{C}$ , temperatura que resulta significativa para contribuir con la reducción del desconfort térmico por frío en Bogotá.

A pesar del correcto desarrollo de los procedimientos es importante tener en cuenta las dilataciones entre las uniones, ya que son de gran importancia para garantizar el funcionamiento del sistema, por lo tanto es necesario la correcta producción y fabricación de las uniones, verificando de igual manera los diámetros de los tubos para asegurar que las dilataciones sean mínimas entre ellos.

Adicionalmente se debe verificar el nivel del piso ya que puede afectar la verticalidad de los tubos para garantizar el buen desarrollo constructivo de los muros.

Es necesario sellar las uniones entre tubos y las piezas de madera; impermeabilizar los tubos de cartón, aplicando dos capas de imprimante y dos de impermeabilizante, inmunizar las piezas de madera, con el fin de asegurar la estabilidad de los elementos. (Ver ficha técnica en anexos)

Para la realización de un modelo a escala real no debe utilizarse aglomerados de la madera para la fabricación de las uniones, teniendo en cuenta un anclaje con varilla roscada zincada y embebida en la cimentación. (Ver planos escala real en anexos)

El tipo de aserrín utilizado debe ser compactado dentro del tubo, debido a su composición en partículas finas, las cuales si no se encuentran lo suficientemente unidas, generaran vacíos que con el pasar del tiempo se alojara en la parte superior y el aserrín se asentara en la parte inferior del elemento, alterando su temperatura.

## Conclusiones y Recomendaciones

### Conclusiones

Se realizó el prototipo con la implementación de materiales reciclados como lo son los tubos de cartón rellenos de aserrín, para la conformación de muros; impermeabilizando los mismos debidamente, demostrando la eficiencia de los productos, ya que al someterlo a la prueba, absorbió el 1% de agua, en comparación con el imprimato el cual absorbió un 22%. Demostrando de esta manera la durabilidad de los elementos frente a agentes externos como la lluvia.

Al realizar las pruebas de temperatura de los sistemas de muros (mampostería y tubos) se presentó un mejoramiento de 3.3°C en promedio, siendo este valor el resultado de la diferencia entre la temperatura interna y externa del sistema de mampostería y el sistema de muros propuesto, siendo este último el de mejor comportamiento debido a las propiedades del material.

### Recomendaciones

La metodología implementada fue experimental, debido a la exactitud de los datos que pueden llegar a arrojar, estos fueron tomados en condiciones ambientales reales teniendo en cuenta que estas varían constantemente.

A pesar de la existencia de software, reportes climatológicos y tecnología que pueden simular o analizar las condiciones ambientales del lugar, es más exacto y eficiente realizar una prueba experimental si lo que se pretende es analizar el comportamiento de los materiales en el ambiente, como en el presente proyecto, donde se analizó la temperatura de la superficie de los materiales, siendo necesario exponer estos a condiciones ambientales reales, de esta manera el método experimental es óptimo para obtener un resultado efectivo.

## Bibliografía

- Bevan, Diéguez, Remedios, Long, Kieran, & Rattenbury, K. (2014). *Arquitectos contemporaneos* . Madrid : Art Blume .
- Spottiswoode, A. J. (2012). *Construction and Building Materials*. New York, Estados Unidos : Elsevier.
- Cartontubos* . (s.f.). Obtenido de <http://cartontubos.com/linea-construccion/>
- Mesa, S. (5 de 11 de 2013). *Diseño sostenible de mobiliario urbano con tubos de cartón*. Obtenido de <https://prezi.com/dxpv13utqenm/disenosostenible-demobiliariourbanocontubosdecarton/>
- Mora, O. y., & López, Y. R. (2015). Tejas de cartón reutilizado como alternativa de cubierta para construcciones arquitectónicas sostenibles. . Bogotá.
- Tubotecnia SAS*. (31 de 10 de 2014). Obtenido de <https://twitter.com/TubotecniaSAS>
- Oettinghaus, R. C. (1948). La Edificación con Concreto de Aserrín. *Revista Mecánica Popular* , 7.
- Riffo, L. E. (2004). *TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CONSTRUCTOR*. Valdivia, Chile.
- Rincón, F. A. (2013). Usos de estructuras desmontables en cartón reciclado (corrugado y tetrabrik) para construcción de aulas temporales en Bogotá. Bogotá.
- Olgyay, V. (2013). *Desing with climate* . Barcelona : Gustavo Gili .
- heidt, T. H. (2012, 2006). El estándar "passivhaus" en el centro-sur de Chile. Chile.
- Olgyay, V. (1968). *Clima y arquitectura en Colombia*. Cali: carvajal y cia .
- Fresquet, J. L. (9 de 1999). *historia de la medicina* . Obtenido de <http://www.historiadelamedicina.org/canon.html>
- Calonge, H. R. (2012). *Metodología para diagnosticar la habitabilidad en la vivienda social* . Bogotá : Unisalle .
- la prestampa, las artes graficas vistas por otros ojos*. (14 de 10 de 2014). Obtenido de <https://laprestampa.wordpress.com/2014/10/14/fabricacion-del-papel/>
- Parking, D. (s.f.). *ladrillo.es*. Obtenido de [www.ladrillo.es](http://www.ladrillo.es)
- territorio, M. d. (10 de 07 de 2015). Obtenido de [www.minvivienda.gov.co](http://www.minvivienda.gov.co)
- standardization, i. o. (2007 ). *Acondicionamiento termico envolvente termica de edificios calculode resistencias y transmitancias termicas* . Chile : Instituto nacional de normalizacion inn.
- 7730, I. (25 de 10 de 2006). *AENOR* . Obtenido de [www.aenor.es](http://www.aenor.es)
- ASHRAE, 5. (2013). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Obtenido de <https://www.ashrae.org/>

*Ingeniería en la red* . (30 de 07 de 2007). Obtenido de

<https://ingenieriaenlared.wordpress.com/2007/07/30/el-arquitecto-shigeru-ban-construye-un-puente-con-tubos-de-carton-y-papel-sobre-el-rio-gardon-en-frania>

*Climograma de Baruch Givoni*. (s.f.). Obtenido de <http://www.moondoreyes.com/M3.20.html>

*IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. (s.f.). Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>

Lopez, J. (14 de 7 de 2014). *negocio rentable*. Obtenido de <http://negociorentablehoy.com/fabricar-tubos-de-carton-una-idea-de-negocio-rentable/maquinafabricartubosdecarton/>

*Miliarium.com*. (2001). Obtenido de

<http://www.miliarium.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.asp>

kassim, g. y. (1994 ).



## Anexos

### **Definiciones**

#### ***Confort térmico***

Podríamos decir que existe «confort térmico» cuando las personas no experimentan sensación de calor ni de frío; es decir, cuando las condiciones de temperatura, humedad y movimientos del aire son favorables a la actividad que desarrollan.

#### ***Temperatura***

Es una propiedad de la materia que está relacionada con la sensación de calor o frío que se siente en contacto con ella. Cuando tocamos un cuerpo que está a menos temperatura que el nuestro sentimos una sensación de frío y al revés de calor.

#### ***Conductividad térmica***

Es la capacidad de un material para transferir calor.

Responde a un aspecto de estética, para ello debe de satisfacer una serie de requisitos como son: La impermeabilidad al agua. Que tenga aislamiento térmico hacia el interior. Que tenga aislamiento acústico hacia el interior.

#### ***Calor específico***

Dificultad que presenta una sustancia para experimentar cambios de temperatura bajo el suministro de calor

#### ***Aislamiento térmico***

Es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor por conducción

#### ***Madera***

La madera es una de las materias prima de origen vegetal más explotada por el hombre. Se encuentra en los árboles de tallo leñoso (que tienen tronco) encontrando su parte más debajo de la corteza del árbol. Es un recurso renovable, abundante, orgánico, económico y con el cual es muy fácil de trabajar.

#### ***Cartón***

El cartón es una carta gruesa (de allí su nombre) pues está conformado por una superposición de papeles humedecidos que así logran adherencia, para luego ser secados por evaporación; o también pueden hacerse con trapos prensados o pasta de papel, lo que lo convierte en un material más duro y resistente que el papel, muy usado en la fabricación de cajas. Permite ser reciclado.

### ***Aserrín***

Conjunto de partículas que se desprenden de la madera al serrarla.

### ***Tubo***

A aquel elemento hueco, que normalmente presenta una forma cilíndrica, abierta por ambos extremos, puede estar fabricado a partir de diversos materiales y se lo usa en diferentes ámbitos se lo denomina tubo.

### ***Clima***

Es la agrupación de fenómenos meteorológicos (temperatura humedad, presión atmosférica, precipitaciones y vientos) que caracterizan el estado medio de la atmósfera, en un lugar determinado de la superficie de la Tierra, basado en observaciones prolongadas. Para ello se usan las isotermas que son líneas imaginarias que unen puntos de igual temperatura media, en un período dado.

### ***Frio***

Se define al frío como la ausencia total de calor o como la presencia de bajas temperaturas.

### ***Ambiente***

El concepto de ambiente hace referencia a aquel en el que se integran los seres vivos, es decir, aquel dentro del cual interactúan las formas de vida.

### ***Acabados***

Se denomina acabados a todos aquellos trabajos que se realizan en una **construcción** para darle terminación a los detalles de la misma quedando ésta con un aspecto estético y habitable.

### ***Impermeabilizante***

Es una sustancia que detiene el agua, impidiendo su paso, y se utiliza en el revestimiento de piezas y objetos que deben ser mantenidos secos. Funciona eliminando o reduciendo la porosidad del material, llenando filtraciones y aislando la humedad del medio.



### Prueba de Impermeabilización (Registro fotográfico)



Tubo 1. Imprimpante acrílico greconal. Peso inicial 113g, peso final 178g, difencia 65g.



Tubo 2. Imprimpante acrílico Greconal. Peso inicial 109g, peso final 177g, diferencia 66g.



Tubo 1. Impermeabilizante paraguas. Peso inicial 110g, peso final 116g, diferencia 6g.



Tubo 2. Impermeabilizante paraguas. Peso inicial 110g, peso final 168g, diferencia 58g.



Regist  
ro  
Fotog  
ráfico  
Prueb  
a de  
Imper  
meab  
ilizaci  
ón  
Dos

Tubo 1 y 2 Imprímate e impermeabilizante peso inicial 115g – Peso final 120g – Diferencia 5g

Tubo 1 y 2 Imprímate e impermeabilizante peso inicial 115g – Peso final 120g – Diferencia 5g



### Registro Fotográfico Toma de Datos de Temperatura

Temperatura ambiente exterior

Temperatura Superficie exterior prototipo

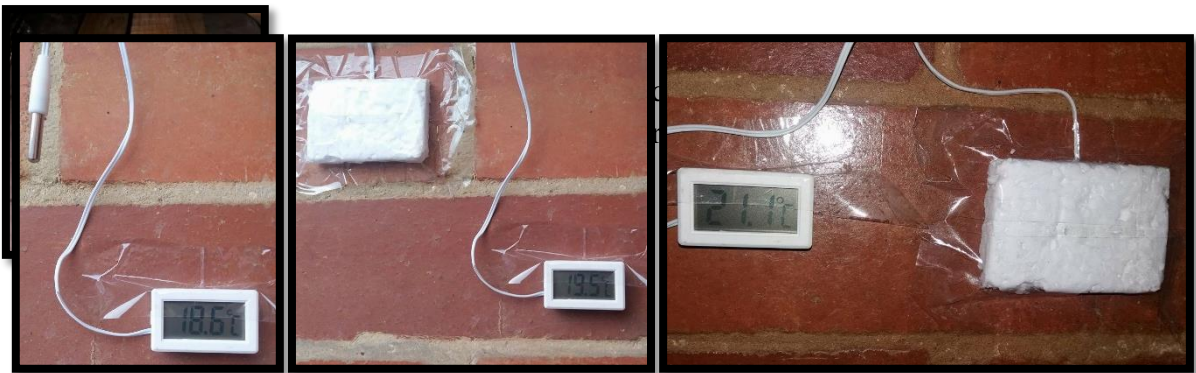
Temperatura superficie interior prototipo

Temperatura ambiente exterior

Temperatura Superficie exterior mampostería

Temperatura superficie interior mampostería

### Fabricación de Cubierta



2. A continuación se marcaran las cajas para realizar el corte con un serrucho y conformar la unión macho hembra.



3. Luego se retira la pieza de madera sobrante por medio de una herramienta llamada formón y un martillo.



4. Este proceso se debe realizar cuidadosamente ya que cada pieza debe encajar correctamente



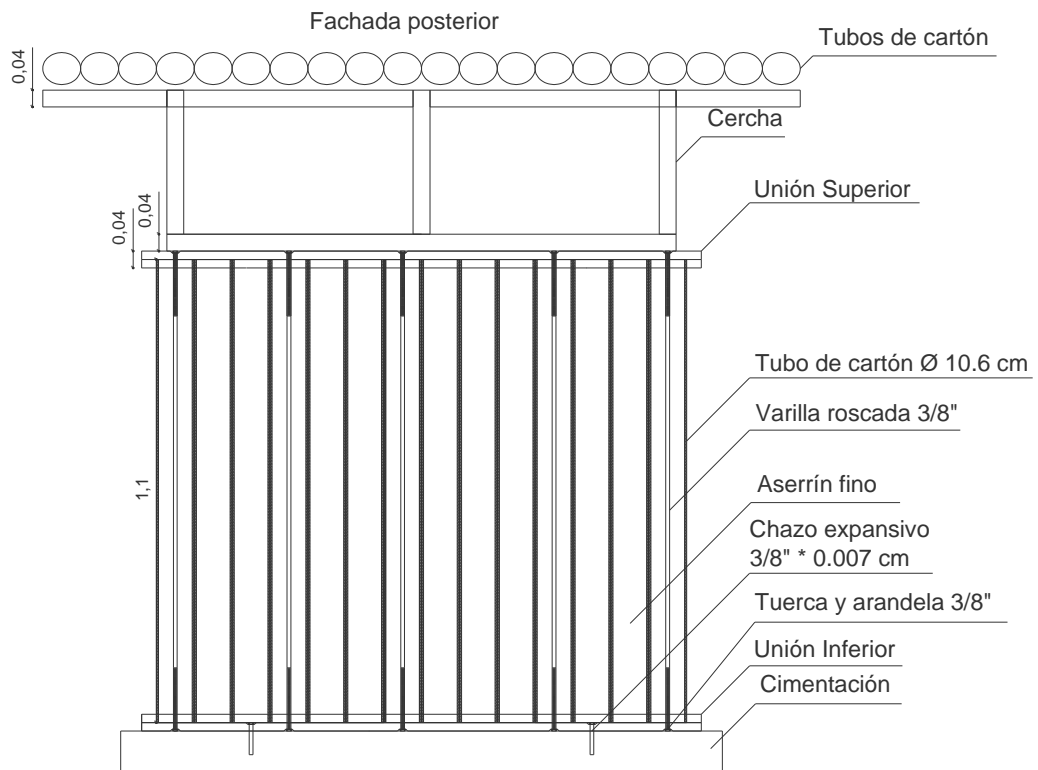
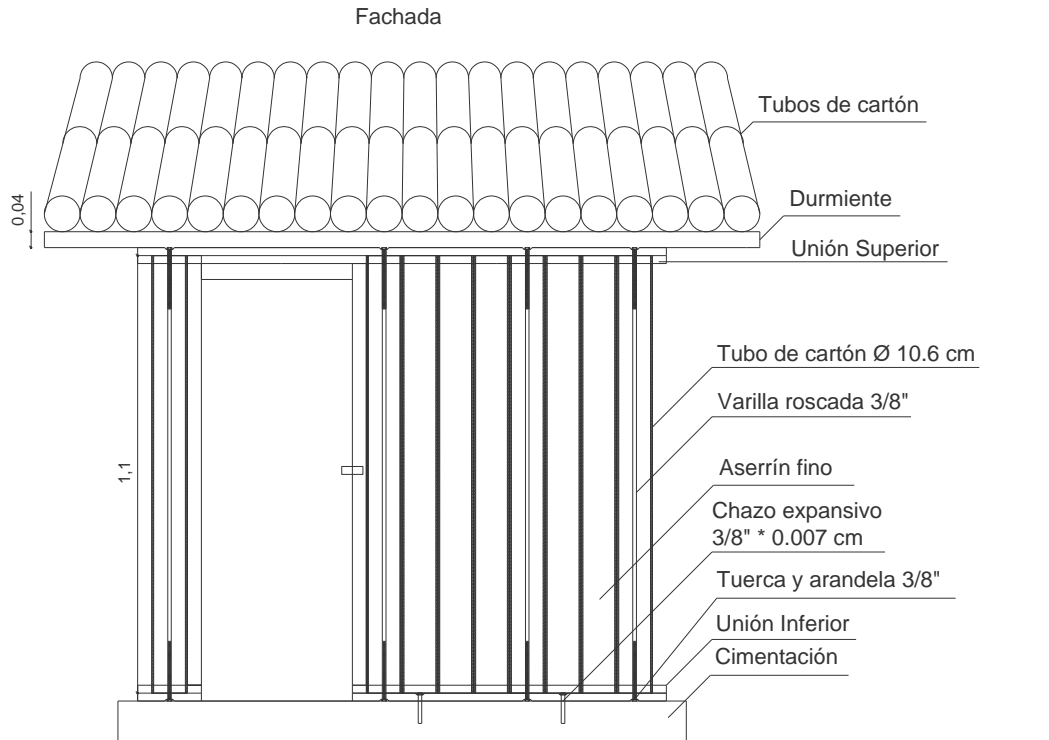
5. Finalmente deberá quedar de esta forma.

MUROS EN TUBOS DE CARTÓN RELLENOS DE ASERRIN COMO AISLANTE TÉRMICO PARA CLIMAS FRIOS

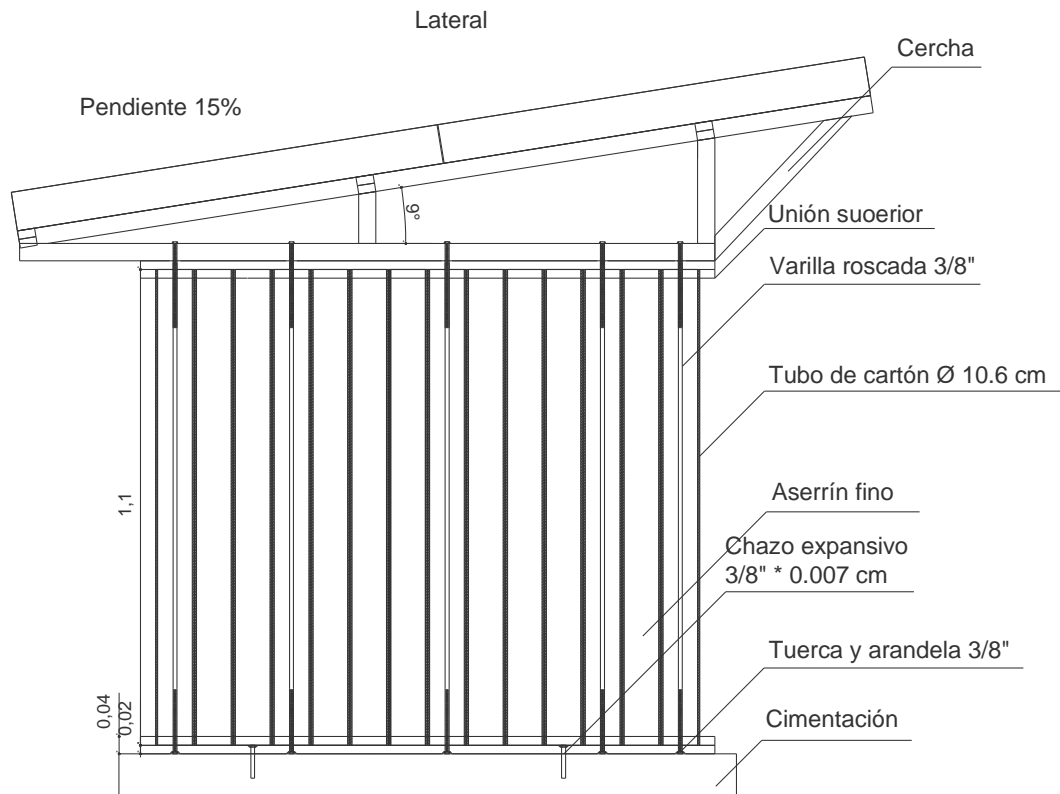


**Planimetría Prototipo**

MUROS EN TUBOS DE CARTÓN RELLENOS DE ASERRIN COMO AISLANTE TÉRMICO PARA CLIMAS FRIOS

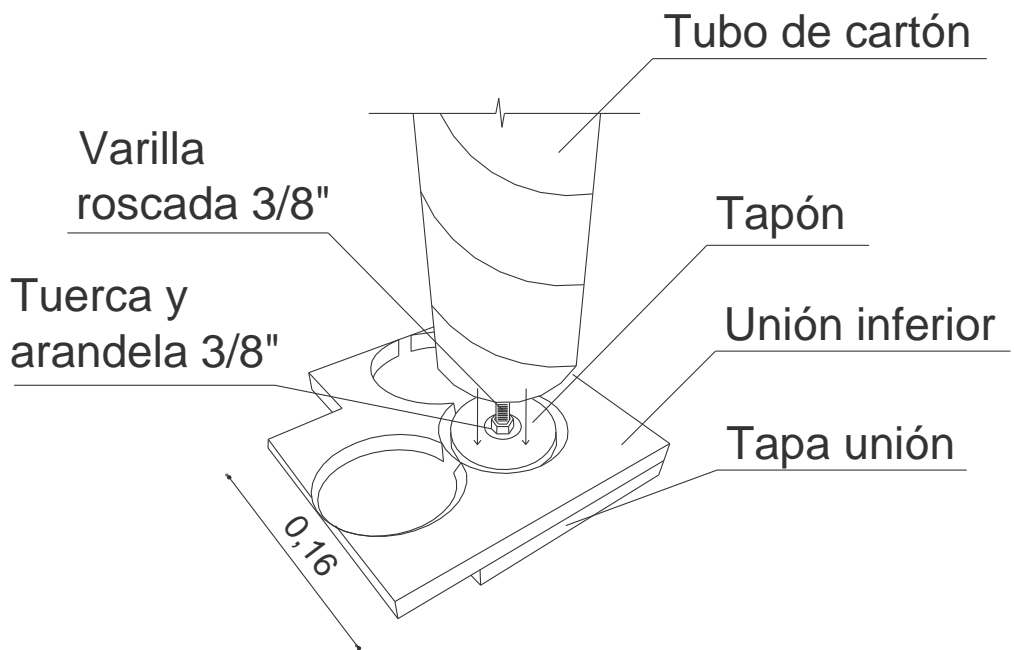


MUROS EN TUBOS DE CARTÓN RELLENOS DE ASERRIN COMO AISLANTE TÉRMICO PARA CLIMAS FRIOS



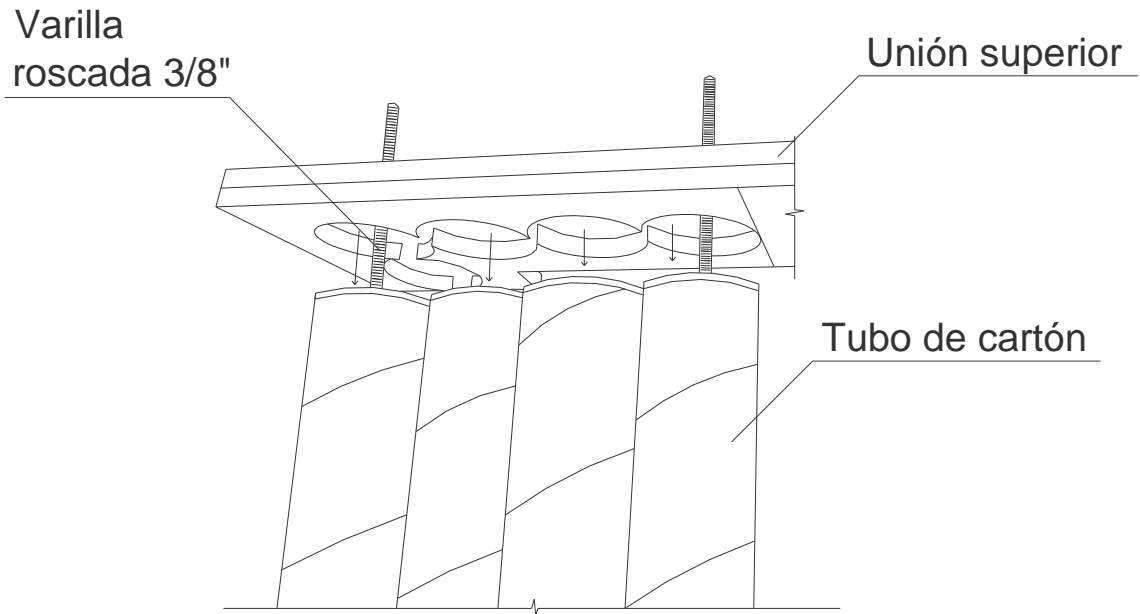
Detalles constructivos

Anclaje del tubo a la unión

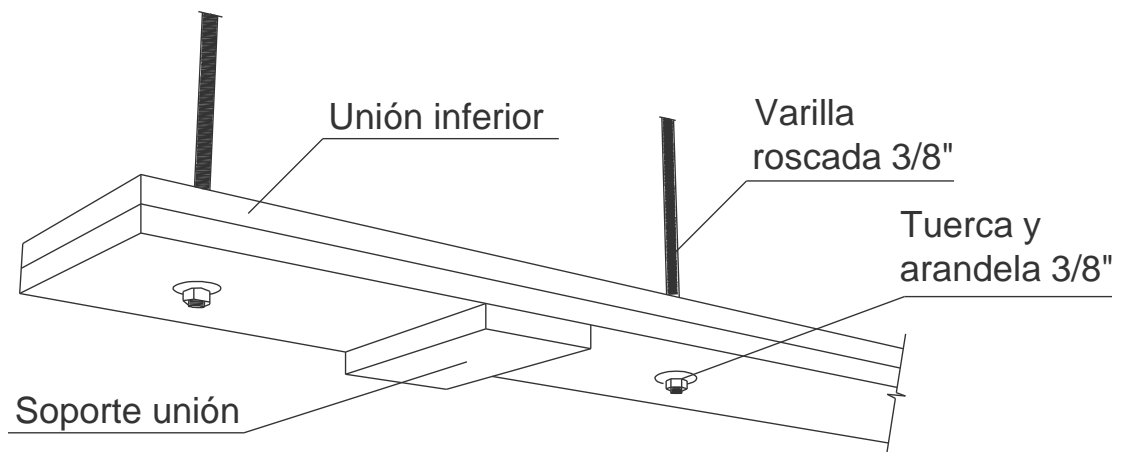




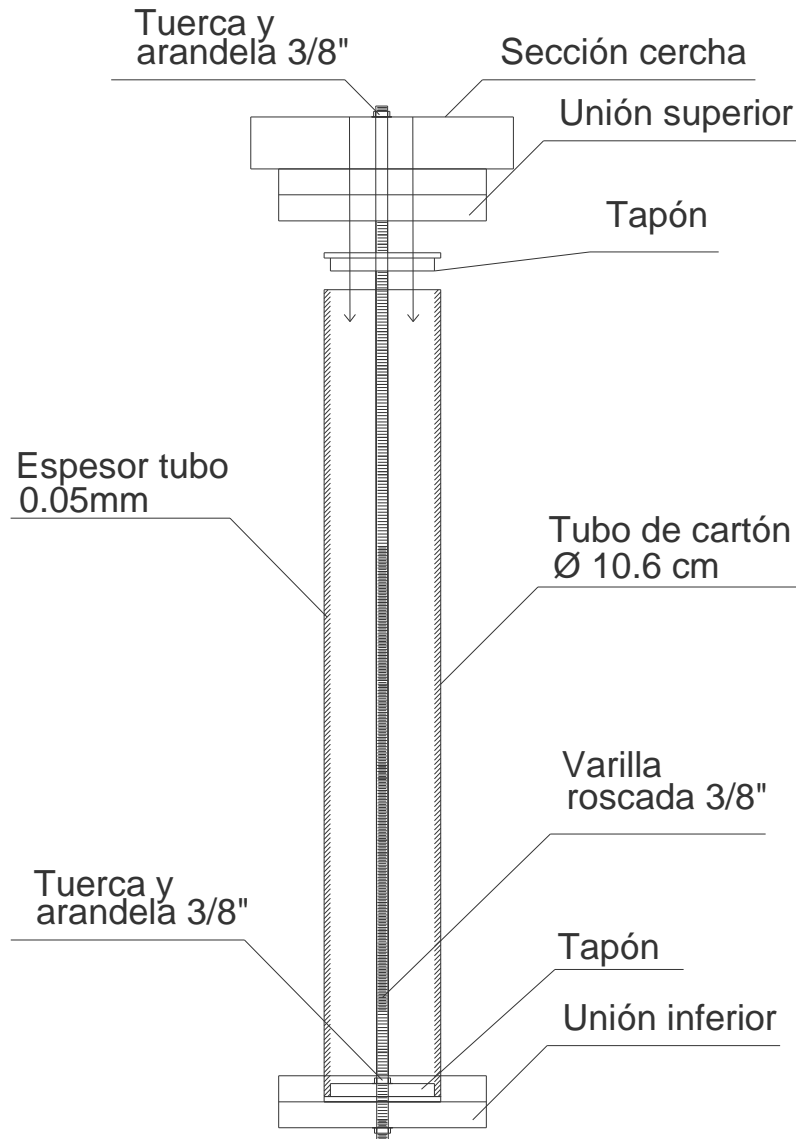
### Fijación de la unión superior



### Anclaje unión inferior



### Elementos constructivos



## Ficha Técnica Paraguas



### DESCRIPCION DEL PRODUCTO

PARAGUAS ULTRA es un Impermeabilizante Acrílico de altas prestaciones. Es un producto de aplicación en frío, de alta elasticidad, con capacidad aislante de grietas delgadas y elevada resistencia a la rotura. No requiere el uso de tela, excepto como refuerzo en los perímetros o esquinas, o si la impermeabilización va a ser sometida a tránsito liviano ocasional. Posee una alta adherencia a una gran variedad de sustratos. Es un producto libre de solventes, más amigable con el medio ambiente. Aplicando el material bajo las instrucciones recomendadas tiene una durabilidad de 10 años.

#### Usos

Este producto puede ser utilizado en la impermeabilización de elementos estructurales y no estructurales tales como

- Losas de concreto
- Techos de madera (tablilla)
- Muros de bloque o ladrillo, revoque o concreto
- Canales y cubiertas
- Mantos asfálticos (requiere imprimación con Paraguas Advanced 2 en 1)

### MEDIDAS DE SEGURIDAD

#### Toxicidad:

Manténgase fuera del alcance de los niños. Evite el contacto del producto con la piel y los ojos, así como la manipulación en áreas cerradas. No ingiera ni inhale.

Durante la manipulación del producto se recomienda el uso de protección respiratoria certificada, guantes, mangas protectoras para la piel o camisa de manga larga y gafas. Este producto no es inflamable.

#### Seguridad Ambiental:

No existen datos ambientales que indiquen nocividad de esta sustancia para el medio ambiente. Con el fin de evitar la contaminación, se debe tener en cuenta lo siguiente:

#### Suelo

Los desechos o residuos del producto deben disponerse en rellenos sanitarios controlados y/o escombreras autorizadas. El empaque del producto es un residuo reciclable.

#### Aire: N/A

#### Agua

Evite que el producto sea vertido en el alcantarillado o en fuentes de agua. En caso de existir derrames al alcantarillado, realice una limpieza de este y termine de retirar los residuos con abundante agua.

### PROPIEDADES TÉCNICAS

Rendimiento superficies lisas (lámina, madera, superficies asfálticas)	4 - 4.5 m2/gal
Rendimiento superficies rugosas (concreto, mortero, tela asfáltica deteriorada)	3.0 - 3.5 m2/gal
Color	Blanco, Gris, ladrillo y negro
Tiempo de Secado en condiciones normales (25°C y 65%HR): - Al tacto - Para Repintar	1 hora 24 horas
Dilución	NO diluir, usar como viene

El consumo real del producto depende del estado de la superficie sobre la cual se aplique, su textura y nivelación

## Ficha Técnica Imprimante



# INFORMACION TECNICA IMPRIMANTE ACRILICO GRECONAL

## DESCRIPCION

IMPRIMANTE ACRILICO GRECONAL, es una emulsión Acrilica de alto contenido de sólidos lo cual le permite tener una alta resistencia a la intemperie y a superficies alcalinas. Es un producto que debe ser utilizado antes de aplicar la pintura sobre la superficie como sellante y promotor de adherencia, aislándola y protegiéndola de los efectos nocivos de la cal, carburos y de sustratos con alta alcalinidad tales como: tejas de fibro-cemento y superficies de concreto. También se usa para sellar las superficies de materiales porosos utilizados en mampostería.

## VENTAJAS

- Fácil aplicación
- Excelente penetración.
- Rápido secamiento.
- Alto rendimiento.
- Acabado transparente, brillante uniforme y libre de puntos o estrias.
- Máxima duración.
- Excelente Adherencia sobre la superficie.

## USOS Y PROPIEDADES

Se utiliza como principalmente como sellante en diversos sustratos: paredes, maderas, ladrillos tejas de fibro cemento y mampostería en general, en ambientes exteriores e interiores. En superficies nuevas de estueros o pañetes y en superficies porosas de madera, triplex o aglomerados, se usa como imprimante para mejorar la aplicación y el rendimiento de los vinilos o esmaltes. Sirve como aglutinante para preparar acabados rústicos o estueros y en la preparación de acabados texturizados para exteriores



## ESPECIFICACIONES TECNICAS

Tipo de emulsión	Emulsión Acrílica
Contenido de Sólidos (%)	49 - 51
Viscosidad Brookfield a 25 °C (cps)	7000 - 10000
pH a 25 °C	7.0 - 8.5
Características de película seca	Película transparente, elástica y sin grumos
Color	Blanco azulado

### PRESENTACION

- Tambor de 55 galones = 208 175 c.c.
- Cuñete de 5 galones = 18 925 c.c.
- Galón = 3 785 c.c.
- ¼ Galón = 946.25 c.c.

PRODUCIDO POR:  
MOMENTIVE QUIMICA S.A.  
Calle 16 No 1A-88 Yumbo (Valle)  
A.A. 5039 Cali - Colombia  
Industria Colombiana.