

PANELES DE GUADUA LAMINADA Y GRANULADOS DE MADERA Y CAUCHO

NATALIA QUICAZAQUE CUBILLOS  
BRIGITH TATIANA CALDERÓN MUÑOZ



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

PANELES DE GUADUA LAMINADA Y GRANULADOS DE MADERA Y CAUCHO

NATALIA QUICAZAQUE CUBILLOS

BRIGITH TATIANA CALDERÓN MUÑOZ

TRABAJO DE MONOGRAFIA

ING. CESAR DAVID QUINTANA CABEZA



UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA

PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS

BOGOTÁ D.C. DICIEMBRE DE 2016

Tabla de contenido

Listado de imágenes.....	5
Listado de tablas .....	6
RESUMEN .....	8
Abstract.....	9
Introducción .....	10
Marcos de referencia.....	11
Marco teórico .....	11
Sistemas de construcción liviana en seco (SCLS) .....	12
Guadua laminada .....	15
Granulado de madera .....	17
Comportamiento contra el fuego .....	19
Granulado de caucho.....	19
Marco conceptual.....	23
Marco legal .....	25
Desarrollo Del Proyecto.....	26
Proceso de producción de paneles de guadua laminada y granulados de madera y caucho .....	26
Proceso de producción de guadua laminada .....	26
Proceso de producción del granulado de madera y caucho .....	28
Parámetros y fundamentos de aislamiento acústico.....	32
Parámetros y fundamentos de aislamiento acústico para el diseño del panel.....	32
Parámetros y fundamentos para las mediciones acústicas.....	35
Diseño del panel en digital.....	38
Sistema en constructivo platform fraime .....	40
Desarrollo del prototipo del panel.....	41

Prueba de aislamiento acústico .....	45
Parámetros y procedimiento para la realización de la prueba.....	45
Primera prueba de aislamiento acústico sellando con tierra los espacios entre el prototipo y la base de madera. ....	45
Resultado de las pruebas de aislamiento acústico.....	49
Metodología resultado de la medición de ruido generado por el medio ambiente. ....	49
Metodología resultado de la medición del aislamiento acústico .....	51
Resultados del ruido generado por el medio ambiente y el aislamiento acústico de cada panel .....	54
Análisis y discusión de resultados .....	55
Análisis resultado de aislamiento acústico primera prueba .....	55
Análisis resultado de aislamiento acústico segunda prueba .....	56
Análisis de costos y presupuesto.....	57
Conclusión y recomendaciones.....	58
Referencias bibliográficas.....	59

### Listado de imágenes

Imagen 1. Sistema de construcción en seco.....	12
Imagen 2. Guadua laminada .....	15
Imagen 3. Granulados de madera.....	17
Imagen 4. Inmunización de la guadua .....	26
Imagen 5. Proceso de obtención de la esterilla.....	27
Imagen 6. Guadua laminada con exceso de pegante.....	28
Imagen 7. Caucho granulado .....	29
Imagen 8. Proceso de transformación de la llanta .....	30
Imagen 9. Granulado de madera y caucho.....	31
Imagen 10. Aislamiento acústico.....	32
Imagen 11. Material elástico+ membrana +membrana. ....	34
Imagen 12. Sonómetro Extech HD600 clase 2. ....	37
Imagen 13. Diseño del panel.....	38
Imagen 14. Medidas del panel .....	39
Imagen 15. Sistema plataforma frame .....	40
Imagen 16. Guadua laminada 1x1m .....	42
Imagen 17. Mezcla en seco de los materiales.....	42
Imagen 18. Mezcla de los granulados con cauchola.....	43
Imagen 19. Compactación de los granulados .....	43

**Listado de tablas**

Tabla 1. Comparativo entre muros..... 14

Tabla 2. Propiedades físicas de la guadua laminada..... 16

Tabla 3. Propiedades mecánicas de la guadua laminada ..... 16

Tabla 4: Propiedades físicas del granulado de madera ..... 18

Tabla 5. Composición de un neumático..... 19

Tabla 6. Reciclaje de neumáticos en desuso ..... 21

Tabla 7. Propiedades mecánicas del granulado ..... 22

*Tabla 8. Propiedades físicas del granulado de caucho ..... 22*

Tabla 9. Grado de transmisión sonora ..... 33

Tabla 10. Estándares máximos permisibles de emisión de ruido expresados en decibeles dB(A)33

Tabla 11. Características de la fuente de sonido apra medición ..... 36

**Listado de gráficas**

Gráfica 1. Propiedades de aislamiento acústico del granulado de madera ..... 18  
Gráfica 2. Ruido rosa ..... 35

## RESUMEN

La presente monografía se desarrolla a partir de los sistemas en construcción en seco, los cuales han presentado varios inconvenientes por la utilización de láminas de yeso y fibrocemento, estos sistemas presentan fallas en cuestiones acústicas, en importantes factores involucrados con la calidad de vida de las personas, y los altos costos económicos que no han permitido su completa dinamización en el sector de la construcción. Es por esto que se pretende enfocar la investigación a una propuesta de sistema de paneles prefabricados para vivienda, con un diseño tipo sándwich, compuesto por guadua laminada y granulados (madera-caucho) reciclados, que formen parte de los sistemas prefabricados en seco y hagan uso de materiales innovadores y sostenibles menos costosos, además respondan a las necesidades de aislamiento acústico de una vivienda, e igualmente reúnan las condiciones técnicas para el mejoramiento de vida de las personas.

### **Palabras claves.**

Sistemas de construcción en seco, construcción industrializada, laminas prefabricadas, guadua laminada, granulado de madera y caucho.

### **Abstract**

This project is focused on a proposal that involves the development of prefabricated panels for housing, which will be composed of guadua laminated and granulated wood and recycled rubber, with a design sandwich, bamboo and shall be assembled together by a tongue and groove joints wood system. The research is centralized to be the answer to acoustic problems that have presented the prefabricated housing systems, which use a thin sheet of fiber cement which presents its failure not just in acoustic issues, also in important factors involved with quality lives of people, and the high economic costs that have prevented its complete revitalization in the construction sector. That's why aims to focus research on a proposal panels that are part of the prefabricated dry systems and make use of less expensive innovative and sustainable materials that meet the technical conditions for the improvement of life of people, and thus respond to the needs of acoustic comfort and cost required for housing.

Keywords.

Dry construction systems, industrial construction, prefabricated sheets, laminated bamboo, wood and rubber composite.

## Introducción

En la actualidad los sistemas de paneles prefabricados para viviendas han permitido ser la solución al déficit de hábitat, pero la respuesta que ha tenido el uso de paneles en fibrocemento y yeso para estos sistemas no ha sido precisamente una solución viable y sostenible, es decir aunque contesta a la necesidad natural de vivienda del hombre, han presentado grandes problemas relacionados con la calidad de vida.

Estos paneles prefabricados en resumen han presentado un continuo desequilibrio en el aislamiento acústico, este problema como el punto central de la investigación es encontrado como consecuencia del discomfort acústico, esto como causa de la baja calidad y tolerancias del material, además las juntas que se ven deterioradas desde el momento de la ejecución de la obra, sumándose el problema el alto costo de los paneles, lo cual ha hecho que no haya concordancia con las condiciones económicas de los habitantes. Factores que claramente inciden en gran medida a la baja calidad de vida de las viviendas incrementando en fin último las postventas y el desuso.

Por lo tanto lo que se pretende es ofrecer la propuesta de desarrollar paneles prefabricados, compuestos por guadua laminada y granulados (madera y caucho), para dar solución a una problemática de confort acústico, generando cumplimiento a las necesidades estructurales de una vivienda a partir de materiales sostenibles. Lo cual se realizara a partir del estudio de las propiedades de los materiales, luego de realizar la consulta de las técnicas de procesos de producción y transformación de la guadua y los granulados, posteriormente el diseño y construcción de prototipos reales de los paneles, y evaluación de los resultados de las pruebas de laboratorios de acústica y sostenibilidad del mismo, para realizar en fin último un análisis de su viabilidad en comparación con los sistemas prefabricados que hacen uso de láminas de fibrocemento.

## **Marcos de referencia**

### **Marco teórico**

La prefabricación permitió el desarrollo de nuevas tecnologías en la industria de la construcción, las cuales han venido apareciendo como solución a una problemática técnica, que ha permitido generar menor tiempo de ejecución, mejor utilización de los recursos, y más rápidas soluciones de vivienda y desarrollo en una sociedad. Pero se ha dejado de lado el confort y la relación entre clima-hombre por generar cada vez una gran cantidad de masas de edificación en menos tiempo y cada vez más costosas. En este sentido aunque la prefabricación se ha convertido en una solución para el déficit de hábitat se ha dejado de lado la calidad de vida. Las docentes-investigadoras de la Universidad de La Salle Rosa Amparo Ruiz Saray y María Constanza Muñoz Álzate en el trabajo de investigación Modelo preliminar de evaluación de los sistemas de construcción industrializada para vivienda de estratos dos (2) y tres (3), con el fin de ser adaptados al contexto colombiano, realizaron un modelo preliminar en base de un análisis a ocho proyecto de viviendas en Colombia donde evalúan las técnicas de producción, viabilidad y factibilidad de sistemas de construcción, dentro de los cuales se realizó un estudio de paneles prefabricados, los cuales en resumen han presentado patologías como fisuras, agrietamiento, filtraciones de agua, estética del material y un presente desequilibrio en el aislamiento térmico y aislamiento acústico, este último problema como el punto central de la investigación es encontrado como causa de incomodidad del ruido del exterior, el de los edificios vecinos, y hasta dentro de la misma vivienda está presente el discomfort entre los mismos usuarios, todo esto debido a la baja calidad del material y las juntas que se ven deterioradas desde el momento de la ejecución de la obra, sumándose el problema de el alto costo de los paneles, lo cual ha hecho que no haya concordancia con las condiciones económicas de los habitantes, encontrando como única solución una inversión adicional al mejoramiento del aislamiento con el que estos sistemas no cuentan.

Por lo tanto se estudiaran cuatro sistemas de construcción prefabricada en seco usados en Colombia los cuales son: vivienda celular eternit, colditec, speedco y drywall, para que posteriormente sean una base fundamental en la demostración de la existencia de la

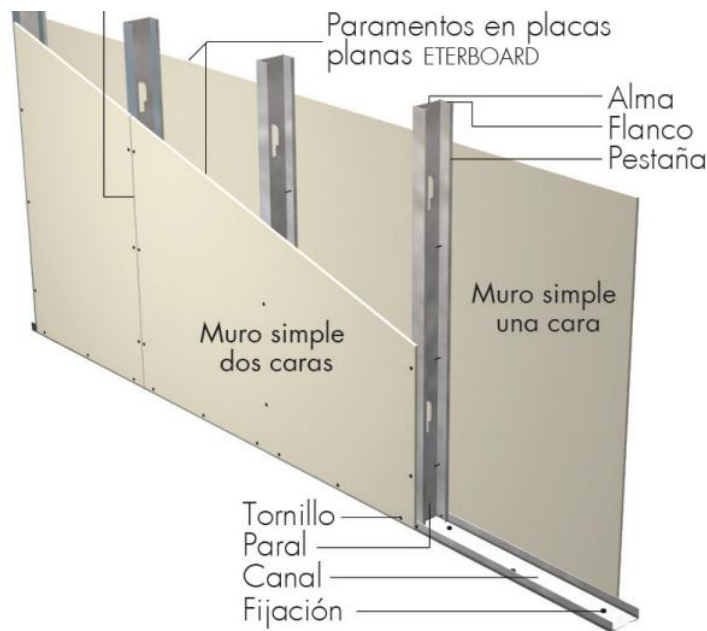
problemática, por lo tanto se estudiarán los materiales que lo componen, aislamiento acústico, impacto ambiental, y el costo.

### Sistemas de construcción liviana en seco (SCLS)

El sistema de construcción liviana en seco es definido por Construdata como:

Es un método de construcción que usa como fundamento una estructura reticular liviana formada por perfiles de acero galvanizado rolados en frío. Este armazón se reviste con placas de yeso o fibrocemento, aislamiento e instalaciones para construir muros, entrepisos, cielos raras, bases de cubiertas, fachadas, entre otros elementos. Además de ser ágil, limpia y resistente, sustituye los compuestos húmedos y los demorados tiempo de fraguado inherentes al sistema tradicional. (2013, p.34)

*Imagen 1. Sistema de construcción en seco*



Fuente: Eternit- Eterboard Manual técnico 2007.

Dentro de los SCLS usados en Colombia se encuentran los siguientes sistemas:

***Vivienda celular eternit***

Es un sistema compuesto por placas de fibrocemento y bastidores de metal los cuales se unen con tornillos o clavos. Se deja un vacío con el fin de colocar allí las instalaciones. Después de realizar el proceso de ensamblaje se realiza un acabado en las junta y en las superficies.

***Sistema colditec***

Es un sistema constructivo de prefabricados en seco, el cual se origina en Colombia, y está compuesto por paneles de fibrocemento y yeso, y una estructura compuesta por perfiles galvanizados en acero. Debido a que el sistema en sí mismo no genera aislamiento acústico, se opta por colocar un material aislante como poliuretano el cual aumenta el aislamiento acústico.

***Sistema speedco***

Es un sistema constructivo de prefabricados en seco, el cual se origina en Colombia, y está compuesto por las láminas Termo Wall las cuales consisten en unos paneles tipo sándwich de poliuretano expandido y láminas de fibrocemento con una dimensión de 2,40 x 1,20m, y una estructura compuesta por perfiles de aluminio.

***Sistema drywall***

Es un sistema constructivo prefabricado originado en Estados Unidos de Norte América el cual está compuesto por láminas de yeso para muros divisorios, láminas de fibrocemento para los muros de carga y para muros fachada se utilizan láminas de yeso y fibrocemento, y perfiles de acero.

Debido a que los sistemas en sí mismos no generan aislamiento acústico, se opta por colocar materiales aislantes dentro de las placas de fibrocemento o yeso, aunque el nivel de aislamiento acústico es mejor, aun así no responde a los niveles sonoros recomendados para una vivienda (Tabla 1), los cuales se estipula que para paneles divisorios debe ser de 37 db y para paneles medianeros de 48db.

*Tabla 1. Comparativo entre muros*

CARA 1 mm	AISLANTE 3 1/2" (LV)	CARA 2 mm	AISLAMIENTO (db)
8	No	8	27 - 18
10	No	10	32 - 20
8	Sí	8	36 - 22
10	Sí	10	42 - 24

Fuente: Eternit- Eterboard Manual técnico 2007

Como se puede observar los sistemas tienen la característica de incluir dentro de estos materiales aislantes ya sea por factores opcionales del mejoramiento del sistema o por ser parte del diseño básico de sus laminas, lo cual en relación del análisis de cada uno de estos sistemas es en fin último una salida costosa, no viable, no sostenible, y poco conveniente, lo cual de igual manera no acabaría con todo el grupo de problemas que estos sistemas generan. Factores que claramente inciden en gran medida a la baja calidad de vida de los usuarios y la baja vida útil de las viviendas incrementando en fin último las postventas y el desuso.

### **Guadua laminada**

La guadua laminada es tomada del proyecto realizado por el arquitecto y docente del Sena Fabián Martínez quien lo implemento como solución al problema que presentaron las láminas de guadua realizadas por la empresa Vélez y Villegas quienes proponen la idea de generar tableros de esterilla completamente lisos, resultado que se genera después de un largo proceso de transformación del material que implica mucha energía, tiempo y un 40% de desperdicios, lo cual afecta en fin último un altísimo costo económico y ambiental.

Con este problema planteado el arquitecto Martínez decide de igual manera usar la esterilla de la Guadua angustifolia kunth, denudarla (quitar los nudos) y finalmente pegarla, disminuyendo dentro del proceso el arduo trabajo del acabado liso, aunque estéticamente no se alcanza el mismo resultado, se mantiene la esencia visual del material y se disminuye en gran medida el costo, haciendo que sea en menos tiempo, menos procesos y menos desperdicios exactamente tan solo un 4-5%. Para que esto fuera posible fue necesario intervenir en el desarrollo de nuevas máquinas y un nuevo pegante debido a que los pegantes usados en la industria de la madera no sirven para la guadua, ya que está es un pasto y no un tipo de madera. El pegante cumple la función de unir las esterillas y se expande para eliminar los espacios que se generan entre cada una de estas, como propiedad adicional ofrece mejoramiento térmico al material.

*Imagen 2. Guadua laminada*



Fuente propia: Elaboración propia

*Tabla 2. Propiedades físicas de la guadua laminada*

Propiedades físicas	Densidad	Higroscopicidad	Contracción	Hinchamiento
Guadua laminada	715Kg/m <sup>3</sup>	Recién cortada: 70%-90%	Dirección radial: 1-7.8%	Dirección perpendicular: 2.5-6%
		Recién secada: 1.5%-12%	Dirección Axial max:0.8%	Dirección axial: Poco
			Dirección tangencial: 5-11.5%	Peso: 50-150%

Fuente: Elaboración propia.

*Tabla 3. Propiedades mecánicas de la guadua laminada*

Propiedades mecánicas	Compresión	Tracción	Corte paralelo a las fibras	Flexión
Guadua laminada	Esfuerzo paralelo a las fibras máx. 48Mpa	Esfuerzo paralelo a las fibras máx. 132.0Mpa	Esfuerzo máx. 9.4 Mpa	Esfuerzo máx. Radial: 74.0 Mpa
	Esfuerzo máx. perpendicular radial: 5.0 Mpa	Esfuerzo perpendicular máx. radial: 1.1 Mpa		Esfuerzo máx. Tangencial: 1.8 Mpa
	Esfuerzo perpendicular máx. tangencial: 6.8 Mpa	Esfuerzo perpendicular máx. Tangencial: 1.8 Mpa		

Fuente: Elaboración propia

### ***Propiedades de aislamiento acústico***

La guadua tiene la propiedad de ser un material poroso, por lo cual este componente morfológico permite ser provecho para actuar como aislamiento acústico, aunque para el mejoramiento de esta propiedad es recomendable reforzarlo con un material que trabaje como aislante acústico, y poder responder correctamente a niveles sonoros mayores.

### ***Comportamiento frente al fuego***

Según la Din 4102 (norma de industria alemana) la guadua es considerada un material poco inflamable, lo cual es causa del alto nivel de ácido salicílico que contiene la corteza siendo esta una sustancia química con un nivel de inflamabilidad ligeramente peligroso, y es además considerado un material retardante al fuego. Aunque se le aplicara un barniz ignífugo que actúa con protección contra el fuego y retarda la propagación del fuego

### **Granulado de madera**

El granulado de madera, proveniente de los residuos de industrias madereras siendo uno de los residuos más abundantes en Bogotá, una menor parte de estos residuos se utiliza para la creación de biomasa, y la mayor parte de este residuo se quema emitiendo emisiones de CO<sub>2</sub>, las cuales son el mayor problema del cambio climático que tenemos actualmente. El granulado de madera será el aserrín y virutas mezcladas entre sí, cabe aclarar que este aserrín es derivado del árbol pino; La función principal del granulado de madera es ocupar los espacios libres que se encuentran con la utilización del granulado de caucho, de esta manera permitir que no haya ningún punto dentro del panel que permita la transmisión de la onda acústica.

*Imagen 3. Granulados de madera*



Fuente: <http://www.xtrachene.fr/images/produits/granulats.png>.

Propiedades físicas	Densidad	Humedad	Contenido de corteza	Hinchamiento
Granulado de madera (aserrín)	300 Kg/m3	200%	1,5%	Dirección perpendicular: 2.5-6%
				Dirección axial: Poco
				Peso: 50-150%

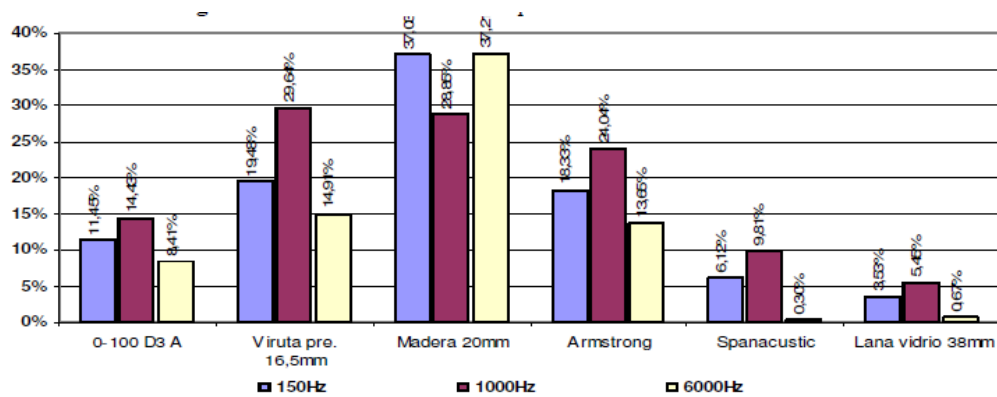
Tabla 4: Propiedades físicas del granulado de madera

Fuente: Ing. Luis Decap, MASISA-Valdivia.

**Propiedades de aislamiento acústico**

El granulado de madera posee una posición intermedia en cuanto al aislamiento acústico que presenta, cabe aclarar que los resultados encontrados se deben a paneles construidos por aserrín y viruta provenientes de árboles como el pino, como se puede observar en la siguiente imagen en la cual se comparan diferentes materiales con su aislamiento acústico.

Gráficas 1. Propiedades de aislamiento acústico del granulado de madera



Fuente: Celano, Jorge Alberto (2008) Paneles termo-acústicos a base de residuos de madera. Universidad Nacional de Misiones.

**Comportamiento contra el fuego**

La madera y sus derivados tiene un gran comportamiento contra el fuego, al principio de la combustión el calor aportado a la madera se emplea en evaporar el agua de la misma produciendo un efecto de secado, por lo tanto la madera es combustible inflamable pro lo que necesita de tratamientos ignífugos. (Martin) pág. 4.

**Granulado de caucho**

El caucho utilizado para la fabricación de las llantas proviene de la corteza del árbol, de forma líquida llamada látex. El látex proviene de árboles como: el Hevea Brasilienses de la familia de Euforbiáceas encontrado en el amazonas.

Para la obtención de látex se lleva un proceso llamado “sangrado” el cual es hacer un corte en forma de Angulo hacia abajo a través de la corteza del árbol este látex se recoge en un recipiente, este contiene el 30 a 36% del hidrocarburo del caucho.

**Proceso de fabricación del neumático:**

El neumático necesita de una cantidad de materias primas como: hidrocarburos, textiles, acero, azufre, para que alcance a tener diferente propiedades mecánicas como lo son: resistencia a la carga, resistencia a la alta presión entre otras, En la siguiente tabla se muestra la composición y utilización de materiales para la fabricación del neumático.

*Tabla 5. Composición de un neumático*

Materiales	Composición en %	
	Automóviles	Camiones
Caucho natural	14	27
Caucho sintético	27	14
Negro de humo	28	28
Acero	14	15
Antioxidante y relleno	17	16

Fuente: Guía para el manejo de llantas usadas, 2006.

- 1- **Formulación del caucho:** lo primero que se hace para la fabricación es determinar cantidad y tipos de caucho que se utilizaran mirando la resistencia a la tracción y al desgaste, finalmente se mezcla cada compuesto a temperaturas entre 160 y 170 c, llegando a obtener laminas pretensadas.
- 2- **Cinturones de textil y acero:** debido a que las llantas deben soportar diferente cargas algunas necesitan de un esfuerzo textil (una lona de alta resistencia) y metálico (trenzado de múltiples cordones de acero).
- 3- **Calandrado:** el caucho proveniente del primer paso tiene que someterse a temperaturas y máquinas de vapor para unirse con las fibras textiles y metálicas formando láminas de caucho-textil, caucho- acero según la necesidad de cada componente.
- 4- **Proceso de extrusión:** el anillo el cual es el que protege he impide que la llanta se deslice se utiliza un caucho más duro y grueso en su proceso de fabricación se lleva al material a presión y temperatura, pasando a darles a los perfiles de la banda de rodamiento.
- 5- **Montaje de la llanta:** es el proceso donde ensamblan cada una de las partes fabricadas como lo son: cajas, cinturones y bandas de rodamiento, este proceso debe ser altamente automatizado.
- 6- **Curado o vulcanización:** es el proceso donde la llanta adquiere su forma, en donde se coloca de 12 a 25 minutos a temperaturas de 300 C, este proceso se interviene con sustancias como lo es el azufre el cual le da características como: resistencia, flexibilidad y degradabilidad.
- 7- **Final:** es donde se debe verificar que la llanta cumpla con las especificaciones requeridas y se lleva a una inspección: visual, balanceo, fuerza e inspección con radiografía.

El consumo de neumáticos en nuestro país genera una gran problemática ambiental, Aunque estos no son considerados como residuo peligroso, el mal manejo genera un gran número de sustancias peligrosas. La descomposición final que se le da a los neumáticos se divide en tres categorías: incineración (rellenos sanitarios), recauche y uso artesanal.

- **la incineración y rellenos sanitarios:** Es la quema de los neumáticos a cielo abierto formando una gran cantidad de CO<sub>2</sub>, además de los botaderos ilegales que generan plagas de mosquitos, riesgo de incendios y daño visual.

- **Recauche:** es la reutilización del neumático, repitiendo su proceso de fabricación y produciendo un gastando mayor de energía, además de la utilizando de materias primas con base de los recursos naturales.
- **Uso artesanal:** es la utilización del neumático para la fabricación de productos como lo son: materas, bebederos para ganado, productos para calzados entre otros.

Tabla 6. Reciclaje de neumáticos en desuso

Disposición final	Porcentaje
Incineración y rellenos sanitarios	71,9
Reencauche	17,2
Uso artesanal	6,2
Regrabado	2,3
Otros usos	2,3

Fuente: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Gestión diferencial de llantas pos-consumo.

En Bogotá desde el año 2009 se inicia con el proceso de reciclaje y reutilización de los neumáticos usados. En la actualidad el sector automotriz deja en la capital 200 llantas usada, las cuales se convierten en más 10,000 toneladas de desechos sólidos, dentro del programa de basura cero se llevó a cabo un proceso de reciclaje con materiales de vidrio, metal papel, pastico entre otros, para los desechos de los neumáticos lo que se hizo fueron campañas y programas fortaleciendo el reciclaje de estos, bajando así el porcentaje de neumáticos que se incineran o son llevados a botaderos ilegales, además de subir el porcentaje de utilización del neumático como materia prima para productos de la construcción,

El reciclaje de neumáticos adquiere un reconocimiento al terminar su vida útil en los automóviles, estos se nombran de la siguiente manera, NFU (neumáticos fuera de uso) o RDLL (residuos de llantas).

Después del proceso de transformación por trituración mecánica se genera un caucho granular, con partículas de 13mm, y ha sido una solución para crear estudios para la utilización como materia prima para materiales de la construcción además de brindar una buena absorción del sonido.

*Tabla 7. Propiedades mecánicas del granulado*

Propiedades mecánicas	Desgaste	Compresión	Ruptura
Granulado del caucho	60% como mínimo	40% como mínimo	1200 psi

Fuente: elaboración propia.

*Tabla 8. Propiedades físicas del granulado de caucho*

Propiedades físicas	Porosidad	Tortuosidad	Influencia	Aislamiento acústico dB
Granulado del caucho	54% Coeficiente entre el volumen del aire.	1.47 parámetros característicos del esqueleto de los materiales absorbentes	presión el volumen del fluido y la aceleración producida	25dB mínimo

Fuente: Rosa María (2003) propiedades del caucho granular. Tesis (doctoral), E.T.S.I industriales (UPM)

### **Marco conceptual**

Teniendo en cuenta el campo en el cual se desarrolla la propuesta de la investigación, se considera necesario tener en cuenta los conceptos que permitirán entender y conceptualizar de una mejor manera el presente trabajo. Por lo tanto para la elaboración del panel de guadua laminada y granulados de madera y caucho reciclado, es considerado como aspecto importante identificar las materias primas para la construcción de este mismo y otros conceptos necesarios, así de tal manera se establecerán los siguientes.

La guadua laminada está compuesta por tableros hechos con capas cruzadas de esterilla de guadua, a las cuales no se les realiza ningún proceso que genera un acabado liso en estas, son unidas entre sí con un pegante expansivo que tiene dentro de sus componentes el poliuretano, el cual permite sellar los espacios existentes entre las esterillas; las láminas tienen como característica un acabado rustico propio del material.

El granulado de madera es básicamente aserrín el cual es un conjunto de partículas que se producen como desperdicio cuando es aserrada la madera.

#### **Granulado de caucho**

El caucho es un producto vegetal procesado que se obtiene de la savia (látex) de varios centenares de especies de árboles y plantas existentes, se le añade ácido acético obteniendo un caucho duro viscoso y pegajoso, la mayor cantidad de plantas que producen el caucho se encuentran en México y Colombia en el amazonas la especie *Hevea brasiliensis*.

#### **Madera**

Es la materia prima que se obtiene del tronco de las ramas y las raíces de los árboles, es la sustancia fibrosa y celulosa que se compone de este mismo. En distintas proporciones contiene, celulosa 50%; lignina 30%; resina, almidón, tanino y azúcares 20%, elementos orgánicos que

están compuesto por carbono, oxígeno, hidrógeno, compuestos simples (fosforo y azufre), y compuestos minerales (sodio, litio, alúmina, cal, entre otros ).

#### Granulado de madera

El granulado de madera es aserrín el cual es el desperdicio del proceso de aserrado de la madera.

#### Acústica

Es una rama de la física que se encarga de estudiar la producción, transmisión, percepción, absorción, reproducción y control del sonido, la cual puede propagarse en la materia ya sea en estado líquido, sólido y gaseoso; no puede propagarse en el vacío. En donde entiéndase por sonido un fenómeno físico que es la vibración mecánica, capaz de estimular o producir una sensación auditiva. El cual es generado por una fuente sonora (ej. tambor, cuerdas vocales), que entra en vibración y luego es transmitida es partículas de aire, para posteriormente transmitirse a nuevas partículas. El sonido se propaga en ondas sonoras, y este está compuesto por:

- Frecuencia: Numero de oscilación por segundo de la presión sonora. Se mide en Hertzios (Hz) o ciclos por segundo (C/S)
- Presión sonora: Fuerza que ejercen las partículas del aire por unidad de superficie
- Periodo: es el tiempo que tarda una oscilación en realizar un ciclo completo. Se mide en segundos.
- La amplitud: es la magnitud de la onda, en donde entre más grande la amplitud más fuerte es el sonido.
- La longitud: es la distancia que recorre la onda. Se mide en metros.
- La velocidad: Velocidad de propagación de las ondas sonoras.

El aislamiento acústico es la reducción de ruido transmitido de un local a otro, los resultados que se obtienen datan del ruido que elimina el cerramiento. Dentro estos se encuentran el aislamiento acústico a ruido aéreo (sonido transmitido en el aire) y el aislamiento acústico a ruido de impacto (sonido propagado a través del material). En contexto con la investigación, se va a profundizar en el aislamiento acústico a ruido aéreo.

El confort acústico es cuando el nivel de ruido generado a partir de actividades, permite ser adecuado para descansar, concentrarse, comunicarse, entre otros, generando de esta manera salud en las personas, cuando se carece de este confort se genera malestar y estrés, dificultad de comunicación, dificultad de convivencia, baja productividad, trastornos en el sueño, entre otros, teniendo una baja calidad de vida, además causa desvalorización en los inmuebles.

### **Marco legal**

Para garantizar el desarrollo en base de la viabilidad normativas existentes, se realizara la propuesta acorde a los requisitos legales y normativos de la actualidad. Por lo tanto la normatividad que se manejara, estará fundamentada en lo que es establecido acerca de los materiales que se van a utilizar en la propuesta.

NORMA TECNICA COLOMBIANA-NTC 6100-Etiquetas ambientales tipo I. sello ambiental colombiano. Criterios ambientales para productos de primero y segundo grado de transformación de guadua angustifolia kunth.

NORMA TECNICA COLOMBIANA-NTC 1646 -Maderas. Madera aserrada para construcción. Dimensiones, clasificación y defectos.

NSR-10 TITULO G.10-Aserrado de madera

ISO 266 -ACUSTICA RRECUENCIAS REQUERIDA

NSR-10 TITULO G.12.12.3.1 -Preparación, fabricación, construcción, montaje y mantenimiento.

## Desarrollo Del Proyecto

### Proceso de producción de paneles de guadua laminada y granulados de madera y caucho

#### Proceso de producción de guadua laminada

1. Se realiza la selección de la guadua, para luego ser cortada. Se recomienda que el corte se realice en menguante y antes de la salida del sol , debido a que durante el día el tallo está lleno de azúcar y minerales
2. La guadua se debe dejar orear entro mínimo 8 y máximo 15 días después del corte, esto con el fin de alcanzar un nivel mayor de secado, para que se absorba el inmunizante correctamente.
3. Para la inmunización de la guadua se puede hacer de dos maneras, la primera es sumergir la guadua en ácido bórico y sales de bórax en un tanque durante aproximadamente 24H. Y la segunda manera es por inyección, en donde se realizan perforaciones debajo de cada nudo, y con una fumigadora de chorro se realizan cuatro aplicaciones en cada una de las perforaciones, de igual manera se inmuniza con ácido bórico y sales de bórax.

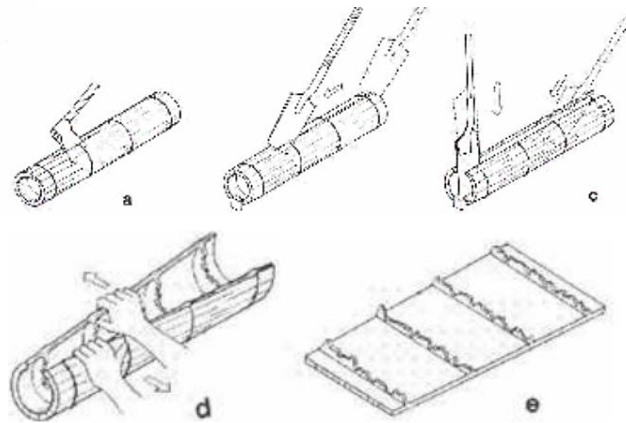
*Imagen 4. Inmunización de la guadua*



Fuente: Elaboración propia.

4. Posteriormente se deja secar la guadua durante tres días, lo cual puede realizarse bajo techo o al aire libre, aunque este último permite efectuar un secado solar la guadua puede ser afectada por insectos.
5. La guadua rolliza de corta en dirección longitudinal con un hacha, y posteriormente con una pala se abre, rompiendo los nudos. Luego se puede abrir la guadua con las manos, se extiende y se camina sobre ella para aplanarla. Luego es transportada a la planta de producción del laminado.

*Imagen 5. Proceso de obtención de la esterilla*



Fuente: Centro de Automatización de Procesos CAP universidad Javeriana, 2007

1. Se realiza el corte de los nudos, con una maquina denudadora.
2. Debido a que bien se sabe los materiales guardan la memoria de su forma original, y la guadua tiende a tomar su forma rolliza, por lo tanto se debe prensar con una máquina que realiza un esfuerzo de un peso 300 toneladas, y sea aplanada sin posibilidad de enrollarse posteriormente.
3. La esterilla es pegada con las capas cruzadas, es decir la primera capa se coloca en sentido longitudinal y la segunda capa en sentido transversal, de esta manera sucesivamente hasta que sea alcanzado el espesor deseado. Para unir las esterillas se le coloca un pegante expansivo el cual permite sellar los espacios libres que

quedan entre las capas, este tiene dentro de sus componentes poliuretano y aserrín de guadua. Luego se quita el exceso de pegante que en los bordes y en la superficie de la lámina.

*Imagen 6. Guadua laminada con exceso de pegante*



Fuente: Elaboración propia.

1. Finalmente se le coloca un acabado a la lámina con un barniz natural el cual contiene cera de abejas, trementina, y aceite de linaza.

## **Proceso de producción del granulado de madera y caucho**

### ***Granulado de caucho***

El caucho será tomado a partir de los neumáticos en Colombia al igual con la madera son llevados a botadores la mayoría ilegales generando problemas de plagas (mosquitos y hongos) produciendo así problemas de salud. Con el granulado de (madera y caucho) se recupera y se reutilizan gran cantidad de neumáticos ya que su composición tiene el 80% de caucho triturado teniendo así una solución para el medio ambiente y a la contaminación visual que se lleva a cabo en la ciudad de Bogotá.

*Imagen 7. Caucho granulado*



Fuente: Elaboración propia.

- 1- Recolección y clasificación de los neumáticos: se hace una separación de acuerdo al estado de la llanta aunque no se hace un gran procedimiento ya que todas las llantas se pueden reciclar
- 2- Limpieza: este procedimiento se hace de acuerdo al estado de la llanta lo que se hace es que se lava la llanta para que esta quede libre de impurezas.
- 3- Cortadora: es la máquina principal para la trituración del neumático y la primera que utilizamos para la trituración, son cuchillos que realizan cortes en los neumáticos dejando sus cortes bastantes gruesos
- 4- Trituración secundaria: es la cual recibe los grandes pedazos de neumático e inicia su proceso de trituración a trozos más pequeños de 300mm a 50mm.
- 5- Granulador: el cual se encarga de reducir el tamaño de la llanta a un más dejándolo a 16mm como mínimo.
- 6- Separación de acero: en esta máquina se remueve el 99% del acero que se encuentran en las llantas.

*Imagen 8. Proceso de transformación de la llanta*



Fuente: <http://www.vivoenitalia.com/linea-de-reciclaje-de-llantas-usadas>.

### ***Granulado de madera***

El granulado de madera, será tomado a partir de los residuos que son generados en el momento del aserrado, mejor conocido en la industria como el aserrín.

- 1- Recolección de la madera: Se hace la recolección del material en las industrias de madera.
- 2- Limpieza y clasificación: Se hace una breve clasificación de materiales libre de puntillas y otros materiales.

### *Unión de los granulados de madera y caucho*

La unión entre la madera y el caucho se llevara a cabo por medio del uso de cauchola, el cual funciona correctamente con los dos materiales, se realiza la mezcla en seco y posteriormente se le aplica el producto anteriormente mencionado.

*Imagen 9. Granulado de madera y caucho*



Fuente: Elaboración propia.

- Granulado: se le aplicara 2 productos:
- Hydrax: retardante a la propagación de la llama.
- Trihidrato en aluminio: actúa como retardante a la llama y supresor de humo.

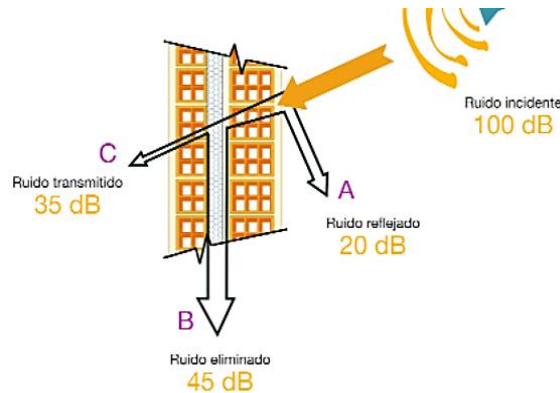
**Parámetros y fundamentos de aislamiento acústico**

**Parámetros y fundamentos de aislamiento acústico para el diseño del panel**

Antes de realizar el diseño del panel en donde se plantearán las medidas dimensionales de este mismo, se deberá trazar los parámetros y fundamentos necesarios, los cuales permitirán tener los conocimientos precisos para cumplir con el aislamiento acústico requerido.

En la propuesta el fundamento es aislar el ruido aéreo por lo tanto el objetivo es limitar el camino de las vibraciones sonoras, mediante el uso de materiales que tenga como propiedad de evitar que la onda sonora se transmita, y ofrecer a los usuarios de las edificaciones un uso normal, sin riesgos que produzcan molestias o enfermedades, como consecuencia de un bajo comportamiento del ruido del edificio.

*Imagen 10. Aislamiento acústico*



Fuente: Grupo Valero aislamientos.

Como se puede observar en la tabla 9, en donde la primera columna infiere sobre el valor cuantitativo de la pérdida de transmisión de ruido de un recinto a otro, en donde entiéndase STC o RW como el índice de reducción del sonido transmitido; luego la segunda columna en donde se realiza la descripción de la fuente emisora que genera el respectivo valor cuantitativo, y la tercera columna el resultado del control de ruido.

*Tabla 9. Grado de transmisión sonora*

Valor STC o RW	Audición de conversaciones	Grado de control de sonido
15-25	Voz normal, de fácil comprensión	Malo
25-35	Voz alta, de fácil comprensión	Regular
35-45	Voz normal, apenas audible e ininteligible	Bueno
45-55	Voz alta apenas audible e ininteligible	Muy bueno
55 o más	Voz alta generalmente inaudible	Excelente

Fuente: Tollewer (2012).

En la tabla 10 se puede observar los estándares máximos que propone Camacol para la permisión de niveles de ruido en dB para cada sector, en este caso teniendo en cuenta el sector B el cual comprende que para las zonas residenciales tiene un máximo de 65 dB en el día, entendiéndose entre el periodo de las 7:01 A.M.-9:00 P.M. y un máximo de 55 dB en la noche, el cual consta del periodo entre las 9:01 P.M.-7:00 A.M.

*Tabla 10. Estándares máximos permisibles de emisión de ruido expresados en decibeles dB(A)*

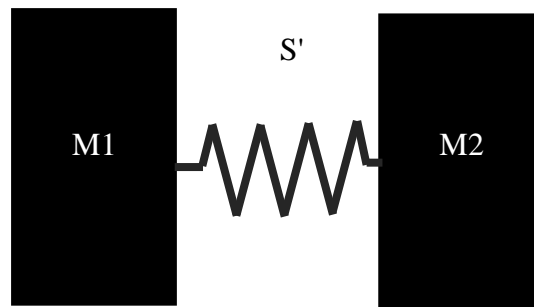
Sector	Subsector	Estándares máximos permisibles de niveles de emisión de ruido en dB (A)	
		día	noche
Sector A Tranquilidad y silencio	Hospitales, bibliotecas, guaderías, sanatorios, hogares geriátricos	55	50
Sector B Tranquilidad y ruido moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	55
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación.		
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre		
Sector C Ruido intermedio restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	75
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	60
	Zonas con usos permitidos de oficina	65	55
	Zonas con usos institucionales		
	Zonas con otros usos relacionados como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales	80	75

Fuente: Camacol, 2016.

Para alcanzar el aislamiento acústico se puede hacer de dos maneras:

1. Pared simple (ley de masa): cuando la onda sonora impacta en la pared, la vibración que es emitida por la onda se transmite al otro recinto. Por lo tanto cuando se habla de una pared simple esta tiene la propiedad de que entre menor es su masa, la vibración será mayor, en consecuencia se transmitirá más ruido; por lo tanto si se desea alcanzar un aislamiento acústico se hace uso de la “ley de masa”, en donde se aumenta la masa para reducir la vibración. Básicamente no es una opción viable, porque el aumento de masa, radica en el aumento del costo.
2. Pared doble: consiste en crear una pared con dos hojas en las partes exteriores, y en el interior una membrana, (material elástico + membrana + material elástico) por lo tanto la onda sonora atravesará la primera hoja, luego al encontrarse con la membrana esta va a intentar recibir la vibración pero la segunda hoja no va a permitir que esta se vea afectada (uno de los materiales usados como membrana es el caucho). Generando en fin último una transformación de la energía sonora. Por lo tanto cuando se unen dos materiales distintos con las propiedades adecuadas, permite diseñar muros de menor espesor dejando de lado la ley de masa, y convirtiéndolo más viable.

*Imagen 11. Material elástico+ membrana +membrana.*



Fuente: Grupo Valero aislamientos

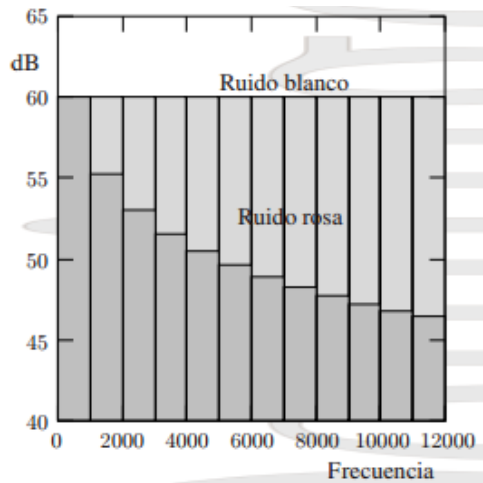
Por lo tanto el sistema tipo sándwich usado en el panel propuesto hace uso de lo planteado en la pared, en donde se combina dos capas de materiales elásticos en este caso la guadua laminada y una membrana en granulados de caucho y madera.

**Parámetros y fundamentos para las mediciones acústicas.**

Para la prueba a realizar, es necesario aclarar que no se ha realizado hasta el momento, pero al crear este método de ensayo se tuvieron en cuenta los requisitos básicos en las mediciones ya previamente planteadas.

1. Entre la fuente de sonido (emisor) y el sonómetro (receptor) no debe existir ningún espacio de aire por donde pueda transmitirse el sonido. Además de los generados por el panel, debido a que es lo que se desea evaluar.
2. La fuente de sonido debe generar un nivel sonoro equivalente mayor de 100 dB.
3. Se debe hacer uso de un Ruido Rosa el cual se caracteriza en descender 3 dB por octava, es decir no tiene un mismo nivel en todas sus frecuencias, pero si un nivel constante en todas las octavas como se puede observar en la gráfica 1.

*Gráficas 2. Ruido rosa*



Fuente: Apuntes de acústica, 2014.

La utilización del ruido rosa es definido por Martin, A. como:

Se utiliza para calibrar equipos que van a producir sonido y así analizar el comportamiento de salas, altavoces, equipos de sonido etc. Al ser una señal patrón conocida, al generarla a través de un altavoz es posible conocer datos sobre el

comportamiento acústico del altavoz, la sala, etc... y equalizar salas, haciendo que todas las bandas se vean al mismo nivel en un micrófono de respuesta plana. (2014, p.10)

4. Lejos de fuentes de ruido, como las que son generadas por el tráfico, fábricas, personas hablando, canto de pájaros, etc., que pueden dificultar la medición y generar resultados incorrectos.
5. Procurar ubicarse en un espacio en donde las mediciones estén a favor del viento, por lo tanto se deberá conocer factores climáticos del lugar en donde se realizara la prueba.
6. Se deberá realizar el análisis del ruido generado por el medio ambiente, en donde se vaya a localizar la medición, lo cual es un factor que afectara en gran medida el resultado final del aislamiento acústico.

Para las mediciones se utilizó como fuente se sonido (emisor) un equipo de referencia Panasonic-Mini Sistema SC-AKX220.

*Tabla 11. Características de la fuente de sonido apra medición*

SISTEMA DE AUDIO	Canales de Salida	2 canales
	PMPO	4950W
	RMS	450W (PN/PS/IPR) <sup>1</sup>
DIMENSIONES, PESO	Unidad Principal (Ancho x Alto x Fondo)	348 x 193 x 251 mm
	Unidad Principal (Ancho x Alto x Fondo)	2.5 kg
	Altavoces Frontales (Ancho x Alto x Fondo)	199 x 333 x 210 mm
	Altavoces Frontales (Ancho x Alto x Fondo)	3.3 kg

Fuente: Panasonic, 2016

Se utilizó como medidor sonoro un sonómetro Extech HD600 clase 2.

*Imagen 12. Sonómetro Extech HD600 clase 2.*



**HD600: Medidor de nivel sonoro con registrador de datos**  
**Almacena hasta 20.000 registros con la marca de hora y fecha real**

**Características:**

- Alcance de 30 a 130 dB con una precisión de 1.4 dB
- Cumple con las normas del ANSI y IEC61672-1 tipo 2
- Capacidad de registro de datos de hasta 20.000 registros a una frecuencia de intervalo que va de 1 a 59 segundos
- Captura hasta 10 lecturas/s cuando se lo conecta a una PC
- Lecturas MÍNIMAS Y MÁXIMAS, registro de datos y apagado automático
- Puerto USB incorporado, carcasa de doble molde con soporte incorporado
- Completo con adaptador CA, software compatible con Windows®, cable USB, cubierta para el viento, trípode, batería de 9 V y estuche rígido

Para conocer todas las especificaciones, descargue la hoja de datos del producto (no disponible para algunos accesorios)



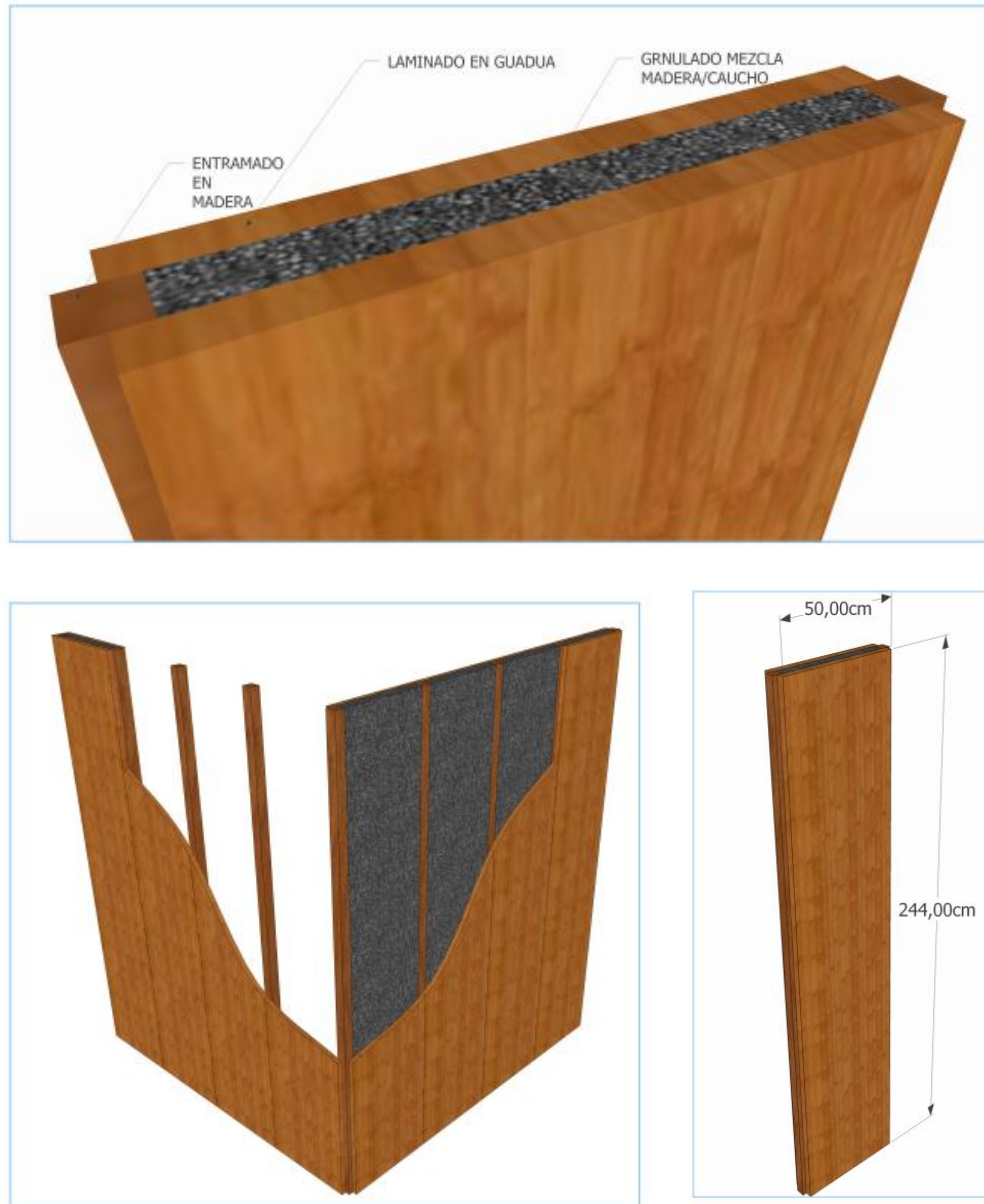
Fuente: Extech instruments.

Es un instrumento que tiene la función de realizar mediciones de los niveles de presión sonora.

### Diseño del panel en digital

El diseño del panel es tipo sándwich es decir en las partes externas estarán compuestas por guadua laminada y en el interior por los granulados de madera y caucho así como se puede observar en la imagen.

*Imagen 13. Diseño del panel*

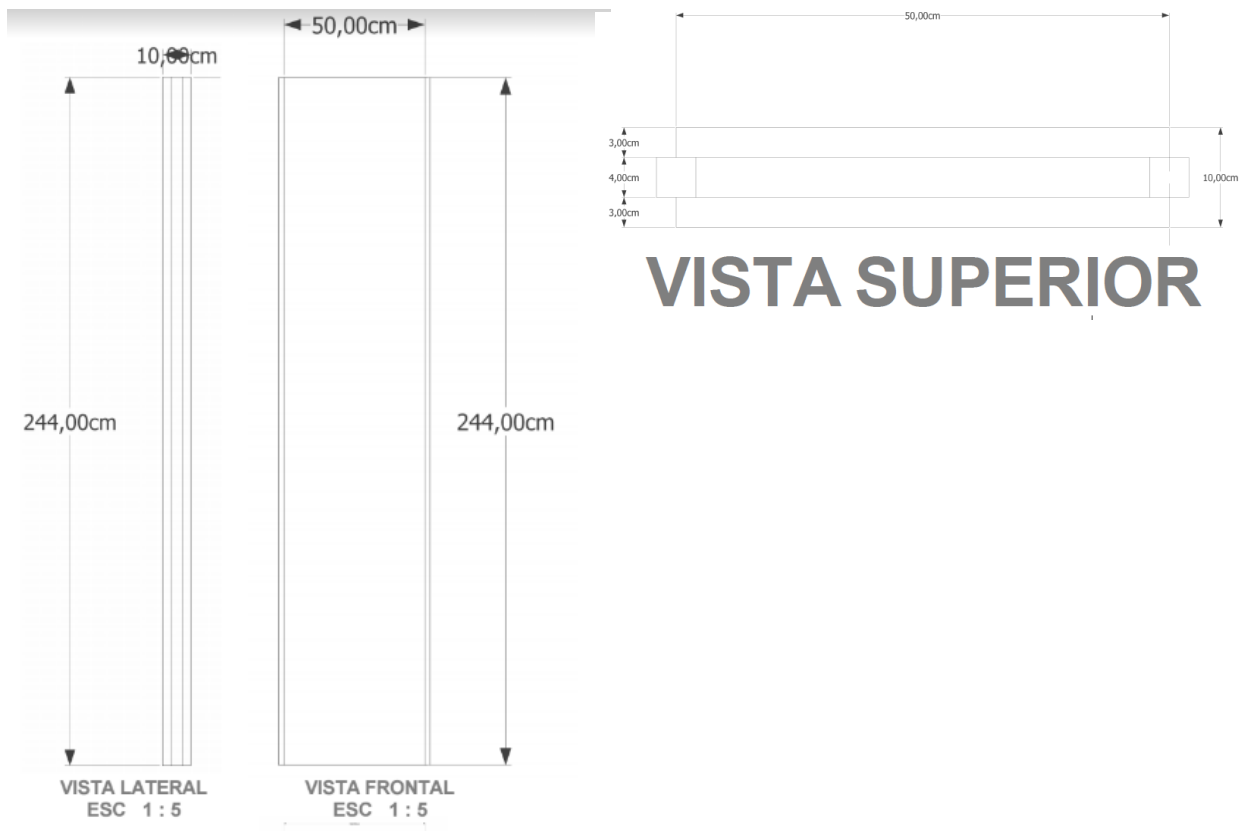


Fuente: Elaboración propia.

**Medidas del panel**

Para las medidas del panel, se plantearan las dimensiones estandarizadas que manejan las placas de fibrocemento y yeso, las cuales son de 1,44 metros de ancho X 2.44 metros de alto. El espesor del granulado de madera y caucho será de 4 cm, el cual fue determinado a partir del requerido para aislar acústicamente. Y el espesor de la guadua laminada de 3 cm, para obtener un espesor final de 10 cm.

*Imagen 14. Medidas del panel*



Fuente: Elaboración propia

### Sistema en constructivo platform frame

Este sistema es la evolución del sistema en ballon frame en donde se maneja una serie de marcos en madera que se apoyan entre si formando una estructura demasiado resistente, el sistema maneja una serie de listones más finos y numerosos, generando una construcción donde se interrumpe la continuidad de los pilares entre las plantas, logrando que el entrepiso divida cada planta pasando por todos los pilares de la primera planta, generando una estructura en diafragma; como antecedentes en su construcción es utilizado para un mínimo de siete pisos donde el ingeniero debe tener una serie de parámetros que se observaran a continuación:

- El constructor debe tener la adecuación de las trayectorias verticales, además de garantizar que cada elemento que conforma la estructura tenga la rigidez y la resistencia necesaria.
- Diseño para el colapso en el momento del sismo, además de generar un sistema contra el fuego.

*Imagen 15. Sistema plataforma frame*



Es un sistema en el cual construir una vivienda aproximadamente de 65m<sup>2</sup> lleva un tiempo de 60 y 80 días, generando un menor costo, además de utilizar y aprovechar más los recursos como lo son los listones de madera formando un menor gasto de energía en los cambios de temperaturas, el peso de la casa llega a pesar solamente el 25% de las demás construcciones húmedas tradicionales.

Como se pudo observar anterior mente es un sistema de rápida construcción a un bajo costo, además de tener una estructura que logra soportar diferentes cargas horizontales como verticales, lo que se propone es que se utilice la misma estructura en esqueleto que maneja platform fraime, adecuando el sistema de paneles de guadua laminada y granulados de madera y caucho, en donde su construcción se dividirá en tres partes:

- la primera la cual consiste colocar la guadua laminada en el marco de madera que nos permite el sistema
- la segunda que es rellenar con granulados de madera y caucho previamente unidos en los espacios que se encuentran después de la colocación de la guadua laminada, generando el mismo espesor que manejan los listones de madera en el sistema.
- la tercera la cual consiste en sellar nuestro muro con una lámina de guadua laminada permitiendo que nos e requiera de un nuevo acabado.

### Desarrollo del prototipo del panel



Mediante el diseño previamente realizado, se inició la elaboración de dos prototipos con el fin de elaborar posteriormente las pruebas de aislamiento acústico, y conocer los resultados obtenidos, evaluando los factores diferenciales realizados. El primer prototipo el cual contiene un 60% caucho y un 40% de madera (aserrín),

y el segundo prototipo con un 40% de madera (aserrín) y un 60% caucho. Para los dos prototipos contruidos se realizó el mismo proceso, el cual a continuación se describirá paso a paso.

1. Se recortaron láminas de guadua de 1 m x 1 m. Posteriormente se recortaron listones de madera de pino con dimensión de 1m x 0.04m, los cuales se ensamblaron a la guadua laminada con tornillos.

*Imagen 16. Guadua laminada 1x1m*



Fuente: Elaboración propia

2. Posteriormente para realizar la mezcla de caucho y madera se midió el volumen de cada panel. Y subsiguientemente fueron realizados los respectivos pesos de cada material, a fin de cumplir con los porcentajes previamente planteados.
3. Se realizó homogéneamente la mezcla en seco de los materiales.

*Imagen 17. Mezcla en seco de los materiales.*



Fuente: Elaboración propia

4. Luego se agregó a la mezcla la cauchola, procedimiento que debió ser realizado con eficiencia debido su rápido proceso de secado.

*Imagen 18. Mezcla de los granulados con cauchola*



Fuente: Elaboración propia.

5. Luego de realizar la mezcla de estos materiales se realizó el vertido en el panel, este debió compactarse lo cual se hizo de manera artesanal, con el fin para eliminar todos los espacios de aire que quedaron entre las partículas.

*Imagen 19. Compactación de los granulados*



Fuente: Elaboración propia.

6. En seguida de realizar la compactación del granulado, finalmente se procedió a colocar la guadua laminada la cual de igual manera se ensambla con tornillos a los listones de madera.

*Imagen 20. Ensamblaje de las láminas de guadua*



Fuente: Elaboración propia

*Imagen 21. Prototipo terminado*



Fuente: Elaboración propia

### **Prueba de aislamiento acústico**

Mediante las consultas realizadas que fueron necesarias para conocer acerca del tema de la acústica y de esta manera poder realizar las pruebas correctamente, y luego de tener finalizados los prototipos se procedió a elaborar los parámetros y el procedimiento que debía llevarse a cabo. Por lo tanto para las pruebas que se realizaron, se creó a partir de los conocimientos de la docente arquitecta York Lays Andrea Niampira Daza un procedimiento el cual no fue antes usado, pero se hizo un serio de paso a paso el cual se encontraban en relación con distintos parámetros que debían tenerse en cuenta.

### **Parámetros y procedimiento para la realización de la prueba**

#### **Primera prueba de aislamiento acústico sellando con tierra los espacios entre el prototipo y la base de madera.**

La primera prueba de aislamiento acústico, tiene como característica un prototipo de 15 cm de espesor, con un granulado de un 60% de caucho y un 40% de madera; Se realizó el sellamiento con tierra entre el prototipo y la base de madera, las mediciones se realizaron de tal manera que el sonómetro se colocó sobre 1.5m de altura sobre el prototipo.

1. Antes de realizar las pruebas de aislamiento acústico del panel, se realizó con el Sonómetro la evaluación de los decibeles generados por el medio ambiente el cual fue realizado en Mochuelo Alto, es una zona rural ubicada en la ciudad de Bogotá en la localidad de Ciudad de Bolívar.
2. Se realizó una excavación en tierra a cielo abierto de dimensiones 1m x 1m x 1m.

*Imagen 22. Proceso de excavación de hoyo.*



Fuente: Elaboración propia

3. Luego se colocó sobre el agujero el panel, a nivel del terreno, el cual fue puesto sobre un marco de madera de pino, usado como base para colocar el elemento que se estaba evaluando. Cada espacio debió sellarse completamente con el fin de no generar espacios que permitieran el paso de las ondas sonoras y lo cual conllevaría un mal resultado. Esto fue planteado de tal manera que se conociera los datos de los decibeles que lograba aislar el panel.

*Imagen 23. Base de madera del hoyo*



Fuente: Elaboración propia.

4. De esta manera con el baffle y el decibelímetro en el interior se colocó un ruido rosa el cual se caracteriza por no tener un mismo nivel en todas sus frecuencias, tiene un sonido similar al que se escucha cuando una radio FM es sintonizado fuera de una estación emisora. Y se realizó en primera medida los datos de

decibeles que recibe el decibelímetro en el interior del agujero, y posteriormente se realizó el mismo procedimiento pero con el sonómetro fuera del agujero.

*Imagen 24. Sonómetro y fuente de sonido*



Fuente: Elaboración propia.

5. Finalmente se inicia la prueba para conocer los decibels con el panel de guadua laminada y granulados (madera-caucho), rellenando las esquinas con tierra para evitar que el sonido saliera por las aberturas, después se colocó el sonómetro a una altura de 1.2M, a un tiempo de 10 min.

*Imagen 25. Colocación del panel*



Fuente: Elaboración propia.

***Segunda prueba de aislamiento acústico sellando con una tira de caucho de 3mm de espesor los espacios entre el prototipo y la base de madera.***

La primera prueba de aislamiento acústico, tiene como característica un prototipo de 10 cm de espesor, con un granulado de un 60% de caucho y un 40% de madera.

Para la segunda prueba realizada se siguió el mismo procedimiento realizado en la primera, en donde se realizó como variación sellar con una tira de caucho, la cual fue colocada en la base de madera, para posteriormente colocar el panel y realizar la medición colocando el sonómetro a una altura de 5 cm del prototipo y midiendo en 3 puntos

*Imagen 26. Sellamiento con banda de caucho*

distintos.



Fuente: Elaboración propia.

## Resultado de las pruebas de aislamiento acústico

### Metodología resultado de la medición de ruido generado por el medio ambiente.

Para calcular el ruido generado por el medio ambiente, se deben aplicar unas formular, las cuales serán explicadas posteriormente.

El Nivel Leq' se obtiene a partir de los registros tomados durante aproximadamente 10 min del ruido ambiental en el lugar de las mediciones y posteriormente realizando la aplicación de la fórmula encontrada.

El nivel Leq' es definido en el texto Elementos de la construcción como:

Nivel Leq' o nivel sonoro continuo equivalente: Es el nivel en dBA de un ruido constante hipotético correspondiente a la misma cantidad de energía acústica que el ruido real considerado, en un punto determinado durante un período de tiempo T. (2005). Su expresión matemática es la siguiente:

$$Leq = 10 \log ((S \sum_{i=1}^n 10^{Li/10})/T) \text{ dBA}$$

En la tabla 12, puede observarse 5 de los 515 valores registrados del ruido ambiental en la primera prueba, es decir se por cada segundo transcurrido se registra un valor, por lo tanto, se puede observar en la tabla los primeros cinco segundos; y la prueba total tuvo un periodo de duración de 00:08:58 horas. En donde la primera columna es la numeración de valor, la segunda columna lo niveles medidos en dBA, la tercera, cuarta y quinta columna con la aplicación de la respectiva formula y por último la columna que data del nivel equivalente. Posteriormente aplicar la formula a cada valor, se sacó un promedio de todos los valores, para calcular el resultado final.

Tabla 12. Valores de alguno registros del ruido

Muestras	Nivel Li (dBA)	Intensidad $10^{Li/10}$	Suma $\sum ti \cdot 10^{Li/10}$	Media Int $(\sum ti \cdot 10^{Li/10})/T$	Nivel Equiv Leq (dBA)
1	38	6310	6310	6310	38,0
2	37,9	6166	12476	6238	38,0
3	36,5	4467	16942	5647	37,5
4	36,6	4571	21513	5378	37,3
5	36	3981	25494	5099	37,1
<b>Total</b>					
<b>LeqA</b>				<b>34.5</b>	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 13 puede observarse los primeros a partir de la segunda prueba los primeros 5 segundos registrados en las mediciones del ruido ambiental y su respectivo valor total el cual fue calculado a partir de 572 valores obtenidos. Es decir se realizó una prueba con un periodo de tiempo de 00:09:53 horas.

Tabla 13. Valores ruido ambiental.

Total	
LeqA=	42.5

Fuente: Elaboración propia.

**Metodología resultado de la medición del aislamiento acústico**

Para calcular los resultados de índice de reducción acústica, se deben tener en cuenta los siguientes datos.

- S =** 1 m2
- A =** 10 m2
- L1 =** Nivel de presión sonora promedio de la energía en el recinto emisor en dB
- L2 =** Nivel de presión sonora promedio de la energía en el recinto receptor en dB  
Teniendo en cuenta la integración del ruido de fondo LeqTA

En la imagen 27, se puede observar la fórmula para realizar el cálculo del índice de reducción acústica, y lo que infiera cada letra.

Imagen 27. Formula índice de reducción del ruido

Muestras	Nivel	Intensidad	Suma	Media Int	Nivel Equiv
i	Li (dBA)	$10^{Li/10}$	$\sum ti \cdot 10^{Li/10}$	$\frac{(\sum ti \cdot 10^{Li/10})}{T}$	Leq (dBA)
1	40.3	10715	10715	10715	40.3
2	39.2	8318	19033	9516	39.8
3	45.6	36308	55341	18447	42.7
4	43.3	21380	76720	19180	42.8
5	40.2	10471	87192	17438	42.4

En la tabla 14 puede observarse el promedio de  $L_1$  y  $L_2$ , valores que permiten calcular posteriormente el índice de reducción acústica, con la fórmula que puede observarse en la imagen 27.

Para mediciones en laboratorio utilizando la presión sonora, el índice de reducción acústica se calcula mediante:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A} \quad (2)$$

donde

$L_1$  es el nivel de presión sonora promedio de la energía en el recinto emisor, en decibelios;

$L_2$  es el nivel de presión sonora promedio de la energía en el recinto receptor, en decibelios;

$S$  es el área de la abertura de ensayo libre en la que se instala el elemento de ensayo, en metros cuadrados;

$A$  es el área de absorción acústica equivalente en el recinto receptor, en metros cuadrados.

*Tabla 14 Resultado  $L_1$  y  $L_2$ .*

<b>L1</b>	<b>L2</b>
<b>103.4</b>	<b>58.9</b>

Fuente: Elaboración propia.

Por ultimo en la tabla 15 se puede observar el R dBA después de aplicada la formula.

<b>L1-L2</b>	<b>10Log</b>	<b>S/A</b>	<b>R dBA</b>
44.5	9.0	0.1	<b>53.5</b>

*Tabla 15. Índice de reducción de ruido*

Fuente: Elaboración propia.

**Resultados del ruido generado por el medio ambiente y el aislamiento acústico de cada panel**

*Tabla 16. Resultados de reducción del ruido*

<b>PRIMERA PRUEBA</b>				
<b>TIPO DE PANEL</b>	<b>LeqA (dB)</b>	<b>L1 (dB)</b>	<b>L2</b>	<b>RdBA</b>
PANEL GUADUA LAMINADA Y GRANULADOS DE MADERA Y CAUCHO	34.5	103.4	58.9	53.5
PANEL DE FIBROCEMENTO Y ACERO GALVANIZADO	34.5	103.3	60.1	52.2

<b>SEGUNDA PRUEBA</b>				
<b>TIPO DE PANEL</b>	<b>LeqA</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>RdBA</b>
PANEL GUADUA LAMINADA Y GRANULADOS DE MADERA Y CAUCHO	42.5	101.0	80.4	29.6
PANEL DE FIBROCEMENTO Y ACERO GALVANIZADO	42.5	101.2	87.2	23.1

Fuente: Elaboración propia.

### **Análisis y discusión de resultados**

#### **Análisis resultado de aislamiento acústico primera prueba**

En los resultados obtenidos, se observó la similitud de los valores, del panel de guadua laminada y granulado de madera en comparación con los paneles de fibrocemento los cuales fueron de 53.5 R dBA y 52.2 R dBA respectivamente, evaluados en base de los 103.3 dB generados por la fuente de sonido. Es decir sin importar los materiales usados y el espesor de cada uno se tuvo un margen de diferencia mínimo.

Con lo anteriormente planteado el respectivo análisis de la similitud de valores entre cada panel radica en la metodología de realización de los sellamientos fueron con tierra, en donde se cometió una serie de errores que intervinieron negativamente.

1. La tierra no es considerada un material que actué positivamente respecto al aislamiento acústico, es decir no cuenta con esta propiedad.
2. No se sellaron herméticamente todos los espacios de aire entre los paneles y la base de madera, lo cual permitió que el ruido en las pruebas sin importar el material fuera transmitido de la misma manera.
3. Cuando se realizó la medida de reducciones de dB con el sonómetro, este fue colocado a una altura de 1.5m, sobre el panel lo cual es incorrecto, esto debía realizarse a tan solo 5 cm de altura, con el fin de que el ruido que alcanza a transmitirse sea correctamente detectado por el sonómetro.
4. Se realizó durante toda la prueba solo una medición del ruido de la fuente del sonido, la cual cabe aclarar incluye el ruido ambiente, lo cual causa variaciones debido al viento, y a las horas del día. Por lo tanto lo correcto consistía en que por cada prueba realizada con los distintos paneles se realizara la respectiva medición del ruido de la fuente de sonido, lo cual afecta en gran manera el resultado final. Lo ideal es procurar no tener márgenes de error.

### **Análisis resultado de aislamiento acústico segunda prueba**

En los resultados obtenidos, se observó en los valores, una amplia diferencia del panel de guadua laminada y granulado de madera y caucho en comparación con los paneles de fibrocemento los cuales fueron de 29.6 R dBA y 23.1R dBA respectivamente, evaluados en base de los 101.0 dB generados por la fuente de sonido. En donde se vio positivamente la diferencia planteada entre los paneles, observándolo bajo la variación de los materiales que los componen.

Con lo anteriormente planteado el respectivo análisis de la diferencia de valores entre cada panel radica en la metodología de realización de los sellamientos fueron con una banda de caucho, en donde además se tuvo en cuenta los errores cometidos en la primera prueba para ser replanteados; aunque también se obtuvieron factores que pudieron influir negativamente.

1. El caucho cuenta con la propiedad de ser un aislante acústico, por lo tanto su uso permitiría resultados más veraces.
2. Aunque el sellamiento con el caucho, implicó ser más hermético, aun así durante la prueba con el sonómetro se lo lograron detectar puntos en donde habían espacios aire, por donde era transmitido con mayor facilidad el ruido.
3. Cuando se realizó la medida de reducciones de dB con el sonómetro, este fue colocado a una altura de 5 cm, sobre el panel lo cual es correcto, debido a que esto permitió, que el ruido que alcanzaba a transmitirse fuera correctamente detectado por el sonómetro.
4. Por cada prueba se realizó con los distintos paneles la respectiva medición del ruido de la fuente de sonido, lo cual afecta en gran manera el resultado final. Lo ideal es procurar no tener márgenes de error.

**Análisis de costos y presupuesto***Tabla 17. Costos de sistema de fibrocemento y acero galvanizado*

VALOR DE 1M2 DE SCLS				
DESCRIPCION	UND	CANTIDAD EN M2	V. UNITARIO	V. PARCIAL
ETERBOARD 8MM 1.22X2.44 M	UND	0,67	43,941	29,440
PARAL BASE 9 (88,9MM) CAL 24 3 1/2" X 1 5/8" X 1/4"	ML	2,35	5,966	14,020
CANAL BASE 9 (92,0MM) CAL 24 3 5/8" X 1 1/4"	ML	0,33	4,59	1,542
CLAVOS DE FIJACION A POLVORA TIPO SDM 3/4"	UND	0,84	0,62	0,521
TORNILLO CABEZA DE LENTEJA PUNTA AGUDA N8X1"	UND	0,7325	0,37	0,271
ROLLO DE CINTA FV X 90 M	ROLLO	0,08	6,5	0,520
CUÑETE MASILLA ETERGLASS HF	CÑTE	0,168	142,5	23,940
CUÑETE PINTURA COLORCEL INTERIORES	CÑTE	0,168	157,543	26,467
LIJA DE AGUA 150 SUPER	UND	1,68	0,875	1,470
TOTAL				98,192

### Conclusión y recomendaciones

El proyecto realizado contribuyo de manera muy importante para identificar y posteriormente resaltar los factores a tener en cuenta para llevar a cabo un producto que responda a las necesidades de un buen aislamiento acústico.

Dentro de los puntos que adquirieron más importancia en un proyecto de esta naturaleza fue detectar la necesidades de confort acústica requerida en una edificación con el fin de ofrecer a un usuario calidad de vida , posteriormente basarse en una justificación clara y concisa del porque innovar con materiales que ofrezcan esta característica, con el fin de tener como objetivo buscar su dinamización en el sector de la construcción en cuanto a costos y ampliación de la importancia que debe tener este factor del confort acústico, el cual no ha sido estudiado en Colombia, por consiguiente no se tiene en cuenta.

. Luego de esto la elaboración de prototipos toma su importancia, para conocer la dificultad de su proceso de construcción y los costos que este genera, de tal manera estudiar y observar las propiedades permiten hacer de esta actividad una parte esencial en la metodología de investigación, llevando a verificar de manera práctica todo lo anteriormente planteado en la teoría.

Las pruebas de aislamiento acústico las cuales fueron formuladas de manera experimental pero en base de parámetros técnicos, permitieron plantear varias conclusiones, las cuales van direccionadas a los valores resultantes. Como se pudo observar los resultados se obtuvieron cuantitativamente con un alto grado de diferencia, en donde la primera prueba permite identificar como actúa la ley de masa en la acústica, obteniendo mayor reducción de ruido, pero muy poco diferencia con el panel de menor espesor. Posteriormente la segunda prueba en donde se permitió corregir los errores cometidos en la primera, y verificando su veracidad en resultados más concisos y lógicos. Aun asa planteado esto, no es posible deducir el valor de reducción acústica del panel, debido a que como bien se sabe al elaborar algo experimental es necesario realizar un mismo procedimiento hasta llegar a resultados más verdaderos. Lo ideal es continuar investigando en cuestión de las mediciones realizadas, ampliando la obtención de valores en diferentes variables y evaluándolos.

### Referencias bibliográficas

Cita textual. Ruiz, S. y Muñoz, M. (2008). *Modelo preliminar de evaluación de los sistemas de construcción industrializada para vivienda de estratos dos y tres, con el fin de ser adaptados al contexto colombiano*. Bogotá: Universidad La Salle.

Cita textual. Construdata (2013)

Eternit. (2007). Sistema de construcción en seco [Imagen 1]. Recuperado de: eterboard manual técnico.

Granulados de madera. [Imagen 3]. Recuperado de:  
<http://www.xtrachene.fr/images/produits/granulats.png>.

Ing. Luis Decap, MASISA-Valdivia.

Celano, Jorge Alberto (2008) Paneles termo-acústicos a base de residuos de madera. Universidad Nacional de Misiones. Propiedades de aislamiento acústico del granulado de madera [Grafica 1].

*Guía para el manejo de llantas usadas, (2006)*. Composición de un neumático [Tabla 5]

Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Gestión diferencial de llantas pos-consumo. Reciclaje de neumáticos en desuso [Tabla 6]

Rosa María (2003) propiedades del caucho granular. Tesis (doctoral), E.T.S.I industriales(UPM),. Propiedades físicas del granulado de caucho [Tabla 18]

Centro de Automatización de Procesos CAP universidad Javeriana, 2007 5 Proceso de obtención de la esterilla [Imagen 5]

Proceso de Transformación de la llanta [Imagen 8].Recuperado de:

<http://www.vivoenitalia.com/linea-de-reciclaje-de-llantas-usadas>

Grupo Valero aislamientos Aislamiento acústico [Imagen 28]

Tollewer (2012) Grado de transmisión sonora [Tabla 19]

Apuntes de acústica, 2014. Ruido rosa [Gráficas 3]