

PROPUESTA PARA EL USO DE CASETÓN CONSTRUIDO A PARTIR DE UNA
MEZCLA DE POLIURETANO Y DESECHOS DE PVC (MATERIAL NO
BIODEGRADABLE). COMO ALTERNATIVA DE CONSTRUCCIÓN PARA EL
SISTEMA ALIGERANTE DE PLACAS

CRISTHIAN FERNEY PAREDES CASTRO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA

2016

PROPUESTA PARA EL USO DE CASETÓN CONSTRUIDO A PARTIR DE UNA
MEZCLA DE POLIURETANO Y DESECHOS DE PVC (MATERIAL NO
BIODEGRADABLE). COMO ALTERNATIVA DE CONSTRUCCIÓN PARA EL
SISTEMA ALIGERANTE DE PLACAS

CRISTHIAN FERNEY PAREDES CASTRO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Civil

Director

LUIS ALBERTO CAPACHO SILVA

Ingeniero Civil, MS.c

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA

2016

DEDICATORIA

Primero agradecerle a Dios por darme la oportunidad, las fuerzas y la sabiduría para iniciar y hoy terminar este gran peregrinaje a lo largo de estos años tras esta meta.

No serían suficientes las palabras para Agradecerle de todo corazón a la gestora material de este sueño, mi abuela MARÍA SUNILDA MENDIVELSO GUAJE, a quien con su esfuerzo, su dedicación, a quien con sus manos enredo lana (como ella dice.) y sobre todo con sus oraciones me acompañó me impulso y me puso a soñar, sin usted querida abuela no hubiera sido posible alcanzar esta gran meta, para ti abuela es este título.

Agradezco a mi madre Amanda Castro, quien a la distancia me apoyo, quien con sacrificio me educó e hizo de mí la persona que hoy soy.

Agradezco y dedico este título a mi Tía Marcela Sandoval, quien con su apoyo, sus consejos y alcahuetería, siempre estuvo para mí, a quien con su ayuda material y económica apoyo este sueño desde su comienzo.

Agradezco a mi esposa y el resto de mis familiares que siempre estuvieron atentos a el desarrollo de este sueño.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento especial al ingeniero Luis Alberto Capacho Silva, director y asesor, por su ayuda y colaboración para el desarrollo de este estudio. A Jairo y Jaime laboratoristas de Universidad industrial de Santander.

A Henry Sánchez y Yebraíl Botello laboratoristas de la escuela de física de la universidad industrial de Santander quienes con su ayuda se pudo realizar el ensayo de impedancia.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. OBJETIVOS	19
1.1. OBJETIVO GENERAL	19
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
2. DISEÑO DE MEZCLA.	20
2.1. CARACTERÍSTICAS DEL POLIURETANO	20
2.2. CARACTERÍSTICAS POLICLORURO DE VINILO PVC	23
3. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE MEZCLA A EVALUAR.	23
3.1. TRITURADO PVC.	23
3.2. ESPUMA DE POLIURETANO SIN REFUERZO.	25
3.3. PERDIDAS.	28
4. CARACTERIZACIÓN ESPUMA DE POLIURETANO CON REFUERZO DE PVC TRITURADO.	29
5. ENSAYOS	32
5.1. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.	32
5.2. ENSAYO DE IMPEDANCIA ACÚSTICA	33
6. RESULTADOS	38
6.1. RESULTADOS ENSAYO DE COMPRESIÓN E IMPEDANCIA ACÚSTICA.	38
6.2. EFICIENCIA TÉRMICA.	42
7. CUADRO COMPARATIVO.	45
8. ANALISIS DE PRECIOS	45

Opción 1:	45
Opción 2:	45
9. FACTIBILIDAD DE FABRICAR CASETONES DE POLIURETANO CON MATERIAL DE PVC TRITURADO.	47
10. CONCLUSIONES	54
11. RECOMENDACIONES	56
CITAS	57
BIBLIOGRAFIA	58
ANEXOS	59

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Grafica 1. Tamizado material triturado PVC.	25
Grafica 2. Grafica cantidad de poliuretano vs volumen obtenido.....	27
Grafica 3. Grafica esfuerzo deformación mezcla con y sin refuerzo de PVC	39
Grafica 4. Resumen Máxima Carga axial soportada antes de falla.	39
Grafica 5. Comportamiento del volumen vs cantidad de mezcla usada.	41

LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1: Componentes A y B Para la obtención de espuma de poliuretano.	21
Imagen 2. Perdidas de poliuretano.	28
Imagen 3. Material obtenido de la mezcla de 100 gr. PVC y 20 gr. De Poliuretano.	31
Imagen 4. Material obtenido de la mezcla de 100 gr. PVC y 20 gr. De Poliuretano.	31
Imagen 5. Posible falla de la mezcla 90gr de PVC y 10 gr. De poliuretano	32
Imagen 6. Tubo de Kundt.	34
Imagen 7. Molde de relación 3.3 de mezcla.	42
Imagen 8. Molde con perforación en su interior.	43
Imagen 9. Pegado de las dos partes de mezcla relación 3.3	43
Imagen 10. Horno a temperatura 50°C	44
Imagen 11. Temperatura del agua al interior del molde después de su exposición al calor por 1:40 min.	44
Imagen 12. Deformación en paredes laterales del casetón.	49
Imagen 13. Mal dimensionamiento de Viguetas.	50
Imagen 14. Ruptura de casetón	50
Imagen 15. Casetón Tradicional de madera podrido.	51

Imagen 16. Basura producida por el desmonte del Casetón de madera	51
Imagen 17. Viga con casetones de poliuretano y PVC triturado.	52
Imagen 18. Desencofrado de casetón	52
Imagen 19. Resultado de usar casetón de poliuretano.	53

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Cantidades a mezclar de poliuretano	21
Tabla 2. Cantidad de Poliuretano en gramos vs. El volumen obtenido de espuma de poliuretano [cm ³]	26
Tabla 3. Relación mezcla de poliuretano y PVC triturado.	30
Tabla 4. Máxima carga axial soportada antes de falla.	38
Tabla 5. Volumen obtenido mezcla relación 3.3.	40
Tabla 6. Resultados de ensayo de impedancia acústica.	41

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1 Esquema Tubo Kundt.	34
Ilustración 2. Esquema onda dentro del tubo de Kundt	36
Ilustración 3. Opción 1 casetón macizo.	46
Ilustración 4. Opción 2 casetón aligerado.	46

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A Tabla informativa probetas sin corte	59
Anexo B Resultados ensayo de impedancia	60

RESUMEN

TITULO: PROPUESTA PARA EL USO DE CASETÓN CONSTRUIDO A PARTIR DE UNA MEZCLA DE POLIURETANO Y DESECHOS DE PVC (MATERIAL NO BIODEGRADABLE). COMO ALTERNATIVA DE CONSTRUCCIÓN PARA EL SISTEMA ALIGERANTE DE PLACAS*

AUTOR: CRISTHIAN FERNEY PAREDES CASTRO**

PALABRAS CLAVE: Casetón, Poliuretano, Poli cloruro de vinilo, Impedancia, Resistencia, Absorción sonido, reciclaje.

DESCRIPCION:

En este proyecto se plantea la opción de una nueva forma de realizar casetones; basados en una mezcla de poliuretano y policloruro de vinilo material no biodegradable, poco reciclable y de una alta producción en la industria de la construcción, común mente llamado PVC. Se realiza su caracterización físico-mecánica para nueve (9) relaciones de mezclas diferentes, se determinan las características de absorción del sonido del material por medio de coeficientes de absorción acústica (α), e índices de reducción de ruido (NRC), a partir del comportamiento del material respecto a los ensayos realizados, se analiza su rendimiento tanto técnico como económico, además se presenta la comparación de un casetón de la mezcla de poliuretano y PVC vs. Un casetón tradicional de madera recubierto por lona.

El material que se usa en mayor cantidad en la fabricación de los casetones es el policloruro de vinilo, dando así una pauta para la contribuir al impacto ambiental negativo que causa este material en el medio ambiente.

Con la utilización de este tipo de casetones se reducen en un alto porcentaje los desperdicios de concreto debido a las deformaciones y rupturas de los casetones tradicionales, las deformaciones y el mal dimensionamiento en los elementos estructurales diseñados desaparece, dando así un mejor rendimiento a la obra y un mayor nivel de seguridad.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Luis Alberto Capacho Silva.

ABSTRACT

TITLE: PROPUESTA PARA EL USO DE CASETÓN CONSTRUIDO A PARTIR DE UNA MEZCLA DE POLIURETANO Y DESECHOS DE PVC (MATERIAL NO BIODEGRADABLE). COMO ALTERNATIVA DE CONSTRUCCIÓN PARA EL SISTEMA ALIGERANTE DE PLACAS*

AUTHOR: CRISTHIAN FERNEY PAREDES CASTRO **

KEY WORDS: Coffers, polyurethane, polyvinyl chloride PVC, impedance test, resistance, sound absorption, recycling, compression endurance test.

DESCRIPTION:

This project proposes a new way of making coffers; based on a mixture of polyurethane and polyvinyl chloride a non-biodegradable material, slightly recyclable and highly produced in construction industry; it is commonly known as PVC. We made its physical-mechanical characterization for nine (9) different mixtures ratios; we then determined the sound absorption characteristics of the material through acoustic absorption coefficients (α), as well as its noise reduction rate (NRC), from the behavior of the material regarding the tests done, we analyzed its performance technically and economically, besides we show the comparison of a coffer from the polyurethane and PVC mix vs. a traditional wood coffer covered by sailcloth.

The material most widely used in the production of the coffers is polyvinyl chloride, which helps the negative environmental impact this material has in the environment.

Using this variety of coffers can be reduced in a high percentage the wasting of concrete due to deformations and breaches in traditional coffers. Deformities and poor sizing in structural designed elements disappears, providing a better performance to the construction and a high security level.

* Degree Work

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Luis Alberto Capacho Silva.

INTRODUCCIÓN

En el área de la construcción existe la necesidad de contar con sistemas constructivos más eficientes y económicos, lo que demanda nuevos materiales y conceptos diferentes en el diseño. Por ello, con esta tesis se pretende dar a conocer una nueva mezcla que podrá ser usada como casetón; para el aligeramiento óptimo y eficiente de placas de entre piso, dando a conocer sus ventajas y desventajas, comparando su rendimiento con algunos casetones que en la actualidad ofrece el mercado.

El presente estudio se enfocará en el sistema de construcción de placas de entrepiso aligeradas en una o dos direcciones, por lo cual proponemos reemplazar el casetón tradicional hecho de madera y lona, por un casetón formado por una mezcla de poliuretano y poli cloruro de vinilo (PVC). Casetón que le aporta al sistema de entrepiso propiedades de aislante térmico y acústico.

Dadas sus características como; la ligereza, la versatilidad, la baja conductividad térmica, la resistencia, la baja absorción de agua, su facilidad de manejo, se propone usar el poliuretano como material ligante, como elemento aligerante de las losas de entre piso muy útil.

Por otro lado se hace énfasis en que uno de los materiales de mayor demanda es el policloruro de vinilo (PVC), debido a la facilidad que tiene este material para ser combinado con una multitud de aditivos dando como resultado un producto adecuado para la fabricación de una gran variedad de objetos industriales, este material es utilizado como por ejemplo en la fabricación de redes de acueductos, en redes sanitarias domésticas, también como recubrimiento para las redes eléctricas domésticas e industriales entre otros. Teniendo en cuenta que el crecimiento de los desechos de PVC es directamente proporcional al crecimiento de la industria de la construcción y en Colombia esta va en aumento a tal punto que se afirma que; “los materiales plásticos han superado cinco veces el consumo del cobre y aluminio y es similar al consumo del vidrio, tres veces mayor que la del caucho, la mitad del

consumo de la madera y aproximadamente la novena parte del consumo del acero.”[1].

Debido a esta problemática surge la necesidad de desarrollar un producto basado en el reciclaje de este material, que permita, en lugar de tener una gran cantidad de desperdicio lograr tener una fuente de inversión.

Dado que el reciclaje de material plástico ha tomado una gran importancia en los últimos años en el presente estudio se toman como pilares fundamentales las dos características definidas anteriormente, el crecimiento de las construcciones y la alta producción de PVC, por lo tanto se estudia la factibilidad de la fabricación de un prototipo de casetón que satisfaga las necesidades de las obras civiles además aporte al medio ambiente al reutilizar el policloruro de vinilo PVC.

El prototipo de casetón que se presenta es una mezcla entre espuma de poliuretano expandido que funciona como material ligante y policloruro de vinilo triturado que aporta resistencia.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar si el casetón fabricado a partir de una mezcla de poliuretano con desechos de materiales no biodegradables como el PVC (policloruro de vinilo), se puede utilizar como aligerante placas de concreto reforzado.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- × Determinar la resistencia y deformación del casetón construido con una mezcla de poliuretano con desechos de materiales no biodegradables.

- × Determinar si la fabricación de casetones a partir de la mezcla de poliuretano y materiales no biodegradables otorga rendimientos (económicos y de tiempo) considerables a comparación de placas aligeradas con casetones de madera.

- × Realizar cuadro comparativo de ventajas y desventajas del casetón de madera tradicional vs. El casetón planteado en el presente proyecto.

- × Determinar si la mezcla propuesta de poliuretano y desechos de PVC le otorga al sistema de aligeramiento de placa, propiedades aislantes de sonido y calor.

2. DISEÑO DE MEZCLA.

Los materiales usados en la investigación son: el poliuretano y el policloruro de vinilo (PVC), a continuación se detallan sus características.

2.1. CARACTERÍSTICAS DEL POLIURETANO

Su reacción se da por la mezcla de un polioliol y un isocianato, en la presente investigación el polioliol tendrá nombre de componente A y el isocianato componente B, siendo la espuma de poliuretano el resultado de la mezcla de los componentes A+B (ver imagen 1). El poliuretano es un químico de fácil obtención en el mercado.

Para la obtención de poliuretano se vertió una cantidad determinada de compuesto A en un vaso de vidrio y a este se le adiciono una cantidad determinada de compuesto B. Para permitir el mesclado se usó un agitador manual durante 1 minuto aproximadamente. Una vez se alcanzó una mezcla homogénea se procedió a realizar el vaciado en su respectivo molde.

Con el fin de conocer y poder determinar el comportamiento de la espuma de poliuretano con respecto a la cantidad en gramos de poliuretano usado se realizaron pruebas preliminares, que consistieron en la mezcla de diferentes cantidades de los compuestos A y B (cantidades relacionadas en la tabla 1).

Dando como resultado que para la obtención de espuma de poliuretano rígida su mezcla debe hacerse en cantidades iguales, con lo cual se obtiene una espuma de poliuretano rígida y de forma bien definida, en un tiempo mínimo de mezclado y secado.

Si en dado el caso que poliuretano no se mesclara en cantidades iguales los resultados no serían los más favorables y óptimos para esta investigación, los resultados de mezclar los componentes A y B en cantidades diferentes se representan en la tabla 2. La imagen 2, es un ejemplo visual de la espuma de poliuretano obtenida al mezclar los componentes A y B en cantidades diferentes.

Imagen 1: Componentes A y B Para la obtención de espuma de poliuretano.



Tabla 1. Cantidades a mezclar de poliuretano

No. De Probeta	Cantidades en Gramos	
	componente A	Componente B
1	10	90
2	20	80
3	30	70
4	40	60
5	50	50
6	60	40
7	70	30
8	80	20
9	90	10

Tabla 2. Resultados de mezclar los componentes A y B en cantidades diferentes.

Probeta	Tiempo de Mesclado [min].	Dureza	Forma	Tiempo de secado [min]
1	No Se Presenta Reacción			
2	No Se Presenta Reacción			
3	1.2	mala	No definida	6
4	1.2	Regular	Poco definida	6
5	1	excelente	Bien definida	4
6	1.2	Regular	Poco definida	6
7	1.3	Flexible	Irregular	6
8	No Se Presenta Reacción			
9	No Se Presenta Reacción			

Imagen 2: Espuma de poliuretano resultado de mezclar Cantidades diferentes de compuestos A y B.



2.2. CARACTERÍSTICAS POLICLORURO DE VINILO PVC

El PVC es un material termoplástico, resistente; fabricado por polimerización del cloruro de vinilo. Físicamente todas las resinas de PVC tienen el aspecto de un polvillo blanco y muy fino. No obstante lo que se conoce como PVC es un artículo terminado, no es el polímero puro. Las resinas de PVC deben mezclarse con diversos aditivos para convertirse en lo que se denomina compuesto de PVC, material que de esta forma incorpora todas las propiedades requeridas para poder ser transformado en productos útiles.[3]

La recolección de desechos de PVC, fueron obtenidos de una construcción ubicada sobre la carrera 27 con calle 34 de la ciudad de Bucaramanga donde se encontraban haciendo trabajos de remodelación en una parte pequeña de las instalaciones, siendo este un conjunto residencial se logró recoger un total de 52 kg, de material de tubos PVC de instalaciones eléctricas y sanitarias.

Posteriormente este material fue trasladado a las instalaciones de la comercializadora MAPREA S.A.S. donde fue triturado todos los costos de traslado y triturado se encuentran relacionados en el análisis de precios unitarios.

3. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE MEZCLA A EVALUAR.

3.1. TRITURADO PVC.

Con el objetivo de saber con qué tamaño de partícula se van a desarrollar las muestras, el paso siguiente fue el tamizado de este material, que se realizó en las instalaciones del laboratorio Álvaro Beltrán pinzón de la Universidad Industrial De Santander, sabiendo que la granulometría se define como la distribución de tamaños de partículas de una muestra representativa del material, esta granulometría se

determina haciendo pasar una muestra por una serie de tamices ordenados por abertura, de mayor a menor.

Los tamices son básicamente unas mallas de aberturas cuadradas estandarizadas por la norma colombiana # 32, la serie de tamices usados en este estudio fue: #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200. Tamices usados para agregados finos. La operación de tamizado se realizó basados en la norma colombiana NTC # 77, el manejo de los tamices se efectuó mediante el empleo de la maquina adecuada para esta acción.

Siguiendo las respectivas recomendaciones de la NTC # 77, se toma el material retenido en cada tamiz, se pesa y cada valor se lista en una tabla, estos valores se expresan en porcentaje % (retenido) del total de la muestra.

Los resultados obtenidos para el tamizado según la descripción mencionada anteriormente, los resultados del tamizado se presentan numéricamente (ver tabla 3) y gráficamente (ver grafica 1).

El peso total de material seco tamizado es de 42.60 kg.

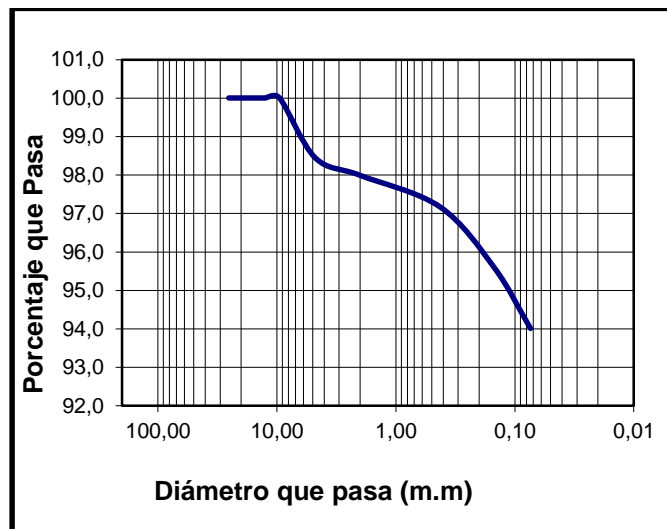
Con los resultados obtenidos del tamizado se pudo deducir que lo más viable era usar el material pasa No. 4 y retenido en tamiz No. 8, debido a que los otros tamices dejan pasar material muy fino y las cantidades obtenidas son muy pequeñas.

En el desarrollo del presente estudio se trabajó con el material retenido en el tamiz # 8, dado que fue el material del cual se obtuvo mayor cantidad.

Tabla 3. Cantidad de material PVC retenido

Tamiz		Peso Retenido Kg.	% Retenido	% que pasa
No.	m.m			
4	4.75	11.3	26.53	73.47
8	2.36	23.2	54.46	19.01
16	1.18	2.8	6.57	12.44
50	0.30	2.1	4.93	7.51
100	0.150	1.1	2.58	4.93
200	0.075	1.2	2.82	4.69
fondo		0.9	2.11	2.82

Grafica 1. Tamizado material triturado PVC.



3.2. ESPUMA DE POLIURETANO SIN REFUERZO.

Con el objetivo de conocer y poder cuantificar el crecimiento de la espuma de poliuretano se realizaron 10 probetas usando espuma de poliuretano sin refuerzo, se listaron los datos obtenidos en laboratorio (ver tabla 4), con los que se busca describir la pauta observada en la nube de puntos obtenida (ver grafica 2), mediante una función matemática simple, a primera vista la línea recta podría ser un buen punto de partida. [4]

Dado que la línea recta posee una formula simple:

$$Y_i = B_0 + B_1 X_1 \tag{1}$$

Para ajustar una función simple que se asemeje al crecimiento de la espuma de poliuretano, en el presente estudio se plantea una recta que haga mínima la suma de los cuadrados de las distancias verticales entre cada punto y la recta. Esto significa que de todas las rectas posibles existe una y solo una que consigue que las

Distancias verticales entre cada punto y la recta sean mínimas (ver grafica 2).

Tomando como partida que para el desarrollo de esta investigación mezclamos los compuestos A y B en cantidades iguales, este análisis se hace partiendo de la fabricación de 10 muestras de esta espuma usando cantidades diferentes de poliuretano (ver tabla 4), cada muestra es medida y pesada para obtener su respectivo volumen, el molde usado es un molde cuadrado, cuyas dimensiones son las siguientes:

Base = 14 cm * 14 cm y una altura de 33 cm.

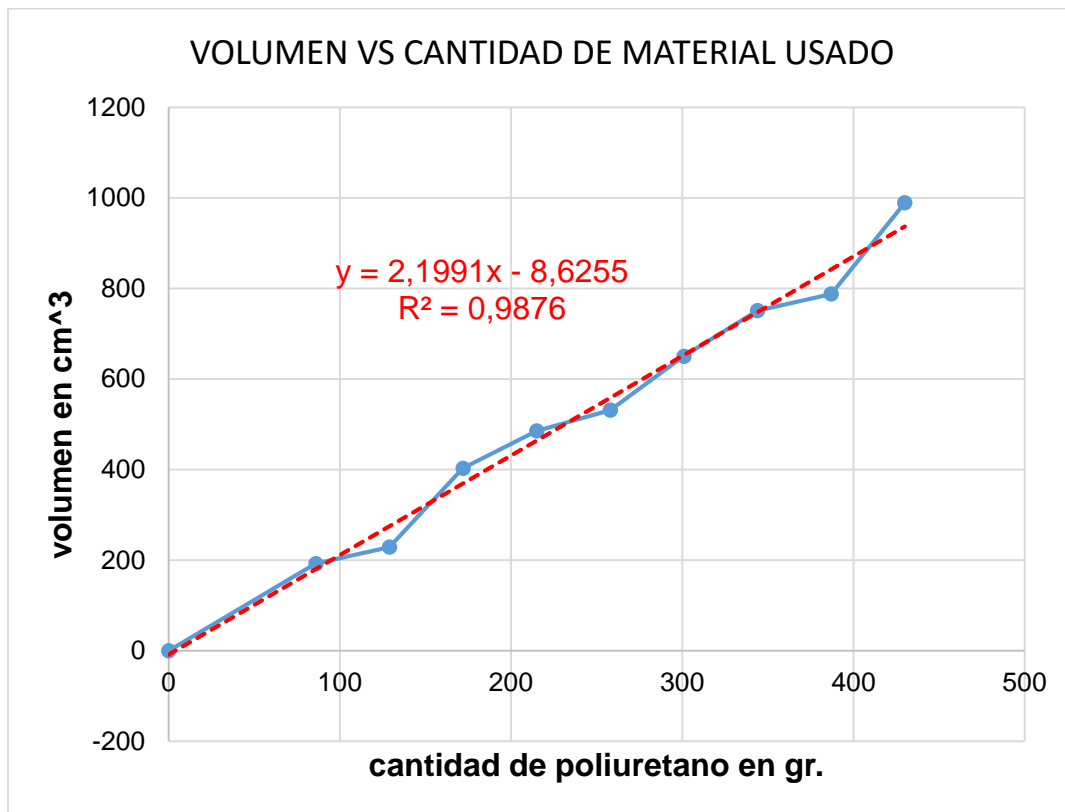
Es de aclarar que las cantidades de poliuretano usado y listadas en la tabla 4, es la suma de los dos componentes.

Los resultados obtenidos fueron:

Tabla 2. Cantidad de Poliuretano en gramos vs. El volumen obtenido de espuma de poliuretano [cm³.]

Poliuretano gr.	Volumen Obtenido cm³
0	0
20	323.4
30	627.2
40	867.3
50	1318.1
60	1563.1
70	1842.4
80	2009
90	2391.2

Grafica 2. Grafica cantidad de poliuretano vs volumen obtenido.



Coeficiente de correlación R:

$$R^2 = 0.9893$$

3.3. PERDIDAS.

Se calcula un valor preliminar de pérdidas de alrededor de 8 gr. Aproximadamente dado que la mezcla de los componentes A y B se realiza en vaso de plástico en el cual queda adherido una cantidad de mezcla (ver imagen 3).

Este valor de pérdidas fue calculado tomando el peso del recipiente después de haber fundido el molde casetón.

Imagen 2. Perdidas de poliuretano.



4. CARACTERIZACIÓN ESPUMA DE POLIURETANO CON REFUERZO DE PVC TRITURADO.

Teniendo como parámetros de partida que:

1. Se busca una mezcla donde haya más material de PVC que espuma de poliuretano, con lo cual se busca que el costo sea más económico ya que el PVC triturado tiene un valor final mucho más económico que el poliuretano, además que uno de los objetivos planteados en esta investigación es de reciclar el PVC.
2. La mezcla de los componentes A y B se debe hacer en cantidades iguales (ver tabla 2).
3. Se busca la mezcla entre poliuretano y agregado de PVC triturado que arroje la mayor resistencia a la compresión.

Se plantean nueve (9) posibles cantidades en que se debe mezclar el poliuretano y el PVC triturado, a cada una de estas nueve (9) cantidades se les asigno un número de relación entre PVC y Poliuretano; ver tabla 5.

Para llegar a proponer estas posibles relaciones se realizaron varias muestras de mezcla de PVC y poliuretano, en donde se variaban sus cantidades y se observaba el resultado obtenido, en las imágenes 4 y 5, se puede visualizar el resultado obtenido de mezclar 100 gramos de PVC triturado y 40 gramos de Poliuretano.

Donde se puede ver y concluir que esta relación no es viable ya que la espuma de poliuretano no es lo suficiente para cubrir el material triturado. Otro ejemplo se puede ver en la imagen 6, donde se observa el que el material ligante no es lo suficiente para cubrir todo el material agregado, lo que conlleva a una pérdida del material triturado.

¿Qué significa cada una de las relaciones?

Por ejemplo la relación 3.3. Significa que por cada 180 [gr] de poliuretano se deben agregar 600 [gr] de PVC triturado. Para cualquier cantidad de poliuretano se le deben adicionar 3.3 veces más la cantidad de PVC.

Tabla 3. Relación mezcla de poliuretano y PVC triturado.

cantidad de PVC [gr.]	cantidad de poliuretano [gr.]	Relación PVC/ Poliuretano
600	180	3.3
400	160	2.5
400	200	2.0
300	180	1.7
200	140	1.4
200	160	1.3
200	180	1.1
200	200	1.0
	200	solo

Después de determinar las posibles cantidades de poliuretano y PVC triturado, se procede a realizar los ensayos de laboratorio mediante la construcción de 4 probetas por cada relación.

Imagen 3. Material obtenido de la mezcla de 100 gr. PVC y 20 gr. De Poliuretano.



Imagen 4. Material obtenido de la mezcla de 100 gr. PVC y 20 gr. De Poliuretano.



Imagen 5. Posible falla de la mezcla 90gr de PVC y 10 gr. De poliuretano



5. ENSAYOS

5.1. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

Este ensayo se le realiza a probetas cilíndricas de diámetro 10.8 cm y una altura igual al doble del diámetro como mínimo, obteniendo así un área (A), posteriormente se le aplica una carga (W) en forma progresiva, constante y sin golpes. Hasta lograr su falla.

La resistencia a la compresión (C) para un grupo de muestras se obtiene mediante la siguiente formula:

$$c = \frac{W}{A}$$

(2)

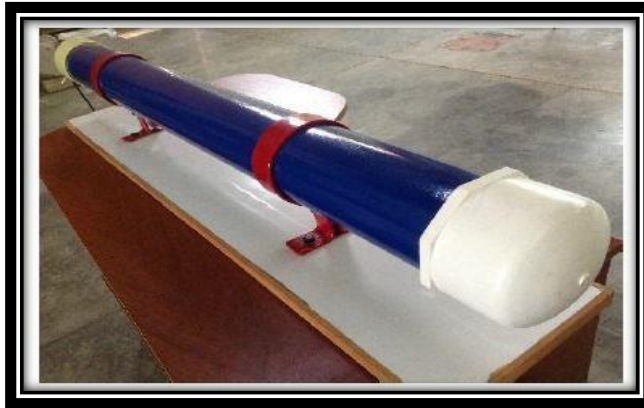
5.2. ENSAYO DE IMPEDANCIA ACÚSTICA

En el proceso de desarrollo de este ensayo de impedancia se basó en la experiencia e informes anteriores presentados por José Ramírez, Andrea Velandia y Carlos Pico. En sus respectivos trabajos de grado. [5] y [6]

Una característica de valor agregado que presenta el casetón en estudio, es que ayuda a solucionar uno de los mayores problemas que presentan las construcciones residenciales; el ruido, el cual es molesto para las demás personas.

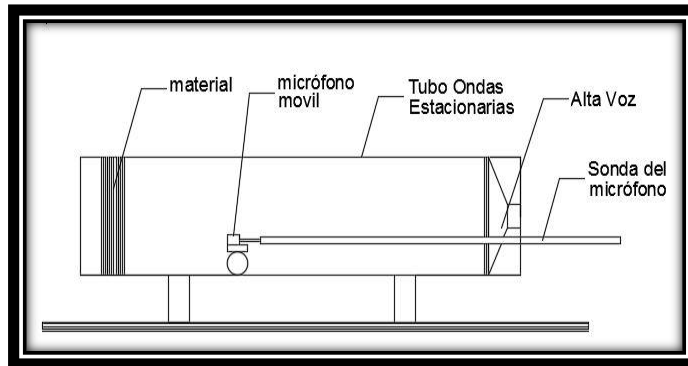
A través del tubo de impedancia o de Kundt (Imagen 7) se puede determinar el coeficiente de absorción del material a implementar como aislante termo acústico. En el interior de tubo se encuentra un micrófono que capta la onda producida por el parlante (ilustración 1) que a su vez está conectado con el generador de frecuencia y con ayuda de un osciloscopio se genera una gráfica de la cual se toman las amplitudes máximas y mínimas que se forman a lo largo del tubo; con el desplazamiento del micrófono se capta la amplitud de la onda en diferentes puntos y con la ayuda del fluxómetro en el exterior se ubica el micrófono en el interior, con lo que se busca una onda estacionaria correspondiente a cada frecuencia. Hay que tener en cuenta que el comportamiento de los casetones puede cambiar en un pequeño porcentaje ya que la forma de la edificación y la geometría de los espacios en las placas incide en el comportamiento acústico.

Imagen 6. Tubo de Kundt.



Fuente: proyecto de grado titulado propuesta sostenible de aislamiento térmico y acústico partir de celulosa, autores; José Ramírez y Andrea Velandía, año 2015.

Ilustración 1 Esquema Tubo Kundt.



A partir de los datos tomados en laboratorio se calcula el coeficiente y el índice de absorción del material los cuales lo caracterizan acústicamente.

Teóricamente, la energía total que choca contra la pared, una se refleja, otra parte es absorbida en la propia pared y la otra parte transmitida al espacio detrás de la pared [7].

Dividiendo estos los fragmentos de energía son:

Coeficiente de reflexión de energía $|r|^2$

Coeficiente de absorción α

Coeficiente de transmisión de energía $|t|^2$

Y aplicando conservación de energía se tiene:

$$|r|^2 + \alpha + |t|^2 = 1$$

(3)

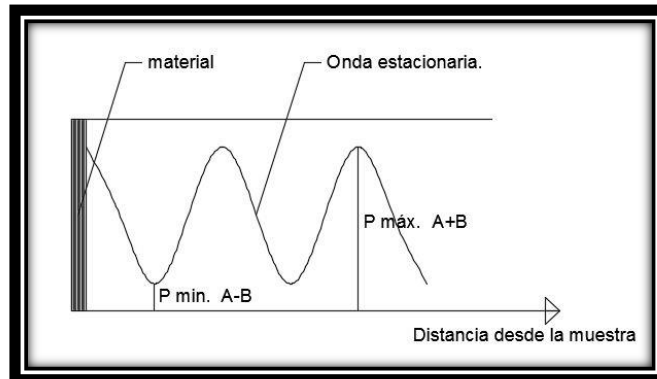
Una de las características fundamentales que facilita el desarrollo del laboratorio es que al hacer que la onda sonora viaje a través del tubo de Kundt, se puede considerar despreciable o cero el coeficiente de energía en comparación al coeficiente de reflexión, modificando la ecuación 3 se obtiene:

$$\alpha = 1 - |r|^2$$

(4)

Los tubos de resonancia que usan las ondas planas solo pueden ser usados con frecuencias menores de $C_0/1.7D$, donde C_0 corresponde a la velocidad del sonido en el espacio libre [7]. El tubo utilizado en el ensayo tiene un diámetro de 4", la frecuencia máxima usada para generar ondas planas debe ser de 2000 Hz. Además de procurar no exceder esta frecuencia, se debe verificar que la onda genere antinodo cada $\lambda/2$,

Ilustración 2. Esquema onda dentro del tubo de Kundt



La amplitud de un antinodo de presión máxima es $(A+B)$, y la amplitud de un antinodo de presión mínima es $(A-B)$, los cuales se muestran en la Ilustración # 2, medir A o B directamente no es posible, pero si se puede medir $(A+B)$ y $(A-B)$ (ver ilustración 2), esto se logra al resonar la onda en el tubo, formando así ondas estacionarias. Se puede medir la relación de presión máxima a presión mínima como SWR (standing wave ratio), mediante la ecuación 5

$$\alpha = 1 - |r|^2 = \left[\frac{SWR - 1}{SWR + 1} \right]^2 \quad (5)$$

Dado que la relación entre presión máxima y mínima se expresa de la siguiente forma:

$$SWR = \frac{P_{max.}}{P_{min.}}; SWR = \frac{A + B}{A - B} \quad (6)$$

Como el coeficiente de reflexión de energía requiere de B/A para ser conocido, se modifica la ecuación 6, dando como resultado:

$$|r| = \frac{A}{B} = \frac{SWR - 1}{SWR + 1}$$

(7)

Conociendo el valor $|r|$ es posible determinar α , reemplazando el resultado en la ecuación # 5, la energía reflejada es proporcional al cuadrado de las relaciones de amplitud de las ondas, por lo tanto, el coeficiente de absorción de sonido (α) con una frecuencia dada se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\alpha = 1 - |r|^2 = \left[\frac{SWR - 1}{SWR + 1} \right]^2$$

(8)

Teniendo en cuenta que los valores cercanos a 1 indican que el material se comporta como un aislante acústico; mientras que los valores cercanos a cero indican que el sonido es mayormente reflejado o transmitido por el material.

Para el desarrollo de la prueba de laboratorio se tomó una muestra con diámetro de 4"o 10.8 cm, diámetro que corresponde al diámetro del tubo de Kundt. Las probetas usadas en el ensayo tienen espesores de 5 cm.

6. RESULTADOS

6.1. RESULTADOS ENSAYO DE COMPRESIÓN E IMPEDANCIA ACÚSTICA.

Por cada una de las relaciones de mezcla se realizaron 4 probetas para un total de 36 cilindros, de los cuales 23 se les realizó el ensayo de resistencia a la carga axial. En la tabla 6 se listan los datos obtenidos de resistencia máxima a la compresión por carga axial antes de falla para cada una de las relaciones.

Dando como resultado que la relación 3.3. Es la más viable por su resistencia y cantidades de materiales usados. En la gráfica 3 se puede observar la comparación del esfuerzo y la deformación que sufre el material de la relación 3.3. Y material sin refuerzo de PVC, debido a una carga axial.

En la gráfica 4, se puede observar la resistencia promedio de todas las relaciones.

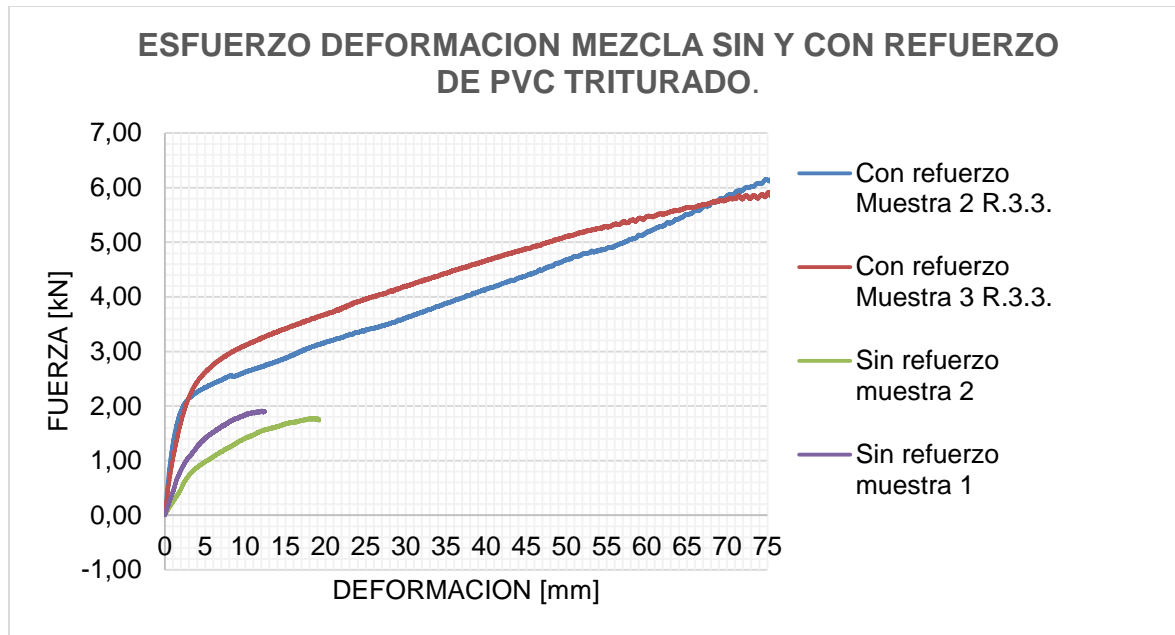
Dando una capacidad de carga (C) de:

$$C = \frac{1239.43}{591.02} = 2.09 \text{ psi}$$

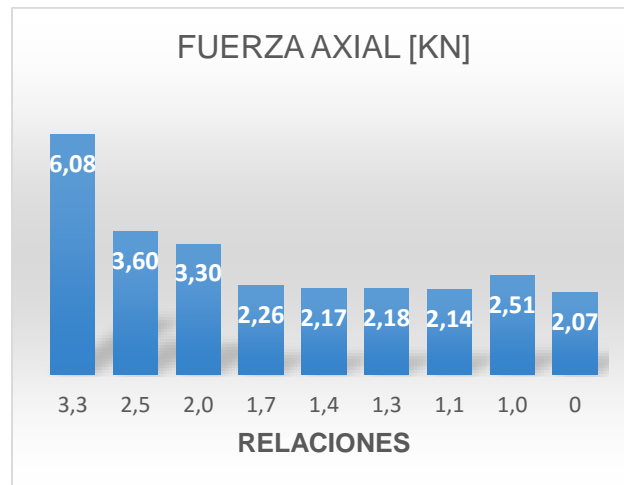
Tabla 4. Máxima carga axial soportada antes de falla.

Relación PVC/ Poliuretano	Carga axial Max KN			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
3.3		6.21	5.95	
2.5		3.89	3.32	
2.0	3.26	2.99	3.64	
1.7	2.59	3.11	1.06	
1.4	1.92	2.43		
1.3	2.27	2.09	2.36	2.01
1.1	2.44	1.84		
1.0	2.65	2.37		
0	1.92	1.78	2.50	

Grafica 3. Grafica esfuerzo deformación mezcla con y sin refuerzo de PVC



Grafica 4. Resumen Máxima Carga axial soportada antes de falla.



Sabiendo que la relación que presenta la mejor característica de resistencia a la compresión es la relación 3.3 ver grafica 4, se realizan 9 probetas usando esta relación de mezcla, se listan los resultados obtenidos en laboratorio (ver tabla 7) con el objetivo de determinar una

ecuación característica del comportamiento del volumen obtenido vs la cantidad de mezcla usada. (Ver grafica 5).

En la búsqueda de la ecuación característica del comportamiento de la espuma de relación de mezcla 3.3. Se obtuvo que:

$$Y = 2.1991 * x - 8.6255 \tag{9}$$

Donde:

Y = Volumen obtenido.

X = cantidad de mezcla.

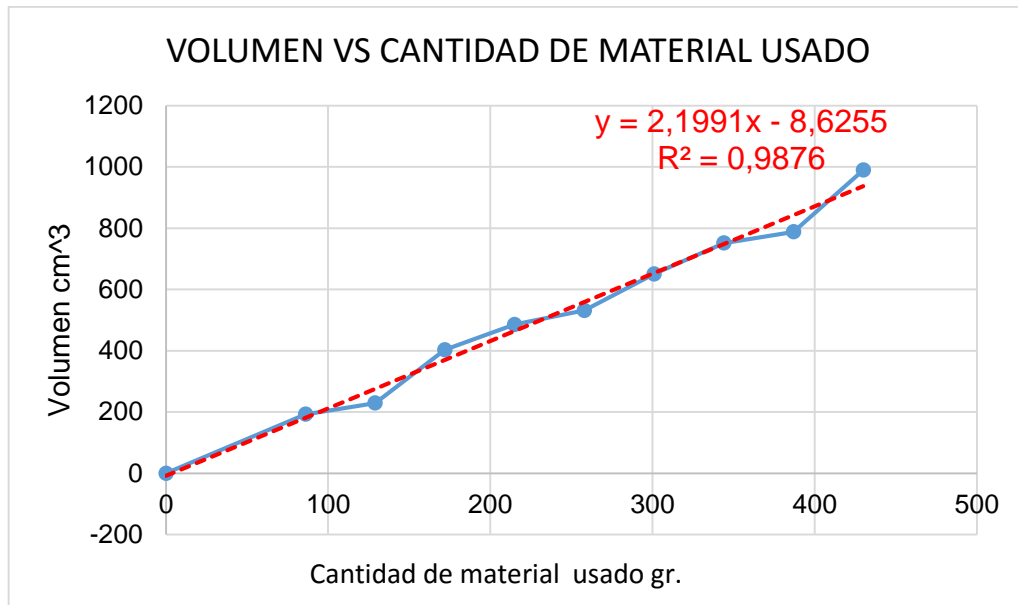
Con la obtención de esta ecuación (9) se busca poder cuantificar la cantidad de mezcla necesaria para un volumen determinado y minimizar las pérdidas.

Por otro lado los resultados del ensayo de impedancia (ver tabla 8). Dan como resultado que la mezcla de poliuretano y PVC triturado presenta un coeficiente de absorción del sonido (α) muy bueno 0.88 promedio entre hondas con frecuencia de 500 a 1500 Hz.

Tabla 5. Volumen obtenido mezcla relación 3.3.

Poliuretano gr.	PVC gr.	Peso obtenido gr.	Volumen [cm ³]
20	66	84	769.5
30	99	121	916.1
40	132	166	1612.3
50	165	208	1942.1
60	198	250	2125.3
70	231	293	2601.7
80	264	335	3004.8
90	297	380	3151.3
100	330	420	3957.5

Grafica 5. Comportamiento del volumen vs cantidad de mezcla usada.



Para el ensayo de impedancia acústica se usó una muestra de material de relación 3.3. Con un espesor de 5 cm.

Tabla 6. Resultados de ensayo de impedancia acústica.

Frecuencia Hz.	P Max [mv]	P min [mv]	SWR	SWR -1	SWR+1	r	α
200	18.8	7.8	2.41	1.41	3.41	0.41	0.829
500	121	53.6	2.26	1.26	3.26	0.39	0.851
1000	15.6	12.2	1.28	0.28	2.28	0.12	0.985
1500	99.2	37.6	2.64	1.64	3.64	0.45	0.797
2000	11	2.24	4.91	3.91	5.91	0.66	0.562

6.2. EFICIENCIA TÉRMICA.

Para determinar si la mezcla de poliuretano y PVC triturado de relación 3.3. Presenta características de aislante térmico, se realizó un molde usando la mezcla (ver imagen 8), se procedió a dividirlo en dos partes, en su interior se perforo un orificio al cuál se le introdujo una tubo de vidrio con agua. (Ver imagen 9). Para evitar filtraciones de calor se pegaron con espuma de poliuretano para así obtener un solo elemento nuevamente (ver imagen 10).

El paso siguiente fue poner el molde en el horno a una temperatura aproximada a los 50°C durante una hora y cuarenta minutos (1:40 min) (ver imagen 11) con esto lo que se busca es tomar la temperatura del agua en el interior del molde y así poder determinar si el material permite la transferencia del calor o no.

Al paso de la hora y cuarenta minutos. Se extrajo el molde del horno y se tomó la temperatura del agua en su interior (ver imagen 12), dando como resultado una temperatura aproximada a los 38°C lo que demuestra que el la mezcla de poliuretano y PVC triturado de relación 3.3. Presenta características de material aislante térmico.

Imagen 7. Molde de relación 3.3 de mezcla.



Imagen 8. Molde con perforación en su interior.



Imagen 9. Pegado de las dos partes de mezcla relación 3.3



Imagen 10. Horno a temperatura 50°C



Imagen 11. Temperatura del agua al interior del molde después de su exposición al calor por 1:40 min.



7. CUADRO COMPARATIVO.

	PROPIEDADES				
	Resistencia a la compresión	Deformaciones	Absorción de agua	Reutilización	Eficiencia térmica
<i>Casetón de Poliuretano con PVC triturado</i>	Elevada	Prácticamente nulas	Nula	Reutilizable	Considerable
<i>Casetón tradicional de madera y Lona</i>	Baja	Bastantes	Bastante	NO reutilizable	Nula

8. ANALISIS DE PRECIOS

En el mercado un casetón tradicional de madera forrado con lona de dimensiones:

Sección transversal = 0.35 * 0.35 m

Profundidad = 1 m

Tiene un valor de = \$ 10.500

En el presente estudio se presentan 2 opciones de casetón con sus respectivos costos, así:

Opción 1:

Hacer el casetón de macizo, es decir que todo el volumen este ocupado por mezcla de relación 3.3. Ver ilustración 3.

Opción 2:

Hacer el casetón aligerado, es decir que no todo el volumen ocupado por el casetón llevara mezcla, con lo cual se buscan en si dos características fundamentales, menos peso y menor valor de fabricación.

Ilustración 3. Opción 1 casetón macizo.

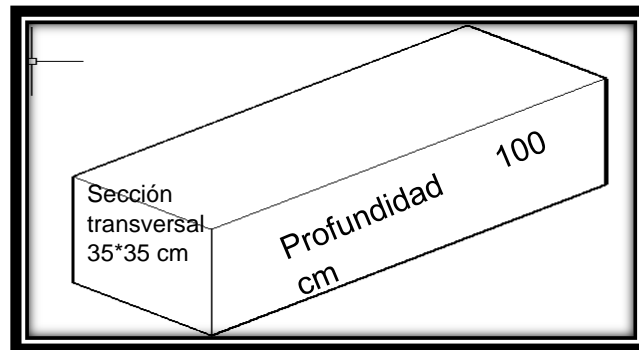
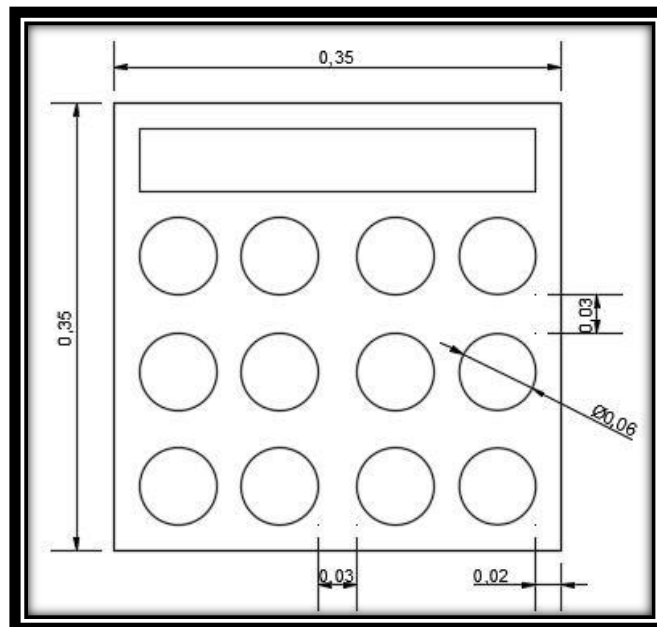


Ilustración 4. Opción 2 casetón aligerado.



9. FACTIBILIDAD DE FABRICAR CASETONES DE POLIURETANO CON MATERIAL DE PVC TRITURADO.

Este casetón se aligerara con tubos de PVC, llevara doce huecos de 2" de diámetro y un hueco rectangular de 5*31 cm (Ver ilustración 4). Recubrimiento igual a dos (2) cm.

Con lo cual se reducirá el volumen en un 41%, el costo bajara y el casetón será la sufrientemente fuerte para soportar la presión lateral del concreto.

En una visita de obra realizada en la calle 48 No. 23 – 27 de Bucaramanga. Se pudo obtener información de costos y desperdicios de concreto en la fabricación de placas aligeradas con casetón tradicional de madera y lona.

Ahora bien; si se compara el valor del casetón de madera con el valor del casetón de poliuretano y PVC, la diferencia entre uno y otro es de \$ 73.533 aproximadamente. Pero hay que ver las ventajas y desventajas que presentan cada uno de los casetones en obra, en la visita de obra que se realizó, se pudo encontrar que para una placa de 552 mts² se desperdiciaron cerca de 6 o 7 m³ de concreto, con un valor de \$432.000 m³ C/U, con un valor casi cercano a los \$3.000.000 de pesos desperdiciados por placa, la construcción está proyectada para un total de 12 pisos, si el desperdicio se sigue presentando al final las perdidas estarán cercanas a un valor de \$36´000.000 aproximadamente, estos valores de pérdidas y de costos fueron suministrados por la ingeniera residente de la obra. Este desperdicio se debe a problemas en los casetones de madera como los siguientes:

1. Deformaciones excesivas en las paredes del casetón (ver imágenes 13) lo que con lleva a un mal dimensionamiento de las viguetas, dando como resultado elementos estructurales nada parecidos a los elementos diseñados (ver imagen 14).

2. Es muy probable que el casetón de madera sufra rupturas bien sea por mal manejo en obra o porque la madera no era lo suficientemente fuerte para resistir la presión del concreto (ver imagen 15).
3. Si el casetón de madera no se recupera, lo más probable es que la madera se pudra, en la imagen 16, se puede observar un casetón de madera usado en la placa del primer nivel donde sin aun haber terminado la obra el casetón ya se está pudriendo, esto lleva a retrasos innecesarios. Y costos no presupuestados en la obra.
4. Si el casetón se recupera este mismo pierde su función como casetón y se convierte en basura ver imagen 17, basura de difícil recolección.

Ahora con el casetón de mezcla poliuretano y PVC triturado. Estos problemas desaparecen, se realizó una viga de prueba donde se puso a trabajar el casetón del presente estudio (ver imagen 18). Dando resultados muy favorables:

1. El desperdicio de concreto por deformación del casetón se reduce o es casi nulo, ver imagen 19 y 20.
2. El casetón de poliuretano al desencofrarlo no presento deformaciones en su superficie.
3. El casetón se puede recuperar y reutilizarlo.

Ahora resumiendo todo:

Comparando el costo de un casetón de dimensiones .35 *.35 m sección transversal y 1 de profundidad hecho en madera y lona, contra un casetón de las mismas dimensiones con mezcla de poliuretano y PVC, se obtiene:

	Costo	Costo de perdidas	Valor total
casetón tradicional =	\$ 10,500	\$ 20,000	\$ 30,500
Valor casetón Poliuretano reforzado =	\$ 107,352	\$ -	\$ 107,351.69
		Diferencia	\$ 76,851.69

Imagen 12. Deformación en paredes laterales del casetón.



Imagen 13. Mal dimensionamiento de Viguetas.



Imagen 14. Ruptura de casetón



Imagen 15. Casetón Tradicional de madera podrido.



Imagen 16. Basura producida por el desmonte del Casetón de madera



Imagen 17. Viga con casetones de poliuretano y PVC triturado.



Imagen 18. Desencofrado de casetón



Imagen 19. Resultado de usar casetón de poliuretano.



10. CONCLUSIONES

1. Para la obtención de poliuretano rígido la mezcla de los dos componentes A y B debe realizarse en cantidades iguales.
2. En el uso del casetón de poliuretano con refuerzo de PVC no se presentan desperdicios por pandeos, filtraciones o rupturas, como con casetón tradicional de madera.
3. Los casetones de poliuretano pueden fabricarse a la medida de los planos con flexibilidad de formas y tamaños.
4. Con la instalación y uso de los casetones de poliuretano se podrá mantener constante el espesor de la viga, siendo más preciso y parecido a los diseños de obra.
5. Los casetones de poliuretano son impermeables, no admiten filtraciones de finos ni absorben humedad durante el curado posibilitando la completa hidratación del concreto.
6. Comparado con la madera o la guadua forrada el casetón de poliuretano los rendimientos económicos se empezaría a obtener después del tercer o cuarto uso.

7. El casetón de poliuretano del presente estudio resulta ser un excelente disipador de ruido, si no se recupera de la placa.

8. No se recomienda dejar inmerso el casetón en la placa si el lugar de construcción de clima cálido y que no cuente posteriormente con sistema de aire acondicionado, dado que el poliuretano presenta propiedades de aislantes térmicos.

11. RECOMENDACIONES

- 1.** Se recomienda que el servicio de recuperación de los casetones sea prestado o realizado por una sola persona para así garantizar un poco más de cuidado en los casetones.
- 2.** Las especificaciones dadas respecto a los costos en este documento requerirán de actualizaciones periódicas.

CITAS

[1] CASTEBLANCO Sulay, Gloria Pino; Estudio de una vía de reciclaje del policloruro de vinilo (PVC) post-consumo, Trabajo de grado ingeniería Química pregrado, Bucaramanga: Universidad industrial de Santander, 2004.

[2] Versión traducida y reducida del artículo: “lateral pressure over formwork on big dimensión concrete blocks”. Aceptado para la publicación en engineering structures. Ref No. ENGSTRUCT-D-09-00231R1. PUENTE I, Santilli A, Iopez A.

[3] ALONSO, Alejandro, como se forman los polímeros. En: revista de plásticos modernos: Ciencia y tecnología de polímeros. Año: 46, No. 467 (mayo de 1995); p.416.

[4] BERNAL Kolman y HILL David R, octava edición, editorial Pearson Educacion, 1993. pág. 383

[5] José Ramírez, Andrea Velandia; propuesta sostenible de aislamiento térmico y acústico a partir de celulosa, pregrado, Universidad industrial de Santander, Bucaramanga 2015.

[6] Carlos Pico; propuesta de concreto con agregado fino de escoria de cubilote como aporte al estudio de la durabilidad y propiedades acústicas, pregrado, Universidad industrial de Santander, Bucaramanga 2012.

[7] CASTAÑEDA Jaime, GONZALEZ Álvaro. Medición de coeficiente de absorción del sonido. En: Revista Scientia et Technica Año X. Agosto 2004 Vol.25. p. 101- 106.

BIBLIOGRAFIA

ALONSO, Alejandro. Cómo se forman los polímeros. En: Revista de Plásticos Modernos: Ciencia y tecnología de polímeros. Mayo de 1995; . Año: 46, No. 467 p.416.

BERNAL, Kolman y HILL, David R. Algebra Lineal. 8ed. México: Pearson Educación, 1993. pág. 383

CASTAÑEDA Jaime, GONZALEZ Álvaro. Medición de coeficiente de absorción del sonido. En: Revista Scientia et Technica Año X. Agosto 2004 Vol.25. p. 101- 106.

CASTEBLANCO Sulay, PINO, Gloria; Estudio de una vía de reciclaje del policloruro de vinilo (PVC) post-consumo, Trabajo de grado Ingeniería Química. Bucaramanga: Universidad industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Ingeniería Química, 2004.

PICO Carlos; propuesta de concreto con agregado fino de escoria de cubilote como aporte al estudio de la durabilidad y propiedades acústicas, trabajo de grado ingeniería Civil, Bucaramanga, Universidad industrial de Santander, facultad de ingeniería físico-mecánica, 2012.

PUENTE, I., SANTILLI, A and LOPEZ, A. Lateral pressure over formwork on big dimensión concrete blocks Engineering Structures. [online]. 2010 N° 32 [citado 3 Septiembre 2015] p. 195-206. Disponible en: ELSEVIER: SCIENCE-DIRECT

RAMÍREZ José, VELANDIA Andrea; propuesta sostenible de aislamiento térmico y acústico a partir de celulosa, pregrado, Universidad industrial de Santander, Bucaramanga 2015.

ANEXOS

Anexo A. Tabla informativa probetas cilíndricas sin corte.

Relación PVC/ Poliuretano	Peso Obtenido				Peso Esperado [gr.]	Peso Obtenido promedio	Perdidas [gr.]	% de Perdidas
	Muestr a 1 [gr.]	Muestra 2 [Gr.]	Muestra 3 [Gr.]	Muestra 4 [Gr.]				
3.3	761	768	772	769	780	767.5	12.5	1.60
2.5	549	554	540	548	560	547.75	12.25	2.19
2.0	586	594	587	581	600	587	13	2.17
1.7	472	463	469	474	480	469.5	10.5	2.19
1.4	328	322	336	330	340	329	11	3.24
1.3	352	353	347	347	360	349.75	10.25	2.85
1.1	368	372	364	370	380	368.5	11.5	3.03
1.0	391	384	387	392	400	388.5	11.5	2.88
solo	192	196	189	192	200	192.25	7.75	3.88
							11.14	2.67

Anexo B. Resultados ensayo de impedancia.

frecuencia Hz	distancia cm	amplitud mv			
200	0	13.8	1500	0	67.2
	5.2	15.6		1.6	84
	15.1	15.2		4.8	99.2
	25	9.8		9.2	37.6
	26.8	18.8		16.6	98.4
	38.6	15.2		20.8	41.6
	48	14.2		25.8	89.6
	51.7	18.8		28.6	99.2
	56.2	12.6		32.8	38.4
	66.4	11.1		40.2	97.6
	74.8	14.4		44.6	40
	78.4	16		51.8	96
	86.4	9.8		67.5	41.6
	90	7.8		63.4	91.2
	500	0		76.8	70.6
17.4		84.8	74.2	87.2	
32.4		92.8	81.7	41.6	
35.8		73.6	86.4	91.2	
49.8		53.6	0	3.92	
61.7		80	5.4	12.5	
79.8		121	10.4	6.72	
90		65.6	18.7	14.6	
1000	0	14.4	25.8	2.24	
	5.4	12.2	32.6	14.1	
	15.4	15.2	48.4	4.96	
	31	15.6	56.5	12.3	
	62	14.8	67.4	6.8	
	90	12.2	71.4	11.3	
			76.2	5.36	
		82	15.6		
		90	7.68		
			2000		