

Universidad de Morelos
Facultad de Ingeniería y Tecnología

Elaboración de panel aislante acústico
hecho a base de grano de caucho y comparación
con paneles comerciales

Proyecto de investigación
presentado en cumplimiento parcial
de los requisitos para el grado de
Ingeniería Industrial y de Sistemas

Por
Victor Antonio Solano de la Fuente
Abril de 2015

CONSTANCIA DE AUTORIA Y CESIÓN DE DERECHOS DE REPRODUCCIÓN

El abajo firmante, AUTOR del informe de investigación titulado Elaboración de panel aislante acústico hecho a base de grano de caucho y comparación con paneles comerciales por intermedio de la presente, DA FE de la autoría y originalidad de la obra mencionada que se presenta ante la Facultad de Ingeniería y Tecnología para ser evaluada con el fin de obtener el Grado Académico de Licenciada/o en Ingeniería Industrial y de Sistemas.

Asimismo, dejo expresada mi conformidad de ceder los derechos de reproducción y circulación de esta obra, en forma NO EXCLUSIVA, a la Facultad de Ingeniería y Tecnología de la Universidad de Morelos. Dicha reproducción y circulación se podrá realizar, en una o varias veces, en cualquier soporte, para todo el mundo, con fines sociales, educativos y científicos.

Entiendo que dicha cesión no entraña obligación ninguna para la Facultad de Ingeniería y Tecnología, que podrá o no ejercitar los derechos cedidos.

Se firma la presente en la ciudad de Morelos Nuevo León, a los 17 días del mes de Abril del 2015.

Firma

CURP:

SOFV91108HNLNCO3

ELABORACION DE PANEL AISLANTE ACUSTICO HECHO A
BASE DE GRANO DE CAUCHO Y COMPARACION
CON PANELES COMERCIALES

Proyecto de investigación
Presentado en cumplimiento parcial
De los requisitos para el grado de
Ingeniería Industrial y de Sistemas

Por

Victor Antonio Solano de la Fuente

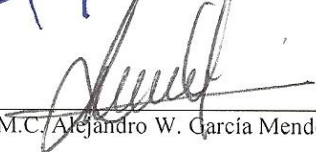
APROBADA POR LA COMISIÓN



Asesor principal: Ing. Melquiades Alejandro Sosa Herrera



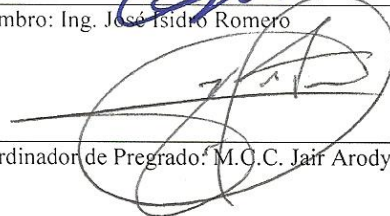
Miembro: Mtra. María E. Tolentino Hernández



Director de Facultad: M.C. Alejandro W. García Mendoza



Miembro: Ing. José Isidro Romero



Coordinador de Pregrado: M.C.C. Jaír Arody del Valle López

16-Abril-2015

Fecha de aprobación

Dedicatoria

A Dios y mis Padres.

DECLARACIÓN DE INTEGRACIÓN DE LA FE

Cuando la sabiduría entrare en tu corazón, Y la ciencia fuere grata a tu alma, La discreción te guardará; Te preservará la inteligencia, Para librarte del mal camino, De los hombres que hablan perversidades, Prov. 2: 10-12

TABLA DE CONTENIDO

I.	Introduccion	1
A.	Justificacion.....	1
B.	Problema	1
C.	Objetivos	1
D.	Hipotesis.....	1
E.	Delimitaciones.....	1
F.	Limitaciones	2
G.	Definición de términos	2
II.	Marco teorico	2
A.	Uso de gcr en modificaciones de asfalto y concreto.....	2
B.	Uso de gcr para elaboracion de productos.....	2
C.	Materiales acusticos	3
III.	Metodologia	3
A.	Diseño de Experimentos.....	3
B.	Experimentacion.....	3
C.	Proceso de elaboracion de paneles	4
1)	Pesado de gcr, yeso y agua.	4
2)	Mezclado.....	4
3)	Vertido de mezcla en moldes (10x10cm).....	5
4)	Secado de 24 horas	5
5)	Dustracción del panel.....	5
D.	Pruebas	5
E.	Comparación	5
1)	Madera triplay de ½ pulgada.....	5
2)	Cielo falso	5
3)	Tablaroca ½ pulgada.....	5
4)	Fibra de vidrio.....	5
F.	Costos.....	6
1)	Cotizaciones.....	6
2)	Precio costo.....	7
3)	Precio venta.....	7
IV.	Resultados	7
V.	Conclusiones	8
1)	Discusion de resultados.....	8
2)	Conclusiones de la investigación	8
3)	Futuros aportes.....	8

VI.	Agradecimientos.....	9
VII.	Referencias.....	9

Elaboracion de panel aislante acustico hecho a base de grano de caucho y comparacion con paneles comerciales.

Victor Antonio Solano de la Fuente
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Universidad de Montemorelos
Montemorelos, Nuevo León, México

Melquiades Alejandro Sosa Herrera
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Universidad de Montemorelos
Montemorelos, Nuevo León, México

Abstract— Esta investigación se basó en el reuso y reciclado del grano de caucho, debido a que en la actualidad se desechan una gran cantidad de neumáticos; utilizándolo como materia prima se decidió elaborar paneles aislantes acústicos.

Se realizaron pruebas para la identificación de ligantes para el grano del caucho, los dos mejores ligantes fueron el chapopote y yeso, debido a las mejores propiedades físicas y acústicas del yeso, se decidió elaborar los paneles aislantes con yeso y grano de caucho.

Primeramente se elaboró un diseño de experimentos para obtener las cantidades ideales de grano de caucho, yeso y agua, una vez obtenidas dichas cantidades, se procedió a elaborar un diseño factorial general con ayuda del software Minitab, en el cual se tenían 3 variables con 3 niveles, una vez elaborado dicho diseño se procedió a realizarlo en el laboratorio, obteniendo un total de 27 muestras, una vez elaboradas dichas muestras, se procedió a realizarles una prueba de aislación acústica, obteniendo una gran aislación acústica de los paneles.

Se estimaron costos por m² del producto, de los 3 mejores paneles en cuanto a aislación acústica, así mismo como a los 3 que más dB aislaron de acuerdo a la cantidad de caucho en ellos.

Obteniendo como resultado que los paneles elaborados a base de grano de caucho con yeso tienen una gran aislación acústica, así como su bajo costo de fabricación y venta al mercado.

Keywords—grano de caucho, aislante acústico, acústica, ingeniería de materiales, diseño de experimentos

I. INTRODUCCION

A. Justificación

El aumento en el consumo y desecho de llantas ha provocado que los tiraderos designados para su almacenamiento se encuentren saturados, por ello se ha presentado un aumento del número de depósitos clandestinos, en los cuales no existe control alguno que garantice la seguridad del lugar. Además que la acumulación de llantas representa un riesgo sanitario y ecológico, pues los neumáticos son un medio ideal para el desarrollo de diversos tipos de fauna nociva y son material inflamable por su composición química. El proceso de reciclaje de llantas es aún muy escaso en el país y solo se reprocessan el

5% de las llantas en los cálculos más optimistas. Todos los factores descritos, nos indican que el reciclaje de llantas es una opción atractiva con una buena oportunidad de crecimiento.[1]

Debido a esto se decidió realizar esta investigación, en la cual se desarrolló un producto en el cual se le pueda dar un segundo uso al caucho, el producto que se elaboro fue un panel aislante acústico.

B. Problema

Gran cantidad de caucho que se desecha causando gran contaminación y la escasa industria del reuso y reciclado de caucho, así como pocos productos en los cuales se utilice como materia prima el caucho reciclado.

C. Objetivos

Los objetivos o metas que tendremos en este proyecto serán los siguientes:

1. Reutilización del grano de caucho basándonos en la elaboración y creación de un producto el cual sea comercializable.
2. Ofrecer un producto de bajo comparado con otros productos que realizan la misma función.
3. Caracterización de materiales ligantes para el caucho.

D. Hipotesis

1. Se puede reutilizar el caucho de llanta triturado para la fabricación un producto aislante acústico en forma de panel.
2. El panel elaborado a base del grano de caucho es más económico en comparación a los paneles que actualmente existen en el mercado.
3. El panel elaborado a base del grano de caucho aislara más sonido que los siguientes materiales de construcción: fibra de vidrio, cielo falso, madera y tablaroca.

E. Delimitaciones

Para poder darle un enfoque claro a este proyecto, así como a la investigación y los resultados, todo esto se centró en lo siguiente:

1. Usar materiales de bajo costo
2. Las pruebas no se realizaron bajo condiciones controladas
3. Se compró el caucho triturado
4. La investigación se enfocó en la creación del producto y no en la instalación del mismo.

F. Limitaciones

Los obstáculos y limitaciones que se presentaron para la realización de este proyecto fueron:

1. No hubo disponibilidad de la maquinaria adecuada para poner a prueba el producto final, pruebas de flexibilidad, porosidad, absorción de humedad, etc.

G. Definición de términos

Gcr: grano de caucho reciclado.

Materiales ligantes: compuesto adhesivo que liga y mantiene unidos dos elementos.

dB: decibeles

Aislante acústico: es el método principal de control de la propagación del sonido en los edificios, en lo particular es el que se ocupa de reducir la transmisión del ruido entre un recinto y otro.

II. MARCO TEORICO

A. Uso de gcr en modificaciones de asfalto y concreto

El uso del gcr para la modificación de asfalto ha sido investigado numerosas veces, una de ellas es en la comparación del asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada, en esta investigación se emplean dos métodos de mezclado: manual y dispersor de asfalto. Utilizando dos residuos de polímeros no biodegradables como modificadores: icopor y grano de caucho, dichos modificadores variaban en proporciones para así encontrar el porcentaje óptimo para mejorar la respuesta mecánica del asfalto en la mezcla. La mezcla que se realizaba era una mezcla de asfalto blando de penetración 80/100. En esta investigación se variaba la velocidad del mezclado así como la temperatura, la cual variaba de 180°C a 210°C. Los resultados mostraron que las mezclas ligante-modificador polimérico que se realizaban de forma manual tienden a tener una menor homogeneidad en comparación a las mezclas obtenidas con el dispersor de asfaltos.[2]

Sofia Figueroa, Sanchez Castillo y Reyes Lizcano realizaron un análisis experimental de un asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada. La modificación se realizó por vía humedad para así lograr una mejor integración de la mezcla, en el estudio se caracterizaron el asfalto convencional y los modificadores, para así realizar un análisis acerca de las propiedades físicas del asfalto modificado, para así comparar los resultados del asfalto convencional con el modificado. En los resultados obtenidos se determinó la proporción óptima de los modificadores empleados para mejorar la respuesta mecánica del asfalto en la mezcla.[3]

Rondon Quintana, Molano Mora y Trenjo Lancheros, investigaron sobre la resistencia mecánica bajo carga

monotónica de mezclas asfálticas en caliente modificadas con grano de caucho reciclado. Se fabricaron dos mezclas de cementos asfálticos, modificándolas por vía humedad, se hizo un análisis granulométrico y fueron compactadas a temperaturas de 120 a 150°C, siendo 150°C la temperatura de referencia de las mezclas. Los resultados que obtuvieron indican que si reducen la temperatura de compactación hasta 30°C, este cambio en la temperatura generará una disminución en la resistencia bajo carga monotónica de las mezclas modificadas y se observa que si se compactan bajo una temperatura de 10°C por debajo de la referencia, aumenta la resistencia.[4]

En otra investigación realizada se estudiaron las principales características del asfalto base, el caucho, la dispersión de ambos, los áridos para formular la mezcla densa, así como la elaboración en planta industrial del asfalto-caucho. La colocación de dicho asfalto se realizó en un tramo de carretera experimental en una ciudad y la posterior verificación de la mezcla fue por medio de extracción de muestras. Para estas muestras se seleccionó el menor tamaño de partícula de grano de caucho, siendo este tamaño el de malla 25 de ASTM (710 micrómetros). El polvo del caucho fue secado en un horno a 105°C por 24 horas. Para la mezcla se utilizaron un 7% de agregados de contenido de árido natural y el contenido de asfalto-caucho en la mezcla fue de 4.9% en peso. Después de realizar pruebas de: Test de Lottman, Ensayo de Wheel Tracking Test, entre otros, se decidió que la cantidad de caucho a incorporar se definió en 8%, esto surgió de la tensión entre la estabilidad de la dispersión y el máximo grado de modificación para garantizar el mejor rendimiento desde el punto de vista reológico.[5]

En investigaciones pasadas se estudiaron las propiedades reológicas del asfalto que dependen de las proporciones en que están presentes sus componentes, los cuales varían de acuerdo con el origen de los crudos del petróleo. El comportamiento reológico del ligante tiene una influencia significativa en las propiedades de la mezcla asfalto-agregado. Para poder describir los comportamientos del asfalto se contó con control de granulometría. Se realizaron mediciones de viscosidad a diferentes temperaturas con intervalos de 20°C esto con el viscosímetro Brookfield, con esto se encontró la temperatura ideal para mezclar y compactar el material dependiendo su granulometría y sus propiedades. Los resultados indicaron que solo ocurrió cambio estructural en el asfalto modificado con polímeros de granulometría controlada, lo que muestra una relación entre la composición química y la viscosidad de los tres ligantes estudiados.[6]

B. Uso de gcr para elaboracion de productos

Gondra y Neira realizaron una investigación para desarrollar diferentes fórmulas y su correspondiente caracterización de sistemas, cuya base principal era el grano de caucho, ligado con ligantes de tipo termoplástico y termoestable. El tamaño de partícula utilizado era <.5mm. Mediante el método de rodillos mezcladores, mezclaban el caucho con los ligantes, para la elaboración de productos, posteriormente calentaban la mezcla y la introducían en un molde de placa rectangular de 4mm, dicha placa se sometía a una compresión en frío y caliente. Una vez obtenida la placa, se cortaba en probetas para la caracterización de materiales, así como la realización de pruebas de flexión y

dureza D-shore e impacto Charpy. Para mejorar la adherencia superficial del caucho se hicieron dos tratamientos: corona y químico. Los resultados que obtuvieron fueron un listado de fórmulas con las cuales se pueden elaborar distintos productos a base del grano de caucho.[7]

C. Materiales acusticos

Segura Alcaraz y Crespo Amoros, en su investigación sobre la estimación de la absorción acústica en paneles fabricados con neumáticos reciclados, realizaron un análisis de granulometría, con el objetivo de determinar los tamaños de las partículas y su proporción de caucho obtenido del residuo del neumático. Ellos clasificaron dos grupos de tamaños de las partículas de caucho: de .7mm y de 2.2-4mm. Utilizaron un proceso llamado sinterizado para la unión del caucho, el cual consiste de un tratamiento térmico en el que se le aplica presión y temperatura a un polvo o compactado metálico produciéndose difusión atómica entre las superficies de contacto de partículas, lo que provoca su unión. Las pruebas que se le hicieron al producto final, fueron sobre la absorción acústica, esta prueba se realizó utilizando un tubo de impedancia acústica, y los resultados indican que entre más grueso sea el panel, tendrá más absorción acústica.[8]

Inche itma y Chung Pinzas, realizaron una investigación sobre el diseño y desarrollo de nuevos materiales textiles para el aislamiento y acondicionamiento acústico, con el objetivo de analizar dos materiales para el aislamiento sonoro, los cuales serían napa textil y lana de vidrio, elaborando un prototipo de panel acústico multicapa. Ellos elaboraron una cámara cubica de 1.2m de lado, construida por los materiales que analizarían, y aplicaron una prueba para una cámara de reverberante, los resultados que obtuvieron es que la lana de vidrio tiene mayor aislamiento acústico que la napa textil, así como que si una onda sonora se encuentra con una superficie dura, se reflejara; pero si choca con un material a prueba de sonido, dicha onda se absorberá. Los materiales absorbentes basados en fibras textiles permiten un aislamiento acústico de entre 20dB y 30 dB para intensidades de sonidos entre 100 a 120 dB.[9]

III. METODOLOGIA

El desarrollo de este proyecto se llevó a cabo en el laboratorio industrial de la Universidad de Montemorelos, dicha metodología se basó tomando en cuenta la literatura de investigación.

A. Diseño de Experimentos

El modelo matemático del diseño de experimentos utilizado para la experimentación fue un diseño factorial general, suponiendo tres variables A, B y C con sus niveles correspondientes (a,b,c) y n replicas en cada celda, el modelo matemático sería:

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \quad (1)$$

B. Experimentacion

Primeramente se decidió buscar un proceso el cual uniera el caucho o algún tipo de material ligante, por medio de investigaciones previas se encontró un proceso el cual se llama

sinterizado, este proceso consiste en aplicar calor y presión al caucho, se probó este proceso a nivel simplificado, con materiales “caseros”, para aplicarle calor se utilizó un horno casero marca Mainstays modelo XB09368 (688), así como moldes hechos de madera, para la aplicación de calor o de presión se utilizó una prensa marca Surtek modelo 121150 y para pesar el caucho se utilizó una báscula marca Tor-rey modelo L-PCR-40, el procedimiento que se llevó a cabo en el laboratorio fue el siguiente:

Se pesó el caucho, una vez pesado, se vació en el molde y se introdujo en el horno, se le dio un tiempo de 2 min a una temperatura de 150°C, pero debido a que el molde estaba descubierto se encendió el caucho, se procedió a elaborar un molde cerrado, de igual manera hecho de madera, dicho molde se introdujo con caucho al horno, después de 2 min a 150°C, se retiró del horno y los resultados fueron negativos, no se unió el caucho, debido a que la presión que se le aplico fue mínima, requería de una instrumentación más precisa.

Continuando con la investigación se encontró otro proceso para la unión del caucho, el cual constaba en mezclarlo con chapopote líquido, para este proceso se pesó el chapopote y se calentó en el horno anteriormente mencionado y posteriormente se mezcló con el caucho, para después verterlo en el molde de madera, con este proceso se logró la unión del caucho y se pudieron hacer muestras de paneles, esto quiere decir que este material ligante sirvió para la unión del caucho ver “imagen 1”, pero debido a que esta mezcla de materiales es muy inflamable y despide un fuerte olor desagradable se decidió descartar este proceso para la elaboración de los paneles, pero podría servir para investigaciones futuras, como podría ser el tapado de baches con esta mezcla.



Imagen 1. Paneles a base de chapopote y caucho

Posteriormente se optó por utilizar yeso, primeramente se realizaron pruebas para ver si este material podría servir como ligante para la unión del caucho, después de haberse realizado varias muestras, los resultados fueron positivos, al igual que al proceso anterior se le aplicó una prueba para ver qué tan inflamable sería y las pruebas dieron negativas, por lo tanto se decidió utilizar el yeso como material ligante para esta investigación.

Para la realización de los paneles se hizo primeramente un estudio el cual se explica más adelante, utilizando un diseño de experimentos y un diseño factorial general, en este estudio se definieron los valores que se le darían a las variables, dichas variables son: gcr, yeso y agua.

El primer estudio se basó en la variación del agua y yeso, esto para que se pudiera observar y definir cuál era la mejor cantidad en porcentaje de agua y yeso en relación al peso del caucho, para la elaboración de los paneles, para estas pruebas se

decidió dejar fija la cantidad de caucho, la cual fue de 100 gr. Se realizó un diseño de experimentos variando todas las combinaciones posibles y se obtuvo la tabla 1, en la cual se agregan los resultados.

TABLA 1. DISEÑO EXPERIMENTOS: AGUA Y YESO

Std Order	Run Order	PtType	Blocks	A	B	Resultados
8	1	1	1	150%	100%	Entero, demasiado yeso
4	2	1	1	100%	50%	Poroso, se deshacía muy fácilmente
2	3	1	1	50%	100%	Fragil
6	4	1	1	100%	150%	Rompio
3	5	1	1	50%	150%	Pasta
9	6	1	1	150%	150%	Pesado, demasiado yeso
5	7	1	1	100%	100%	Entero
7	8	1	1	150%	50%	Entero, poroso
1	9	1	1	50%	50%	Entero

Se observaron los resultados obtenidos de este estudio y con esto se pudo apreciar que la cantidad ideal para la elaboración de los paneles era entre el 50 y el 100% de yeso y agua en relación a la cantidad de gcr, al igual en relación entre ambas variables, ya que si se le daba un porcentaje mayor del 100% de agua en relación al yeso, el resultado era un tipo pasta y no secaba; y al ser menor del 50% quedaba muy poroso y quebradizo, de igual manera al poner un porcentaje mayor del 100% de yeso en relación al gcr, la materia prima pasaría a ser el yeso, y si se le daba un porcentaje menor al 50%, de igual manera quedaba muy poroso y frágil. Ver imagen 2



Imagen 2. Agua y yeso

Con estos resultados se pudieron obtener las cantidades recomendadas de yeso y agua para la elaboración del producto. Después de obtener dichos datos se procedió a realizar un Diseño Factorial, en el cual se le asignó 3 niveles a cada variable, cada nivel se basó en el porcentaje del 50, 75 y 100% de acuerdo al peso de caucho, dicho peso se definió por 50, 100 y 150 gr, dando como resultado un diseño factorial de 27 muestras. Una vez realizado el diseño factorial en el software Minitab 16, como

se observa en la tabla 2, se procedió a realizar dicho experimento en el laboratorio.

TABLA 2. DISEÑO EXPERIMENTOS: CAUCHO, AGUA Y YESO

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C
10	1	1	1	100 gr	50%	50%
11	2	1	1	100 gr	50%	75%
15	3	1	1	100 gr	75%	100%
9	4	1	1	50 gr	100%	100%
12	5	1	1	100 gr	50%	100%
8	6	1	1	50 gr	100%	75%
21	7	1	1	150 gr	50%	100%
6	8	1	1	50 gr	75%	100%
23	9	1	1	150 gr	75%	75%
13	10	1	1	100 gr	75%	50%
2	11	1	1	50 gr	50%	75%
22	12	1	1	150 gr	75%	50%
19	13	1	1	150 gr	50%	50%
4	14	1	1	50 gr	75%	50%
1	15	1	1	50 gr	50%	50%
14	16	1	1	100 gr	75%	75%
20	17	1	1	150 gr	50%	75%
3	18	1	1	50 gr	50%	100%
5	19	1	1	50 gr	75%	75%
26	20	1	1	150 gr	100%	75%
7	21	1	1	50 gr	100%	50%
17	22	1	1	100 gr	100%	75%
27	23	1	1	150 gr	100%	100%
25	24	1	1	150 gr	100%	50%
24	25	1	1	150 gr	75%	100%
16	26	1	1	100 gr	100%	50%
18	27	1	1	100 gr	100%	100%

C. Proceso de elaboración de paneles

En base a este diseño de experimentos, donde la variable A es Gcr, B es yeso y C es agua, se siguió el proceso que se menciona a continuación, para la elaboración de los paneles.

1) Pesado de gcr, yeso y agua.

Primeramente se pesó el gcr, dependiendo de la cantidad en gramos que el diseño factorial nos diera, posteriormente se pesó el yeso dependiendo del porcentaje en relación al gcr y de igual manera para el agua.

2) Mezclado

Se vertieron los componentes en un bote de plástico, primeramente el gcr junto con el yeso y se mezclaron y

posteriormente se vació el agua para continuar mezclando hasta que se obtuvo una mezcla homogénea.

3) Vertido de mezcla en moldes (10x10cm)

Una vez obtenida la mezcla homogénea de los materiales, se procedió a verter la mezcla en los moldes, ya que se vertió toda la mezcla se comprimió un poco la mezcla para obtener una superficie plana en el panel. Imagen 3

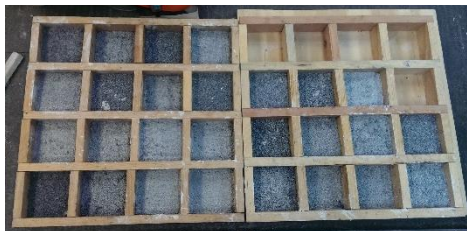


Imagen 3. Vertido de mezcla en moldes

4) Secado de 24 horas

Después de verter toda la mezcla en el molde, se dejó reposar la mezcla por 24 horas dentro de los moldes, para su curado.

5) Dustracción del panel

Una vez curada la mezcla, se procedió a sustraer el panel del molde, para este paso se tuvo que desarmar todo el molde para poder extraer el panel en una sola pieza.

D. Pruebas

Las pruebas físicas y mecánicas que se le debieron haber aplicado al panel no se lograron hacer, como lo dicen las limitaciones, no se cuenta con la maquinaria adecuada para hacerle dichas pruebas al material, algunas pruebas que se le podrían hacer al material en investigaciones futuras son: de flexibilidad, impacto, elongación a la temperatura y absorción de humedad.

La prueba que se le realizó al panel, fue una prueba sobre acústica, en la cual se obtuvieron los valores en decibeles de la aislación acústica de cada panel, mediante una cámara.

Primeramente se construyó dicha cámara en madera, 5 de sus 6 lados se hicieron de madera, en el sexto lado se colocó el panel al cual se le aplicó dicha prueba, así como la modificación de la bocina, la cual se unió a un tubo de PVC de 20 cm de largo.

El instrumento de medición que se utilizó fue un decibelímetro marca Steren modelo HER-400, así como el sonido que se utilizó fue un pulso de 2000Hz (referencia), el cual se reprodujo por medio de una computadora, la bocina que se utilizó para este experimento fue marca Perfect Choice modelo PC-111610.

Una vez elaborado lo antes mencionado, se procedió a realizar las pruebas. Las pruebas constaron en reproducir el pulso de 2000Hz por medio de la bocina por 15 segundos, apuntando directamente la bocina por un lado de la cámara, dentro de la cámara se ubicó el decibelímetro, el cual dio el valor en decibeles que entraba a la cámara. Imagen 4



Imagen 4. Prueba de aislamiento acústico realizada a paneles.

Se realizó dicho experimento sin panel, para así obtener la cantidad de decibeles que entraron la cámara, este valor fue el valor inicial. Posteriormente, se colocó un panel y se repitió el experimento, se reprodujo el pulso y se apuntó el valor mínimo que expulso el decibelímetro, este experimento se realizó 28 veces, una vez para cada panel y una sin panel.

Ya que se realizaron todos los experimentos, se procedió a analizar los datos. Se restó el valor inicial en dB, el cual se manejó con el nombre “solo” en los análisis y el valor mínimo en dB que expulso el decibelímetro para cada panel, y el valor resultante fue la cantidad de dB que aisló el panel.

Se realizó una pequeña prueba de inflamabilidad, en la cual se apreció que el material es poco inflamable a pesar de ser caucho, no se encendió ya que el yeso no lo permitió

E. Comparación

Para la comparación se eligieron los mejores 3 paneles así también se eligió el mejor panel de acuerdo a la cantidad de caucho del diseño de experimentos, las cuales eran de 50, 100 y 150gr, obteniendo un total de 5 paneles, los cuales corresponden a los paneles 5, 7, 9, 18 y 23, de acuerdo al orden de la corrida y los cuales se compararon con materiales usados para la construcción de casas y materiales aislantes acústicos.

Debido a que solo se usarían materiales de bajo costo, solo se pudieron obtener dos materiales usados en la construcción de edificios y casas como aislantes acústicos, los cuales serían el cielo falso y la fibra de vidrio.

Por lo tanto los materiales con los cuales se compararon los paneles fueron: (Imagen 5)

- 1) Madera triplay de ½ pulgada
- 2) Cielo falso
- 3) Tablaroca ½ pulgada
- 4) Fibra de vidrio



Imagen 5. Materiales de comparación: cielo falso, fibra de vidrio, madera y tablaroca.

Para esta comparación de materiales, se realizó la misma prueba que se le aplicó a los paneles.

F. Costos

La elaboración de los paneles no será a nivel industrial, si no que se realizó de una manera más artesanal. Tomando esto en cuenta se obtuvieron los costos directos e indirectos, así como la compra de maquinaria y sueldo de trabajadores, para así obtener el precio costo y precio venta, los cuales se mencionan más adelante. Para obtener los costos de las materias primas se pidieron cotizaciones a diferentes proveedores de caucho y yeso, así como los precios al mayoreo y menudeo, en cuanto al agua, esta se maneja directamente con Agua y Drenaje de Monterrey y es un costo indirecto, los costos del agua se obtuvieron por medio de la página web de dicha entidad, en este caso se utilizó la tarifa para comercios e industrias. El costo fue por metro cuadrado.

1) Cotizaciones

Como se puede observar en la siguiente tabla donde CXU corresponde al costo por unidad y cxu(kg) es la cantidad de kilogramos que trae dicha unidad, así como el IVA que se aplicó solo al polvo de llanta, ya que los demás costos ya incluían IVA, el txcompra se refiere al precio total por la compra del producto y por último en relación a estos costos se sacó el costo por kilogramo de cada materia prima.

TABLA 3. COTIZACIONES CAUCHO Y YESO

Empresa	Caucho		IVA	Txcompra	Costoxkg
	CXU	CXU (kg)			
Polvo de llanta	\$ 4.50	500	16%	\$ 2,610.00	\$ 5.22
Haguel menudeo	\$ 100.00	30		\$ 100.00	\$ 3.33
Haguel mayoreo	\$ 95.00	5000		\$ 75,000.00	\$ 3.17
	Yeso				

Home depot menudeo	\$ 72.00	40		\$ 72.00	\$ 1.80
Home depot mayoreo	\$ 68.44	40		\$ 68.44	\$ 1.71
Yesera mty	\$ 1,812.50	1000		\$ 1,812.50	\$ 1.81

Una vez hecho esto se procedió a convertir nuestros paneles elegidos, de centímetros cuadrados a metros cuadrados, multiplicando por 100 ya que nuestros paneles median 10x10 cm y así obtener la relación a metros cuadrados que se ocuparían para el costo. De igual manera con las unidades de peso se pasaron de gramos a kilogramos, obteniendo la tabla 4.

TABLA 4. PROPORCIÓN A KILOGRAMOS

Panel	Panel 1m2			Peso total (kg)
	Caucho (kg)	Yeso (kg)	Agua (kg)	
1	15	15	15	45
2	15	7.5	15	37.5
3	15	11.25	11.25	37.5
4	10	5	10	25
5	5	2.5	5	12.5

Ya que se tuvieron las cantidades de cada panel en kilogramos, se elaboró la tabla 5 en la cual se aprecian los costos de cada panel solo del caucho, y en la tabla 6 los costos por panel en relación al yeso, con cada uno de sus proveedores.

TABLA 5. COSTOS POR PANEL SOLO CAUCHO

Panel	Caucho		
	Polvo de llanta	Haguel menudeo	Haguel mayoreo
1, 2, 3	\$ 78.30	\$ 50.00	\$ 47.50
4	\$ 52.20	\$ 33.33	\$ 31.67
5	\$ 26.10	\$ 16.67	\$ 15.83

TABLA 6. COSTOS POR PANEL SOLO YESO

Panel	Yeso		
	Home depot menudeo	Home depot mayoreo	Yesera mty
1	\$ 27.00	\$ 25.67	\$ 27.19
2	\$ 13.50	\$ 12.83	\$ 13.59
3	\$ 20.25	\$ 19.25	\$ 20.39
4	\$ 9.00	\$ 8.56	\$ 9.06
5	\$ 4.50	\$ 4.28	\$ 4.53

El costo del agua se tomó a \$5.90 el metro cubico, variando la cantidad de agua que ocupaba cada panel se sacó la relación y se obtuvo la tabla 7.

TABLA 7. COSTO DE AGUA POR PANEL

Agua
0.09232108
0.09232108
0.06924081
0.06154738
0.03077369

Después de obtener los costos directos se procedió a obtener los precios indirectos, los cuales fueron la paga del trabajador, la cual se observa en la tabla 8, se le pagaron 2 salarios mínimos por día, dicha cantidad se dividió entre el número de panales que se realizaron en 1 día. De la misma manera se obtuvo la depreciación de dos máquinas a un año, un taladro y una báscula, como se muestra en la tabla 9 y por último se obtuvo el costo de acuerdo a la tarifa de energía eléctrica seleccionada la cual fue el cargo por kilowatt- hora de energía eléctrica de acuerdo a la región Noreste, como se observa en la tabla 10, todos estos costos son de acuerdo a un panel de un metro cuadrado.

TABLA 8. COSTO POR PANEL DE ACUERDO AL SALARIO MINIMO DEL TRABAJADOR

Salario	\$
Minimo	68.28
Dia	136.56
Panel	2.845

TABLA 9. DEPRECIACION DE TALADRO Y BASCULA

Depreciación	Taladro	Bascula
Costo	\$ 999.00	\$ 1,750.00
Anual	\$ 999.00	\$ 1,750.00
Mensual	\$ 83.25	\$ 145.83
Día	\$ 2.78	\$ 4.86
Panel	\$ 0.06	\$ 0.10

TABLA 10. COSTO DE ENERGIA ELECTRICA

	Costoxhora	Costo por día de trabajo	Costo por Panel
Región Noreste	\$ 0.8537	\$ 6.8296	\$ 0.14228333

2) Precio costo

Con estos datos se elaboró el precio costo de cada panel el cual se presenta en la tabla 11 en rango de acuerdo al precio costo más alto y al más bajo.

TABLA 11. PRECIOS COSTOS

Panel	Precio costo	
	Mayor	Menor
1	\$ 108.73	\$ 76.40
2	\$ 95.13	\$ 63.57
3	\$ 101.91	\$ 69.96
4	\$ 64.47	\$ 43.43
5	\$ 33.81	\$ 23.29

3) Precio venta

Después de obtener nuestros precios costos se procedió a calcular los precios venta del producto, así como su margen de utilidad, obteniendo la tabla 12.

TABLA 12. PRECIOS VENTA POR PANEL (M²)

Panel	Precio costo	%	Precio venta	Margen de utilidad
1pdl*ynty	\$ 108.73	0.2	\$ 130.47	\$ 21.75
1hamay*hdmay	\$ 76.40	0.5	\$ 114.61	\$ 38.20
2pdl*ynty	\$ 95.13	0.2	\$ 114.16	\$ 19.03
2hamay*hdmay	\$ 63.57	0.6	\$ 101.71	\$ 38.14
3pdl*ynty	\$ 101.91	0.2	\$ 122.29	\$ 20.38
3hamay*hdmay	\$ 69.96	0.4	\$ 97.95	\$ 27.99
4pdl*ynty	\$ 64.47	0.2	\$ 77.36	\$ 12.89
4hamay*hdmay	\$ 43.43	0.7	\$ 73.83	\$ 30.40
5pdl*ynty	\$ 33.81	0.2	\$ 40.57	\$ 6.76
5hamay*hdmay	\$ 23.29	0.8	\$ 41.92	\$ 18.63

El % de margen de utilidad se basó de acuerdo al precio de venta más alto, conforme a ese precio se le dio más margen de utilidad al precio más bajo, intentando igualar el precio para así tener un mayor margen de utilidad y de igual manera que los costos no se elevaran tanto.

IV. RESULTADOS

Como se puede observar en la tabla 13, los paneles que se elaboraron tuvieron una gran aislación de sonido, la mayor cantidad de aislante acústica fue de 26.1 dB y lo obtuvo el panel 23, y la menor aislación acústica corresponde al panel 10 el cual disminuyó solo 5.9 dB.

TABLA 13. REDUCCIÓN DB

RunOrder	A	B	C	dB mínimo	Respuesta
----------	---	---	---	-----------	-----------

1	100 gr	50%	50%	95.3	9.2
2	100 gr	50%	75%	87.6	16.9
3	100 gr	75%	100%	82.5	22
4	50 gr	100%	100%	88.5	16
5	100 gr	50%	100%	81.4	23.1
6	50 gr	100%	75%	89	15.5
7	150 gr	50%	100%	79.5	25
8	50 gr	75%	100%	90.1	14.4
9	150 gr	75%	75%	80.7	23.8
10	100 gr	75%	50%	98.6	5.9
11	50 gr	50%	75%	90.6	13.9
12	150 gr	75%	50%	89.4	15.1
13	150 gr	50%	50%	85.2	19.3
14	50 gr	75%	50%	91.5	13
15	50 gr	50%	50%	98.1	6.4
16	100 gr	75%	75%	83.1	21.4
17	150 gr	50%	75%	81.8	22.7
18	50 gr	50%	100%	87.7	16.8
19	50 gr	75%	75%	91.4	13.1
20	150 gr	100%	75%	80.7	23.8
21	50 gr	100%	50%	97.8	6.7
22	100 gr	100%	75%	87.9	16.6
23	150 gr	100%	100%	78.4	26.1
24	150 gr	100%	50%	85.4	19.1
25	150 gr	75%	100%	84.3	20.2
26	100 gr	100%	50%	95.9	8.6
27	100 gr	100%	100%	83.8	20.7
	Solo			104.5	

Después de realizar una tabla comparativa se obtuvieron los mejores 5 paneles, los 3 mejores paneles de la tabla y 2 paneles más los cuales se obtuvieron de acuerdo al mejor de 100 gr y 50 gr de caucho, como se muestra en la tabla 14.

TABLA 14. MEJOR PANELES AISLANTES ACUSTICOS

RunOrder	A	B	C	Respuesta (dB)
23	150 gr	100%	100%	26.1
7	150 gr	50%	100%	25
9	150 gr	75%	75%	23.8
5	100 gr	50%	100%	23.1
18	50 gr	50%	100%	16.8

En cuanto a los resultados de la comparación con otros materiales dio positiva en cuanto a los paneles de caucho y yeso,

resultando mejor la aislación de los paneles escogidos en comparación a los materiales comerciales elegidos para dicha comparación como se puede observar en la tabla 15.

TABLA 15. COMPARACION ACUSTICA CON DISTINTOS MATERIALES DE CONSTRUCCION

Panel	Respuesta inicial	Respuesta
Panel 23	75.5	26.7
Panel 7	77.2	25
Panel 5	78.1	24.1
Panel 9	78.8	23.4
Cielo falso	83.7	18.5
Tablaroca	84.7	17.5
Panel 18	85.2	17
Madera	87.2	15
Fibra de vidrio	89.1	13.1
Solo	102.2	

V. CONCLUSIONES

1) Discusion de resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos se demostró que los paneles elaborados tienen una gran aislación acústica, a pesar de su gran peso, también se puede observar que entre más grueso sea el panel más aislante será, esto se demuestra observando los 3 mejores paneles, los cuales tienen la mayor cantidad de caucho y varían el porcentaje de agua y yeso. También se eligieron los 3 mejores paneles de acuerdo a la cantidad en gramos de caucho que tenían, el mejor de 150 gr tiene una aislación acústica de 26.1 dB, el mejor de 100 gr tiene una aislación acústica de 23.1 y el mejor de 50 gr tiene una aislación acústica de 16.8 dB.

En cuanto a la comparación con materiales para la construcción, las pruebas dieron positivas, ya que la mayoría de los paneles que se eligieron, obtuvieron una mayor aislación de sonido que los materiales utilizados para la construcción y aislantes acústicos.

2) Conclusiones de la investigación

Los paneles elaborados tuvieron una gran aislación de sonido, el material ligante logró una unión buena para la elaboración de los paneles y los paneles de caucho fueron mejores en cuanto a aislante acústico comparado con materiales para la construcción y algunos aislantes acústicos.

3) Futuros aportes

a) Instalación de paneles acústicos

Debido a que esta investigación se enfocó más en encontrar un ligante para el caucho y elaborar un producto en base a eso, no se planeó la instalación de dicho material en casas, estudios o en la industria, una futura investigación podría abarcar la instalación y sus costos, así como la realización de las pruebas físicas al producto.

b) Bacheo con chapopote y gcr

Se logró encontrar otro ligante el cual fue el chapopote, con este ligante se podría hacer una investigación en la cual se haga bacheo con chapopote y gcr ya que en estas condiciones no afecta ni el olor fuerte, ni el ser inflamable por estar al aire libre.

c) *Tubo de impedancia*

Construcción y elaboración de un tubo de impedancia, para así poder poner a prueba de una forma más científica al material desarrollado en esta investigación.

d) *Plan de negocios para fabrica elaboradora de paneles*

Elaboración de plan de negocios, el cual incluya todo el proceso del triturado de caucho, desde que llega la llanta hasta la instalación del producto.

VI. AGRADECIMIENTOS

A mi asesor por su apoyo.

VII. REFERENCIAS

- [1] INGREMEX. (2015, 4 Abril). *Ingeniería y reciclaje mexicano*. Available: <http://www.ingremex.com/>
- [2] A. S. F. Infante, E. B. F. Santanilla, C. P. Amaya, and M. R. P. Camelo, "Contrastación entre el asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada empleando dos métodos de mezclado," *Épsilon*, pp. 69-79, 2008.
- [3] A. S. F. Infante, A. S. Castillo, and F. A. R. Lizcano, "Caracterización física de un asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada," *Épsilon*, pp. 41-55, 2007.
- [4] C. R. de Llantas and H.-M. Asphalts, "Influencia de la Temperatura de Compactación Sobre la Resistencia Bajo Carga Monotónica de Mezclas Asfálticas Modificadas con Grano de," 2012.
- [5] H. G. Botasso, O. Rebollo, A. Cuattrocchio, and C. Soengas, "Utilización de caucho de neumáticos en mezcla asfáltica densa en obras de infraestructura," *Infraestructura vial*, vol. 10, 2012.
- [6] J. Cárdenas and E. Fonseca, "Modelación del comportamiento reológico de asfalto convencional y modificado con polímero reciclado, estudiada desde la relación viscosidad-temperatura," *Revista EIA*, vol. 12, pp. 125-137, 2009.
- [7] K. Gondra and S. Neira, "Productos plásticos a partir de triturado de caucho," *INGENIERIA QUIMICA-MADRID*, vol. 33, pp. 185-194, 2001.
- [8] J. E. C. Amorós, E. J. Sanchis, A. N. Gisbert, and J. M. G. Borrell, "Estimación de la absorción acústica de paneles fabricados con neumáticos reciclados," *Dyna*, vol. 89, pp. 106-111, 2014.
- [9] J. L. I. Mitma, A. R. C. Pinzás, and R. V. Chia, "Diseño y desarrollo de nuevos materiales textiles para el aislamiento y acondicionamiento acústico," *Industrial Data*, vol. 13, pp. 80-84, 2010.

