

# Evaluación térmica en mezclas de mortero a base de cemento, arena y caucho granulado



## Colaboración

Diana Carolina Álvarez García; José Fidel Navarro Arellano; Luis Aarón García Solórzano; Tecnológico Nacional de México / Campus Colima; Jorge Armando Ojeda Sánchez, Universidad de Colima

Fecha de recepción: 29 de enero de 2022

Fecha de aceptación: 11 de mayo del 2022

**RESUMEN:** Hoy en día se busca contribuir al medio ambiente, a partir de la utilización o aplicación de materiales reciclados. En los últimos años el Caucho granulado a generando grandes expectativas, figurando en el desarrollo de nuevos productos. Esta investigación tiene como objetivo el incluir este material en mezclas de mortero de cemento-arena en distintas proporciones, permitiendo evaluar y determinar la mezcla con mejor desempeño aislante. Las mediciones térmicas a las mezclas propuestas se realizaron con el dispositivo “KD2 PRO” Thermal Properties Analyzer, obteniendo información del calor específico, conductividad, resistividad y difusividad térmica de cada mezcla. Los resultados arrojados por los prototipos arrojaron un promedio en conductividad de 0.227 W/m.K, catalogando a las mezclas propuestas como medianos aislantes, donde la mezcla M3 es la que logró un mejor desempeño aislante contemplando todas sus características térmicas.

**PALABRAS CLAVE:** Caucho Granulado, Comportamiento Térmica, Mezcla, Reciclado, Innovación.

**ABSTRACT:** Today Today we seek to contribute to the environment, from the use or application of recycled materials. In recent years, granulated rubber has generated great expectations, appearing in the development of new products. The objective of this research is to include this material in cement-sand mortar mixtures in different proportions, allowing the evaluation and determination of the mixture with the best insulating performance. The thermal measurements of the proposed mixtures were carried out with the “KD2 PRO” Thermal Properties Analyzer device, obtaining information on the specific heat, conductivity, resistivity and thermal diffusivity of each mixture. The results obtained by the prototypes showed an average conductivity of 0.227 W/m.K, classifying the proposed mixtures as medium insulators, where the M3 mixture is the one that achieved the best insulating performance considering all its thermal characteristics.

**KEY WORDS:** Granulated Rubber, Thermal Behavior, Blend, Recycling, Innovation

## INTRODUCCIÓN

Debido al alto crecimiento automotriz, es cada día mayor la cantidad de neumáticos producidos y desechados a nivel mundial. Los neumáticos inservibles, cuya degradación natural puede demorar siglos, constituye uno de los problemas medioambientales más serios de los últimos años en el mundo. Deshacerse de forma limpia de los neumáticos inservibles no es fácil. La quema directa, por ejemplo, provoca la emisión a la atmósfera de gases y partículas nocivas, y como la combustión en hornos de alta calidad que garanticen un mínimo de emisiones tiene alto costo. [1]

La acumulación de neumáticos en vertederos también son un grave problema, pues estos llegan a liberar sustancias químicas al aire, al suelo y al agua, dando como consecuencia alteraciones en el ecosistema. Basta con dejar los neumáticos en el suelo durante un periodo prolongado para erradicar las bacterias beneficiosas del

suelo, las cuales son las encargadas de proveer de nutrientes a la flora y fauna en un ecosistema. [2]

En Colima los neumáticos desechados forman parte de la basura urbana, que, aunque no es considerado como residuo peligroso, es un problema grave en términos de disposición final, pues los grandes volúmenes encontrados en los rellenos sanitarios reflejan la importancia que tiene este material. Así mismo en el proceso de revitalizado de neumáticos existen también la generación considerable de este material triturado, pues simplemente en la ciudad de Colima la generación de llanta triturada asciende a 6 m<sup>3</sup> semanales. [3]

En la industrial de la construcción se está en constante movimiento para idear nuevos materiales que reduzcan el impacto ambiental y aporten mejores cualidades como de aislamiento térmico, físico mecánicas, acústicas, entre otras. Mencionado esto, se busca ofrecer una alternativa al uso del caucho granulado, pudiéndose aplicar en diseños de mezclas en la construcción, para ver el comportamiento térmico que puede lograr, permitiendo dar un reúso a estos materiales desechos y dar una aportación a la reducción de contaminación ambiental.

El aislamiento térmico es la capacidad de un material para oponerse al paso de calor, en la construcción se ve reflejado entre la energía calórica que hay en el ambiente interior y exterior. [4]

Un buen aislamiento térmico en una edificación se traduce en el mejoramiento de calidad de vida de los usuarios, tanto en periodos de invierno (calefacción) como en verano (refrigeración). De aquí la importancia de los materiales con esta cualidad de aislante, permitiendo ahorros de energía, manteniendo climas con mayor confort.

Para determinar el grado de aislamiento térmico, la investigación se apoya en la conductividad térmica, donde según Cotrina [5], expone una tabla con una clasificación que de acuerdo a su conductividad se cataloga el grado de aislamiento que posee el material. (Ver tabla 1)

Tabla 1. Clasificación de aislamiento según conductividad térmica del material.

Valor $\lambda$ (W/m.K)	Clasificación
$0.024 \leq \lambda \leq 0.038$	Muy buenos Aislantes
$0.038 < \lambda \leq 0.16$	Buenos Aislantes
$0.16 < \lambda \leq 0.46$	Medianos Aislantes
$0.46 < \lambda \leq 1.62$	Malos Aislantes
$\lambda > 1.62$	Conductores

La finalidad de la investigación es conseguir una mezcla de mortero con el agregado de caucho granulado, analizando sus características térmicas y su grado de aislamiento, pudiendo generar expectati-

vas del posible empleo de este en el ramo constructivo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Caucho Granulado:** El caucho granulado se obtiene de los neumáticos fuera de uso (NFU), este material se somete a un proceso de trituración, mediante unas máquinas trituradoras y de granulación de diferente capacidad, en ellas se separa el caucho del acero o la fibra textil. [6] El caucho sintético es un polibutadieno que se fabrica de forma artificial mediante reacciones químicas conocidas como polimerización, a partir de determinados hidrocarburos insaturados. Otro método al cual se somete el caucho sintético es la vulcanización, donde dicho material se calienta en presencia de azufre haciendo que conserve su elasticidad en frío o caliente. [7] El caucho tiene una densidad aproximada de entre 0.950 g/cm<sup>3</sup> a 0 °C y 0.934 g/cm<sup>3</sup> a 20 °C, considerándose un material ligero. [8]

**Cemento:** Los cementos producidos a partir de 1850 lo fueron con métodos modernos, moliendo la cal y la arcilla en un molino húmedo y calcinando la mezcla a temperaturas entre 1300 y 1500 °C. La caliza se convierte así en cal viva, que se une químicamente con la arcilla formando un clínker de cemento Portland. Después de volver a moler y calcinar, el clínker blanco caliente se deja enfriar y se añade una pequeña cantidad de yeso para prolongar el tiempo de fraguado. [9] El cemento portland es un polvo finamente molido, compuesto principalmente por silicatos de calcio y, en menor proporción, por aluminatos de calcio, que, mezclado con agua se combina, fragua y endurece a temperatura ambiente, tanto al aire como bajo el agua. La densidad de este material es de 2.8 g/cm<sup>3</sup>. [10]

**Arena:** La arena es un tipo de agregado fino o árido que se utiliza para fabricar concreto y mortero; se compone de partículas de rocas trituradas que pueden ser muy pequeñas y finas o un poco más grandes dependiendo del uso para el que sea destinada. La arena tiene de densidad de 1.5 g/cm<sup>3</sup>.

## Diseño de mezclas y prototipos:

Como sustento para un buen diseño de proporción de mezcla, se consideró emplear el utilizado en la fabricación de concretos por parte de la (Portland Cement Association) PCA, donde nos menciona que las proporciones de la mezcla para un metro cúbico de concreto se calculan usando el rendimiento de la mezcla (volumen) y la densidad [11]. Para efectos de prueba exploratoria de esta investigación se desarrollaron las proporciones de forma arbitraria, variando un 5% la cantidad en Caucho Granulado, un 2.5% en Cemento-Arena y manteniendo un porcentaje fijo en la cantidad de Agua para cada módulo. (Ver tabla 2)

Tabla 2. Proporciones de probetas.

MÓDULO	MATERIALES %			
	AGUA	ARENA	CAUCHO GRANULADO	CEMENTO PORTLAND
M-1	20	45	20	15
M-2	20	37.5	25	17.5
M-3	20	30	30	20
M-4	20	22.5	35	22.5
M-5	20	15	40	25
M-6	20	7.5	45	27.5

La elaboración de la cimbra para realizar los prototipos, consistió en construir un módulo con capacidad para 3 probetas, con la finalidad de tener otras 2 muestras que permitan corroborar las mediciones de cada una de las mezclas propuestas en la tabla.

La fabricación de la cimbra está conformada por dos tablas de 50 x 10 cm con espesor de 2 cm, y 4 tablas de 10 x 10 cm del mismo espesor, una de las tablas de 50 cm, se segmenta de tal manera para que quede cupo a 3 secciones de 10 cm centrales, dejando 6 cm a los extremos, espacio destinado para fijar las anclas, segmentada la tabla se fijaron con dos tornillos las 4 tablas de 10 cm en segmentos asignados. Las anclas se fijaron al centro del espacio destinado a los extremos con una varilla de 25 cm con un espesor de 1/3", sujetándolas con dos turcas dejándolas fijas y de tipo mariposa en la cara que se va a retirar, posteriormente se procede a aceitar, con el propósito de evitar la hinchazón de la madera al entrar en contacto con la mezcla fresca, además de facilitar el desmolde de los especímenes. (Ver figura 1)

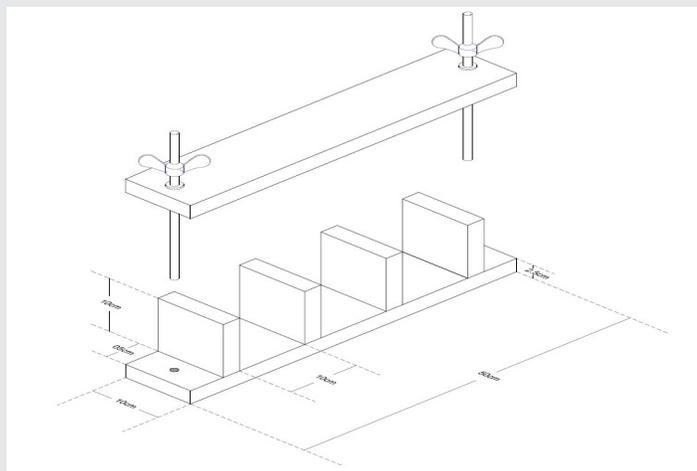


Figura 1. Isométrico de cimbra para prototipos.

Fabricada la cimbra, se realizarán las mezclas de acuerdo a los porcentajes indicados en la tabla, teniendo en cuenta la relación de volumen-densidad. Mencionado lo anterior el volumen se calculó multiplicando cada uno de los lados de un cubo de 10 cm, dando un subtotal de 1000 cm<sup>3</sup>, resultado que

se multiplicó por 3, dado que la cimbra contempla 3 especímenes. En cuanto al tema de la densidad de los materiales se realizó una sumatoria de cada uno dando un total de 5.82 g/cm<sup>3</sup>, realizada la sumatoria se dividió entre el número de materiales obteniendo un promedio, obteniendo el siguiente resultado 1.45 g/cm<sup>3</sup>.

La cantidad necesaria de mezcla es el producto de la multiplicación del volumen por la densidad, siendo 4.3 kg, a este resultado se contempla un 5% de desperdicio, dando una mezcla neta de 4.56 kg para la elaboración de 3 especímenes.

Conocida la cantidad de mezcla necesaria para realizar los especímenes se procede a realizar la sustitución de los porcentajes de acuerdo a este peso conseguido. Partiendo como ejemplo la Mezcla No1, donde se tiene 15% de Cemento, 45% de Arena, 20% de Caucho y un 20% de Agua, realizada la sustitución, se obtienen los siguientes valores, 680 g de Cemento, 2009 g de Arena, 912 g de Caucho y Agua, este proceso se repitió sucesivamente con cada una de las demás mezclas. Realizada la sustitución de las mezclas y conociendo la cantidad necesaria de cada material, se procede a pesar en una báscula electrónica cada material, contemplando además un recipiente para agregar los materiales secos y mezclarlos hasta homogeneizar, realizado este paso se vertió el agua requerida para ir mezclando hasta obtener una consistencia adecuada, por último, se vertió la mezcla en el molde, dejándose reposar de 10 a 12 horas para su desmolde. Este proceso se llevó a cabo repetidamente con el resto de las mezclas, y finalizando el proceso con un marcado de los especímenes para su correcta identificación. (Ver figura 2)



Figura 2. Proceso para generar la mezcla.

El instrumento contemplado para la medición térmica fue el KD2 PRO, del manual de este dispositivo se extrajo las dimensiones recomendadas de las probetas, siendo de 10 x 10 x 10 cm, dejando dos orificios al centro con una separación de 5 mm, con la finalidad de que por estos se inserte el sensor. (Ver figura 3) [12]



Figura 3. Proceso para medición con el instrumento KD2 PRO.

**RESULTADOS**

En la tabla 3 y 4 se observa toda la información recopilada de las pruebas térmicas, así como la composición de los prototipos, además de sus características físicas, la interpretación de los resultados se realizó en forma gráfica donde se observa la composición de los prototipos y el comportamiento en las pruebas térmicas.

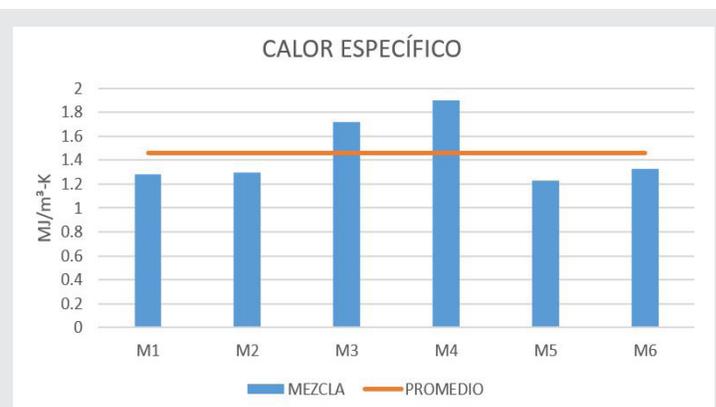
Tabla 3. Características Térmicas.

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS				
MÓDULO	CALOR ESPECÍFICO (MJ/m <sup>3</sup> -K)	CONDUCTIVIDAD (W/m-K)	RESISTIVIDAD (°C-cm/W)	DIFUSIVIDAD (mm <sup>2</sup> /s)
M-1	1.285	0.207	483.7	0.161
M-2	1.295	0.22	455.4	0.17
M-3	1.718	0.209	477.5	0.122
M-4	1.902	0.255	391.9	0.134
M-5	1.232	0.261	383.2	0.212
M-6	1.324	0.21	477.2	0.158

Tabla 4. Características Físicas.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS			
MÓDULO	PESO (kg)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )
M-1	1.193	0.001	1193
M-2	1.163	0.001	1163
M-3	1.254	0.001	1254
M-4	1.200	0.001	1200
M-5	1.192	0.001	1192
M-6	1.142	0.001	1142

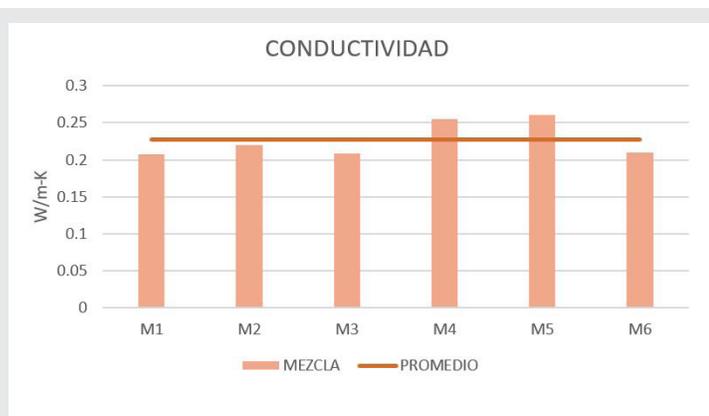
Los resultados de las mezclas con respecto al calor específico se aprecian en la gráfica 1, en la cual se observa que se obtuvo un promedio de 1.46 MJ/m<sup>3</sup>-K, con base a este valor obtenido se deduce que solo dos mezclas están sobre el promedio, siendo las mezclas M3 y M4, sin embargo la M4 es la de mayor valor, con una diferencia sobre el promedio de 0.44 MJ/m<sup>3</sup>-K y de 0.67 MJ/m<sup>3</sup>-K con respecto a la mezcla M5, siendo esta la de menor valor, por lo tanto la mezcla M4 muestra ser la que mayor capacidad tiene de absorber calor antes de elevar su temperatura.



Gráfica 1. Valores obtenidos de Calor Específico.

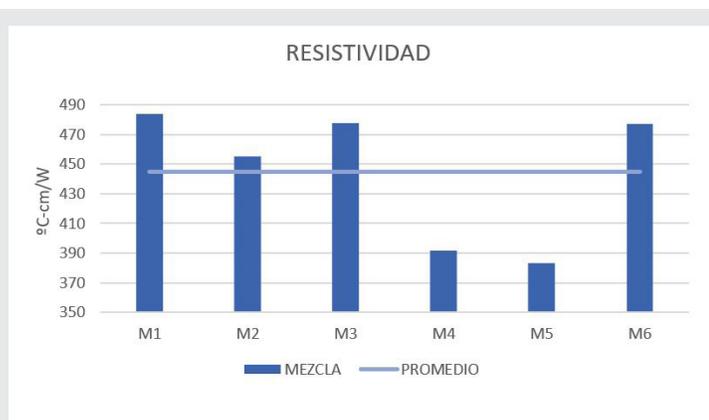
Los resultados de la siguiente característica térmica son los de conductividad, los cuales se pueden apreciar en la gráfica 2, donde al igual que la anterior figura de inicio se puede percatar una línea que representa el valor promedio de las mezclas, a simple vista se observa que nuevamente 2 mezclas están por encima del promedio, en este caso las mezclas M4 y M5, mientras que el resto de las mezclas se encuentran por debajo del valor promedio, de hecho la M1, M3 y M6 obtuvieron valores muy similares no abarcando una diferencia mayor a 0.003 W/m-K, sin embargo de estas tres mezclas la de menor valor es la M1 con 0.207 W/m-K. En la

tabla 1 se observó una clasificación de los materiales aislantes según su conductividad, por lo que las mezclas analizadas se encuentran en el grupo de medianos aislantes encontrándose en el rango de 0.16-0.46 W/m-K, siendo la M1 con una mayor capacidad de aislamiento térmico.



Gráfica 2. Valores obtenidos de Conductividad Térmica.

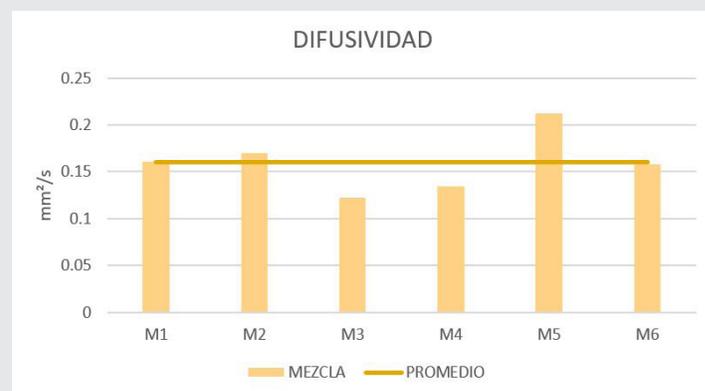
La resistividad térmica es la siguiente característica que se evaluó en las mezclas y se representan los resultados de esta en la gráfica 3. Los resultados muestran la capacidad de las mezclas para oponerse al flujo de calor, termino inverso al de conductividad. En este caso se observa que 4 mezclas se encuentran por encima del valor promedio y 2 por debajo, mostrando un comportamiento inverso de figura correspondiente a la de conductividad. La mezcla M1 es la que presenta mayor resistencia al paso del calor con un valor de 483.7°C - cm/W, mientras que los resultados de las mezclas M3 y M6 son parcialmente iguales con valores de 477.5 y 477.2°C - cm/W respectivamente. Con estos resultados se reafirma que estas 3 mezclas son las que mejor desempeño aislante poseen del grupo propuesto.



Gráfica 3. Valores obtenidos de Resistividad Térmica.

Por último, la evaluación de la característica de difusividad, mostrando la relación entre la capacidad

de almacenamiento de energía y la conductividad del material, describiendo cuán rápido las mezclas propuestas reaccionan a un cambio de temperatura. En la gráfica 4, se muestran los resultados de la difusividad térmica, al igual que las anteriores figuras se aprecia la una línea indicando el valor promedio de las mezclas, siendo este de 0.16 mm<sup>2</sup>/s. En este caso nuevamente nos encontramos con 2 mezclas por encima del promedio, sin embargo, ahora son las mezclas M2 y M5 con valores de 0.17 y 0.212 mm<sup>2</sup>/s respectivamente, por tanto, el resultado de la mezcla M5 muestra que la tasa de transferencia de calor es más rápida. En términos de aislamiento, la difusividad térmica del material deber ser mínima para que pueda resistir el máximo flujo de calor, por lo tanto, la mezcla M3 es la que mejor cumple con este requisito, teniendo un valor de 0.122 mm<sup>2</sup>/s, siendo el menor valor registrado de las mezclas.



Gráfica 4. Valores obtenidos de Difusividad Térmica.  
Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

Las mezclas propuestas mostraron resultados alentadores en términos de aislamiento térmico de acuerdo a la clasificación por conductividad, entrando en la categoría de medianos aislantes, grupo que se encuentra en el rango de valores de 0.16-0.46 W/m-K. Tomando en cuenta las demás características evaluadas, la mezcla M3, es la que obtuvo el mejor desempeño aislante, dado que es la que presentó el segundo mayor resultado en el calor específico con 1.718 MJ/m<sup>3</sup>-K, siendo superado por la mezcla M4 apenas con 0.184 MJ/m<sup>3</sup>-K, no marcando una gran diferencia, por lo que la mezcla M3, indica que se requerirá de mayor energía para elevar su temperatura en comparación al resto de mezclas propuestas, asimismo se consideró la conductividad, donde también obtuvo el segundo mejor registro con 0.209 W/m-K, apenas con una mínima diferencia de 0.002 W/m-K con la mezcla M1, la cual obtuvo la mejor medición en esta característica, conjuntamente se contempló el resultado de la resistividad, logrando obtener un valor de 477.5 °C-cm/W, indicando ser una de las mejores mezclas, sin embargo la difusividad fue otro aspecto importante que

terminó por definir a esta mezcla en mi consideración como la mejor, pues presentó una respuesta de reacción de  $0.122 \text{ mm}^2/\text{s}$ , indicando que su tasa de transferencia de calor es más lenta.

Con los resultados en las características térmicas mencionados, la mezcla M3 es la que mejor comportamiento aislante presenta, además de analizar su composición en los materiales, donde maneja un balance de estos, se puede intuir que el caucho triturado parece haber tenido influencia en el material propuesto en las pruebas térmicas, dotando de las características propias de este material, pudiéndose pensar en posibles usos como recubrimientos y paneles, sin embargo, se sugiere continuar con la investigación y explorar sus características físico mecánicas para determinar otras posibles aplicaciones.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo del área de Posgrado de Arquitectura Sostenible y Gestión Urbana del Tecnológico Nacional de México campus Colima y al Laboratorio de Arquitectura de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Colima, así como el apoyo del Dr. Jorge Armando Ojeda Sánchez.

#### BIBLIOGRAFÍA

[1] Vignart, J. M. (2010). *Problemática del neumático fuera de uso, reciclado y posterior aplicación industrial y comercial*. Instituto Tecnológico de Buenos Aires.

[2] Ecogreen. (21 de Enero de 2021). ecogreen. Obtenido de <https://ecogreenequipment.com/es/environmental-impacts-of-waste-tire-disposal/#:~:text=Simplemente%20sentado%20al%20sol%2C%20una,negro%20t%C3%B3xico%20en%20el%20aire.>

[3] Sepúlveda, V. J. (2007). *Elaboración y evaluación de un material a base de papel, cartón y caucho vulcanizado residual*. Universidad de Colima.

[4] Garrido, F. (2018). *Evaluación de las propiedades térmicas y mecánicas del mortero de cemento para estuco elaborado con cáscara de almendras*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Valparaíso. Chile: Recuperado de: <http://repositoriobibliotecas.uv.cl/bitstream/handle/uvscil/2573/GARRIDO%20D%C3%8DAZ%2C%20FERNANDA%20-%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20las%20propiedades%20t%C3%A9rmicas%20y%20mec%C3%A1nicas%20del%20mortero%20de%20cemento%20para%20estuco%20elaborado.>

[5] Cotrina, S. (2019). *Conductividad Térmica y Permeabilidad del Mortero con sustitución del 15% de cemento por el polvo de Conchas de Abanico*

y Arcilla de Oquipampa-Carhuaz. Tesis de Licenciatura, Universidad San Pedro. Chimbote, Perú: Recuperado de: [http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/11384/Tesis\\_61264.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/11384/Tesis_61264.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

[6] Diaz, A. M. (01 de 12 de 2019). *Propuesta para la elaboración de productos de caucho reciclado (CR), a partir de llantas recicladas para disminuir los niveles de contaminación en el barrio el Centro del municipio de Neiva - Huila*. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/31134>

[7] Flores, D. (2013). Dialnet. Obtenido de *Diseño, fabricación, caracterización y aplicaciones constructivas de hormigones de consistencia seca con adiciones de materiales de procedencia orgánica e inorgánica de neumáticos fuera de uso (NFUs)*: [http://oa.upm.es/21905/1/DARIO\\_FLORES\\_MEDI-NA.pdf](http://oa.upm.es/21905/1/DARIO_FLORES_MEDI-NA.pdf)

[8] Hernández, J. (Noviembre de 2018). *Diseño de un material ecológico para construcción mediante la adición de caucho de llanta al concreto*. Cuernavaca, Morelos, México.

[9] Álvarez, J., Martín, A., & García, P. (1995). *Historia de los morteros*. Obtenido de [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58839881/Historia-delosmorteros.pdf?1554816798=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DHistoria\\_de\\_los\\_morteros\\_HISTORIA\\_DE\\_LOS.pdf&Expires=1605807364&Signature=APaX6OZBDmDjdZ5BDv2gJNrK6vo7iZuy0m4dbk3JGGTNse.](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58839881/Historia-delosmorteros.pdf?1554816798=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DHistoria_de_los_morteros_HISTORIA_DE_LOS.pdf&Expires=1605807364&Signature=APaX6OZBDmDjdZ5BDv2gJNrK6vo7iZuy0m4dbk3JGGTNse.)

[10] Sanjuán, M., & Chinchón, S. (2014). *Introducción a la fabricación y normalización del cemento portland*. San Vicente del Raspeig: Alicante, Universidad de. doi:978-84-9717-305-6

[11] Flores, C., Gúzman, J., Navarro, J., & García, L. (2020). *Comportamiento térmico en mezclas de cal hidratada, ceniza y roca volcánica (piedra pómez), en sustitución del cemento Portland*. Ingeniantes, 1(2), 55-60. doi:ISSN 2395-9452

[12] Decagon Devices, I. (2016). *KD2 Pro Thermal*. Obtenido de [http://manuals.decagon.com/Manuals/13351\\_KD2%20Pro\\_Web.pdf](http://manuals.decagon.com/Manuals/13351_KD2%20Pro_Web.pdf)