

Performance of plaster composites incorporating rubber tire particles

Rendimiento de compuestos de yeso que incorporan partículas de neumáticos de goma

N. Pinto *, C. Fioriti ¹*, J. Akasaki *, T. Acunha *, F.Okimoto *

* Universidade Estadual Paulista (UNESP) – São Paulo, BRASIL

Fecha de Recepción: 07/01/2020

Fecha de Aceptación: 15/06/2020

PAG 215-231

Abstract

Gypsum is the oldest synthetic construction material that is known, however it is a material about which there is little knowledge at the level of research, and in this work its study took place by making composites with the incorporation of rubber tires, aiming to obtain an alternative construction material. Thus, the objective was to investigate gypsum-based composites, with a mass incorporation of 5, 10, and 15% of two grades of vulcanized rubber residue from tire retreading processes. The granulometries are referred to as thin (sieve pass-through #0.60 mm) and thick (sieve pass-through #1.19 mm). The composites were investigated in terms of consistency (mini-slump), mass density, water absorption, surface hardness, flexural strength, compressive strength, scanning electron microscopy (SEM), and thermal behavior. The results revealed that rubber incorporation can be attractive in gypsum composites: in which the consistency decreased with the increase of the rubber content and the thick rubber granulometry favored the workability of the composites; the mass density was reduced, mainly with thin granulometry, as the rubber content in the composites increased; the water absorption showed that the high levels of rubber favor the penetration of water in the composites, regardless of the granulometry; the surface hardness showed reduced impact energy provided by the composite with 10% thin rubber; in both flexural strength and compression, the composite with 5% thin rubber showed a similar result to the control composite, while composites with 15% rubber suffered a gradual drop of up to 60 and 40%, respectively; with SEM it was observed that the thin rubber composites had smaller pores, in addition to more effective adhesion between the rubber particles; finally the rubber helps to reduce the thermal amplitudes during the day, mainly with the increase of the particle size and the rubber content.

Keywords: Gypsum composites; tire rubber; alternative material; physical-mechanical characterization

Resumen

El yeso es el material de construcción sintético más antiguo que se conoce, sin embargo, es un material sobre el cual hay poco conocimiento a nivel de investigación, y en este trabajo su estudio se realizó haciendo compuestos con la incorporación de neumáticos de goma, con el objetivo de obtener un material de construcción alternativo. El objetivo era investigar los compuestos a base de yeso, con una incorporación en masa de, 5, 10 y 15%, de dos grados de residuos de caucho vulcanizado de los procesos de recauchutado de neumáticos. Las granulometrías se denominan delgadas (paso de tamiz # 0.60 mm) y gruesas (paso de tamiz # 1.19 mm). Los compuestos se investigaron en términos de consistencia (mini- asentamiento), densidad de masa, absorción de agua, dureza de la superficie, resistencia a la flexión, resistencia a la compresión, microscopía electrónica de barrido (SEM) y comportamiento térmico. Los resultados revelaron que la incorporación de caucho puede ser atractiva en los compuestos de yeso: donde la consistencia disminuyó con el aumento del contenido de caucho y la granulometría de caucho grueso favoreció la trabajabilidad de los compuestos; la densidad de masa se redujo, principalmente con granulometría delgada, a medida que aumentó el contenido de caucho en los compuestos; la absorción de agua mostró que los altos niveles de caucho favorecen la penetración de agua en los compuestos, independientemente de la granulometría; la dureza de la superficie mostró una energía de impacto reducida proporcionada por el compuesto con 10% de goma delgada; Tanto en la resistencia a la flexión como en la compresión, el compuesto con 5% de goma delgada mostró un resultado similar al compuesto de control, mientras que los compuestos con 15% de goma sufrieron una caída gradual de hasta 60 y 40%, respectivamente; con SEM se observó que los compuestos de caucho fino tenían poros más pequeños, además de una adhesión más efectiva entre las partículas de caucho; finalmente, el caucho ayuda a reducir las amplitudes térmicas durante el día, principalmente con el aumento del tamaño de partícula y el contenido de caucho.

Palabras clave: Compuestos de yeso; neumático de goma; material alternativo; caracterización físico-mecánica

1. Introduction

El yeso se considera uno de los aglutinantes más antiguos conocidos, con un amplio uso en la construcción civil debido a sus propiedades físicas y mecánicas, combinadas con un bajo costo de producción (John y Cincotto, 2007); (Yu y Brouwers, 2012). En Brasil, se usa en techos, revestimientos y paredes divisorias llamadas placas de yeso, que ha mostrado un alto crecimiento debido a la facilidad y rapidez de instalación y moldeo de las láminas. Paralelamente, uno de los principales desechos generados hoy en día es el caucho vulcanizado de neumáticos que no se pueden reparar, lo que causa daños al medio ambiente debido a su eliminación inadecuada. Los estudios sobre la producción de compuestos cementosos incorporados en caucho para neumáticos han demostrado la posibilidad de que este material cambie parcialmente los agregados de origen natural, contribuyendo al medio ambiente al reemplazarlo con materiales de fuentes naturales finitas. Con respecto al uso de caucho en compuestos

¹ Autor de correspondencia:

Universidade Estadual Paulista (UNESP) – São Paulo, BRASIL

E-mail: c.fioriti@unesp.br



de yeso, (Serna et al., 2012) han investigado la adición de caucho para neumáticos al final de su vida útil (ELT) en pastas de yeso. En su estudio, se incorporó un contenido de caucho de 1, 3 y 5% en volumen con tres tamaños de partículas diferentes de 0-1 mm, 1-2 mm y 2-4 mm. Los resultados se compararon con muestras de pasta de yeso sin la adición de caucho, y se observó un aumento en la resistencia a la tracción de los compuestos.

(Takaki et al., 2016) estudiaron compuestos de yeso que incorporan partículas de caucho del recauchutado de neumáticos al 5% en masa. Las granulometrías utilizadas fueron # 0.075 mm (delgado), # 1.19 mm (medio) y # 2.38 mm (grosso). Se concluyó que para la incorporación del 5%, el caucho del neumático con granulometría media resultó ser el compuesto más interesante, porque exhibía características que no se relacionaban con la forma extrema del compuesto de referencia, mientras que otras incorporaciones presentaron muchos resultados que fueron inferiores a los obtenidos para yeso sin goma.

(Iucolano et al., 2015) estudiaron los compuestos formados por la matriz de yeso incorporada con fibras de abacá sometidas a diferentes tratamientos químicos (con agua destilada, solución de NaOH y solución de EDTA), para modificar las características de la superficie y mejorar la adhesión con la matriz de yeso. Los tratamientos con soluciones de NaOH y EDTA resultaron en un empeoramiento del comportamiento mecánico de los compuestos, mientras que las fibras tratadas con agua destilada proporcionaron una mejor adhesión con la matriz inorgánica. Los autores antes mencionados también observaron una mejora en el comportamiento de flexión, en comparación con la matriz de yeso de referencia. Para esta prueba, se utilizaron materiales compuestos en los que las fibras pasaron por el proceso de tratamiento en agua cruda (Fx) y agua destilada (FWx), en el que "x" representa la cantidad (% en peso) de fibras agregadas en relación con el aglutinante, se utilizó del 1, 2 y 3%. Todos los compuestos con diferentes porcentajes tuvieron resultados superiores al rasgo de referencia.

(Medina et al., 2018) informaron que los resultados encontrados en la literatura se consideran algo inexactos y varios de los aspectos técnicos y prácticos terminan sin respuesta. Esto termina obstaculizando la aplicación rentable del caucho en la industria de la construcción, así como un mejor conocimiento de las propiedades físicas, químicas y mecánicas del caucho, así como su proceso de caracterización adecuado, estos factores se consideran necesarios para un mejor uso de este material residual. Los autores antes mencionados también informaron que el rendimiento del caucho, consiste en gran medida en la matriz que se utilizará en el proceso de producción y también en el contenido del material que se utilizará, así como la necesidad de una caracterización completa del caucho, ya que esta información normalmente no está disponible para fabricantes de neumáticos y / o recicladores, e incluso en los distribuidores de materiales. En vista de los inconvenientes de uso presentados, los mismos autores mencionan, al igual que (Mundo et al., 2018), la condición hidrofóbica del caucho del neumático, responsable de causar atenuación en la conexión con la matriz y, en consecuencia, la reducción de las propiedades mecánicas, y enfatizar que las alternativas adoptadas como pretratamientos mecánicos y químicos en el caucho, antes de su aplicación en compuestos, solo aumentarían los costos de producción y no producirían mejoras considerables.

Para (Sofi, 2018), que estudió en términos de durabilidad el caucho para neumáticos incorporado en el concreto, dado el desempeño de las pruebas de absorción y penetración de agua, lo que evidencia sus influencias cuando se usa como reemplazo parcial del agregado fino (fibra de caucho) y el cemento (caucho polvo), de 0 a 20%, con múltiples trazos de 2.5%. Los resultados mostraron que la cantidad de agua absorbida por las muestras de prueba con ataque químico (ácidos), en todas las edades (28, 56 y 84 días), fue mayor que la característica llamada referencia. El autor también señaló que al final de la prueba (84 días de absorción) las muestras que contenían el mayor contenido de caucho (20%) fueron aquellas que mostraron los más altos grados de degradación, y este hecho se considera el resultado de la aparición de microporos en los alrededores de la superficie de goma, un hecho que proporcionó una mayor penetración de agua con los consecuentes agentes que degradan el material.

En consecuencia, se ha investigado la incorporación de fibras sintéticas y residuos en la producción de compuestos a base de yeso para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas y producir materiales más livianos, resistentes y económicos.

El objetivo de este estudio fue investigar los compuestos a base de yeso con una incorporación en masa de 5, 10 y 15% de dos grados de residuos de caucho vulcanizado del proceso de recauchutado de neumáticos, con granulometría que en adelante se denominará delgada (# 0.60 mm a través del tamiz) y grueso (# 1.19 mm a través del tamiz). La investigación se realizó con respecto a las pruebas de mini- asentamiento, densidad de masa,



absorción de agua, dureza de la superficie, resistencia a la flexión, resistencia a la compresión, microscopía electrónica de barrido (SEM) y comportamiento térmico.

2. Materiales y Metodos

2.1 Materiales

El caucho del neumático, proveniente del recauchado de neumáticos de camiones, se seleccionó y caracterizó en diferentes bandas granulométricas, pasando a través de los tamices de malla # 1.19 mm y # 0.60 mm, en lo sucesivo denominados grueso (forma ampliada, tipo de fibra) y delgado (polvo en forma redondeada), respectivamente. Con la caracterización del NBR NM 45 (ABNT, 2006), el Teorema de Arquímedes y el NBR NM 248 (ABNT, 2003), se obtuvo el valor de densidad de 1,15 g / cm³, peso unitario de 0,39 g / cm³ para caucho grueso y 0,32 g / cm³ para goma fina.

Se usó yeso de construcción sin aditivos para el recubrimiento, el cual estaba esencialmente compuesto de hemidato β. Este yeso tenía una resistencia a la compresión superior a 12 MPa, densidad de 2,62 g / cm³, peso unitario de 0,71 g / cm³ y un color blanco pálido.

El yeso de construcción se utiliza en compuestos superplastificantes que se utilizan principalmente en la producción de hormigón. En los compuestos de cemento, este producto ofrece una reducción en la cantidad de agua de amasado y permite resistencias iniciales altas, al tiempo que reduce el proceso de carbonatación. El superplastificante tiene una densidad de 1.07 kg / l, pH 4.0-6.0, y está compuesto básicamente por una solución de policarboxilato en un medio acuoso.

2.2 Producción de compuestos

Se produjeron diez compuestos, incluido el control (sin goma), que sirvió como referencia para comparar parámetros. La incorporación de caucho fue de 5, 10 y 15% (en masa), lo que equivale a 14.20, 24.80 y 33.10% (en volumen), basado en (Sofi, 2018), (Serna et al., 2012) y (Takaki et al., 2016), que utilizaron del 3 al 20% del contenido de caucho en compuestos de cemento. La relación agua / yeso adoptada fue de 0,40. La adición de superplastificante fue del 0,50% en relación con la masa de yeso. (Tabla 1) enumera los compuestos fabricados. Tabla 1. Composición de compuestos fabricados.

Tabla 1. Composición de compuestos fabricados.

Compuestos	Identificación	% Yeso	Caucho (en masa)	Caucho (en volumen)
1	Control	100	—	—
2	C1(5-0)	95	5% delgado	14,20% delgado
3	C2(0-5)	95	5% grueso	14,20% grueso
4	C3(10-0)	90	10% delgado	24,80% delgado
5	C4(0-10)	90	10% grueso	24,80% grueso
6	C5(15-0)	85	15% delgado	33,10% delgado
7	C6(0-15)	85	15% grueso	33,10% grueso
8	C7(7,5-7,5)	85	7,5% delgado + 7,5 grueso	19.85% delgado + 19.85% grueso
9	C8(10-5)	85	10% delgado + 5% grueso	24,80% delgado + 14,20% grueso
10	C9(5-10)	85	5% delgado + 10% grueso	14,20% delgado + 24,80% grueso

Vale la pena mencionar que los compuestos C7 (7.5-7.5), C8 (10-5) y C9 (5-10), como se muestra en la (Tabla 1), tenían niveles de incorporación de caucho que agregaron los dos tamaños de partículas adoptados en el trabajo, con el fin de verificar su influencia en los compuestos producidos.



(Tabla 2) muestra un cronograma esquemático que involucra todos los parámetros de los experimentos, así como el número de especímenes que fueron fabricados y utilizados para cada prueba.

Tabla 2. Esquema de variables a analizar en el programa experimental y número de muestras analizadas por compuesto.

% Neumático de goma	Numero de compuestos producidos	Pruebas realizadas por compuesto	Años (días)	Numero de muestras	Numero de muestras total (por compuesto)
5, 10 e 15	10	Consistencia	0	—	16
		Resistencia a la flexión	28	4	
		Resistencia a la compresión	28	3	
		Absorción de agua	28	2	
		Dureza superficial	28	2	
		Densidad de masa	28	4	
		Comportamiento térmico	>28	1	

2.2 Pruebas del Programa Experimental

La consistencia (mini caída) de los compuestos, se observó mediante la realización de una prueba de mini caída según (Kantro, 1980), quien midió las condiciones de trabajabilidad del material a través de su fluidez / plasticidad. La densidad de masa (especímenes con dimensiones de 400 x 300 x 15 mm), absorción de agua (especímenes probados durante 120 minutos sumergidos, con dimensiones de 300 x 300 x 15 mm), resistencia a la flexión (especímenes probados en una prensa Pavitest - modelo C1006 - capaz de leer cargas pequeñas, con dimensiones de 400 x 300 x 15 mm), y las pruebas de dureza superficial (muestras con dimensiones de 400 x 300 x 15 mm) se basaron en NBR 14715-2 (ABNT, 2010). La prueba de resistencia a la compresión se realizó de acuerdo con NBR 12129 (ABNT, 2019), utilizando muestras cúbicas de dimensiones 50 x 50 x 50 mm, moldeadas en forma metálica y probadas en una prensa Heckert (capacidad de 100 toneladas).

La prueba SEM se realizó a partir de los fragmentos de muestras de pruebas, rotas en la prueba de resistencia a la compresión, los pequeños fragmentos se colocaron en recipientes con acetona, de modo que pudiera interrumpir el proceso de hidratación del yeso, este proceso tomó una hora. Luego se sacaron del recipiente y se dejaron en el horno durante dos horas, de modo que la acetona utilizada se evaporó. Después de que se interrumpió la hidratación del yeso, los fragmentos de la muestra se prepararon para una microscopía, y dado que el yeso no es un material metálico y conductor, fue necesario cubrirlo con una fina capa de oro, utilizando el equipo del Quórum Sputtering. El haz de electrones que incide sobre el material se realizó de tal manera que produzca las imágenes generadas en esta prueba. Se utilizó el microscopio Carl Zeiss, modelo EVO LS15, del Departamento de Física y Química de FEIS / UNESP, Ilha Solteira, Brasil.

El método de prueba de comportamiento térmico, utilizado por (Santos, 2008), se adaptó al análisis del comportamiento térmico en una unidad de vivienda producida a partir de compuestos de yeso y poliestireno expandido (EPS). Se utilizaron los especímenes de prueba de las pruebas de absorción de agua, en los que el procedimiento implicó el uso de 10 termopares simples tipo K y un termohigrómetro Minipa, modelo MT-240, 10 soportes de espuma de poliestireno, hechos de 4.5 cm de espesor para soportar la placa de yeso. La prueba consistió en colocar, en cada compuesto estudiado, un termopar dentro de los soportes de espuma de poliestireno para cada material, estos sirvieron para leer la medición de temperatura cada 15 minutos, durante 7 días, de 8:00 a.m. a 8:00 p.m. La temperatura externa se midió usando el termohigrómetro cada hora. Para leer las temperaturas, se utilizó el monitor en serie del software Arduino, con la programación del intervalo de tiempo utilizado para las mediciones. Los resultados se analizaron leyendo las temperaturas externas durante todo el día y comparándolas con las temperaturas dentro de cada entorno creado.



3. Resultados y Discusión

3.1 Consistencia (mini-caída)

Generalmente, se observó una variación en la consistencia, según el contenido de caucho incorporado. Los resultados obtenidos no fueron lineales, porque los compuestos con una incorporación de caucho del 15% tenían una consistencia mayor que aquellos con una incorporación del 10%, la (Figura 1) muestra el gráfico de consistencia promedio obtenido para los compuestos.

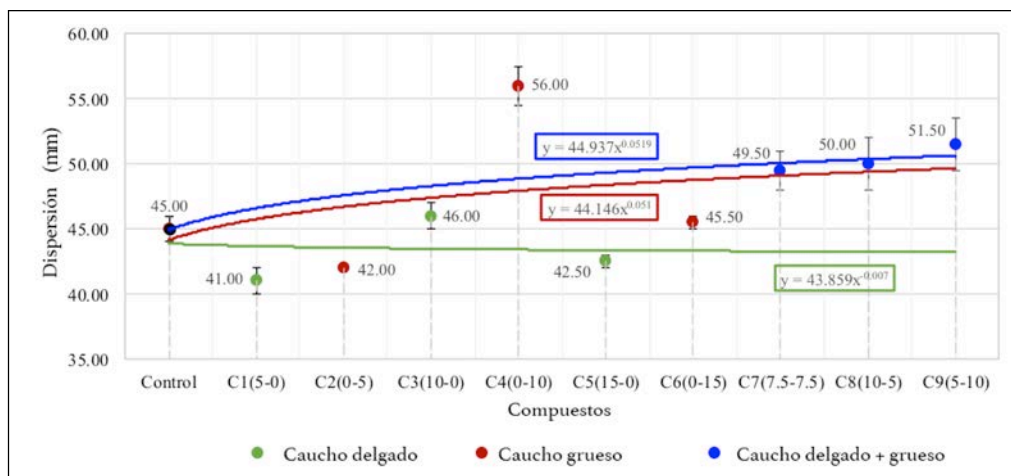


Figura 1. Gráfico de consistencia.

Entre los compuestos que contienen solo una de las dos granulometrías (C1 a C6), se observó que los que contienen caucho grueso, a saber, C2 (0-5), C4 (0-10) y C6 (0-15), correspondían a los mejores resultados, y exhibieron una mejor difusión de la pasta en comparación con los resultados obtenidos por el caucho delgado. También se verificó que el compuesto C4 (0-10), con una incorporación de 10% de goma gruesa, exhibió la dispersión media más alta entre todos los compuestos investigados.

Para los compuestos que contenían las dos granulometrías de caucho en diferentes proporciones, el compuesto C7 (7.5-7.5) exhibió la dispersión más baja entre los tres, pero aun fue mayor en un 10%, en comparación con la dispersión observada para el compuesto de control. Sin embargo, el material compuesto con el mayor contenido de caucho grueso, concretamente C9 (5-10), tuvo la mayor consistencia, con un aumento de poco más del 14%.

Los compuestos con una incorporación del 5% fueron los más consistentes, seguidos de aquellos con una incorporación de caucho del 15%. La mayor dispersión se obtuvo con compuestos que contenían 10% de caucho, como se observó en las dos granulometrías investigadas.

Esto es similar a los resultados obtenidos por (Takaki et al., 2016), porque los compuestos producidos con una incorporación de goma del 5% y tamaños de partículas de # 0.075 mm, # 1.19 mm y # 2.38 mm condujeron a un aumento en el tamaño medio de los compuestos a medida que aumentaba la granulometría del caucho incorporado. Vale la pena mencionar que los autores utilizaron varios factores diferentes, como el tipo de yeso, la relación w / g (0,60) y el superplastificante.

3.2 Densidad de Masa

En esta prueba, casi todos los compuestos que contienen caucho tenían una densidad promedio menor que el control, lo que puede estar relacionado con la baja densidad de las partículas de caucho en comparación con el yeso. También se observó que con el aumento en la incorporación del contenido de caucho, la densidad se hizo más baja. Esto se puede atribuir a las pequeñas capas de aire alrededor de las partículas de caucho, las que contribuyen a la reducción de la densidad de masa de los compuestos. En la (Figura 2), se presenta un gráfico que muestra la densidad promedio de los compuestos fabricados.

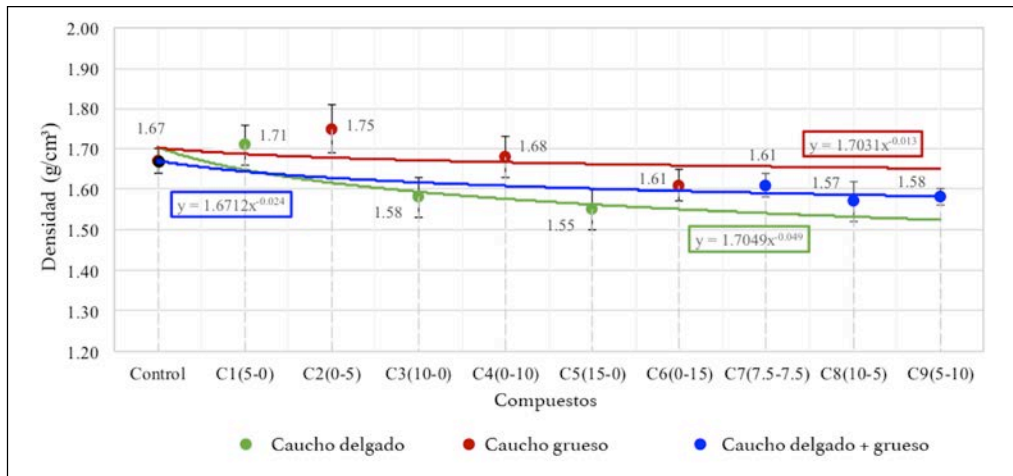


Figura 2. Gráfico de densidad de masa.

Se observó que los compuestos C1 (5-0) y C2 (0-5), que tenían las mayores consistencias, también tenían las densidades más altas, con un aumento del 2,40% en relación con el control para el compuesto C1, y un aumento de 4,80 % relativo al control para el compuesto C2. Sin embargo, el compuesto C4 (0-10) tenía prácticamente la misma densidad que el control, mientras que todos los demás compuestos fabricados tenían una densidad menor que la referencia.

Entre los cauchos investigados, se observó que la granulometría gruesa, tenía los promedios de densidad más altos en comparación con la granulometría delgada, para todas las proporciones y compuestos investigados C1 (5-0), C2 (0-5), C3 (10-0) , C4 (0-10), C5 (15-0) y C6 (0-15). Esto demuestra que el grano más delgado resultó en un material más liviano, por presentar un peso unitario más bajo (0,32 g / cm³) en comparación con el caucho grueso (0,39 g / cm³). Entre los tres porcentajes, el mejor resultado se logró para el compuesto C5 (15-0), con una densidad promedio de 11.20% menor que el control.

Los mismos resultados han sido reportados por (Serna et al., 2012), quienes observaron que las partículas de caucho agregadas a la matriz de yeso causan el reemplazo parcial de la pasta de yeso con caucho, lo que resulta en una pérdida de peso promedio entre 1.50 y 2.50% en relación a las muestras de referencia. Esta diferencia de peso fue mayor en las muestras con una proporción menor de agua / pasta de yeso, y mayor cuando se agregó más caucho. Además, en comparación con las muestras de referencia, la presencia de caucho en las muestras condujo a una disminución menor de peso en siete días.

3.3 Absorción de Agua

En la prueba de absorción de agua, la tendencia observada fue la misma que en la prueba de consistencia: los compuestos con una incorporación de goma del 5%, C1 (5-0) y C2 (0-5), absorbieron menos agua entre todos los compuestos investigados. El gráfico de absorción media se muestra en la (Figura 3).



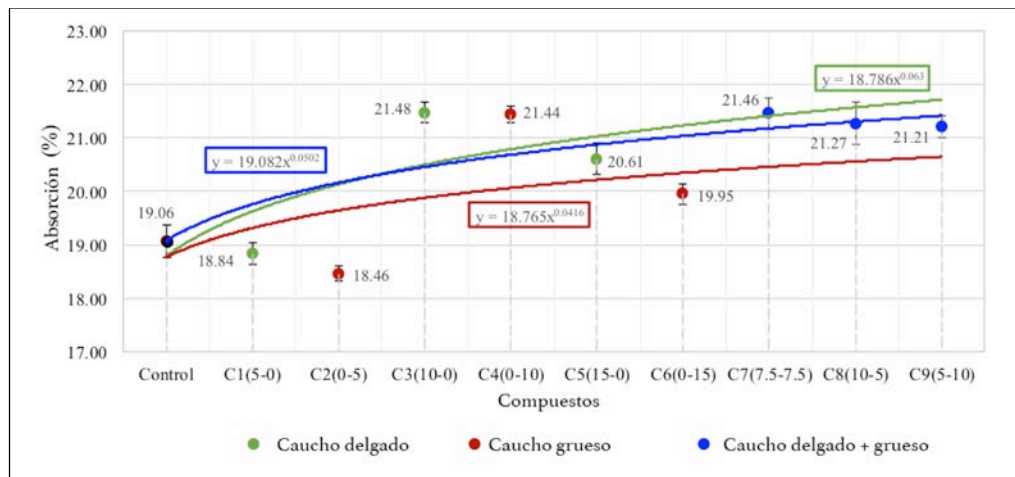


Figura 3. Gráfico de absorción.

Los compuestos con una incorporación de caucho del 5%, exhibieron la absorción de agua más baja entre todos los compuestos investigados. No se observó una diferencia significativa entre las dos granulometrías, porque el caucho delgado tenía una absorción del 18,84% mientras que el caucho grueso tenía una absorción ligeramente inferior del 18,46%.

Los compuestos que se incorporaron con 10% de caucho presentaron los resultados de absorción más altos, y hubo poca diferencia entre los que incorporaron caucho delgado C3 (10-0) - 21,48% de absorción de agua, y los que incorporaron caucho grueso C4 (0-10) - 21,44% de absorción de agua. En comparación con los resultados obtenidos para el control, los materiales compuestos con una incorporación del 10% tuvieron una absorción aproximadamente 2,30% mayor que la observada en el control.

Sin embargo, no fue posible considerar la mayor absorción de agua como resultado de la incorporación de caucho, porque la mayor adición fue del 15% para los compuestos C5 (15-0), C6 (0-15), C7 (7,5-7,5), C8 (10-5) y C9 (5-10), que tuvieron menor absorción en comparación con C3 (10-0) y C4 (0-10) con una incorporación del 10%. Además de las observaciones de la prueba de consistencia, los compuestos con una incorporación del 10% de caucho exhibieron una mayor trabajabilidad que los compuestos que incorporaron el 15% de caucho.

Sin embargo, todo indica que, dado que el caucho no absorbe agua, se acumula en las interfaces entre la pasta de yeso y las partículas de caucho o también en los microporos, como también lo observa (Sofi, 2018), se crean en presencia de caucho.

Para los compuestos de yeso con una capa de fibra de coco seca incorporada, (Cunha et al., 2013) observaron que la incorporación de fibra condujo a un aumento en la absorción de agua. Esto sugiere que, para una muestra con un mayor volumen de fibra, una mayor absorción se justifica por la alta capacidad de las fibras para absorber agua en su región central.

(Magalhães, 2009) informaron resultados similares después de investigar compuestos de yeso que incorporan fibras de bambú, sisal y coco con y sin el uso de superplastificante. Las relaciones de incorporación fueron del 2 al 8% y variaron según el tipo de fibra utilizada. Los compuestos con superplastificante obtuvieron los resultados más bajos en la prueba de absorción de agua, es decir, entre 15 y 23%. El mejor rendimiento compuesto se logró mediante la incorporación de fibra de sisal. Para los compuestos que contienen superplastificante, los factores w/g estaban entre 0,40, 0,45 y 0,50. Para el control de yeso, con la incorporación de las tres fibras y sin la adición de superplastificante, las tasas de absorción variaron entre 22% y 48%, mientras que el compuesto que incorpora fibra de sisal absorbió la menor cantidad de agua.



3.4 Dureza de Superficie

Al realizar una prueba de dureza de superficie, fue posible verificar la contribución del caucho a los compuestos de yeso. Los resultados revelaron que se produjeron deformaciones más pequeñas después del impacto de la esfera de acero. Por lo tanto, la dureza de la superficie aumentó. Sin embargo, no existe una relación clara entre el aumento en la relación de incorporación de caucho y la reducción en el número de abolladuras. (Figura 4) muestra la cantidad media de abolladuras como un gráfico obtenido por la prueba de dureza de superficie.

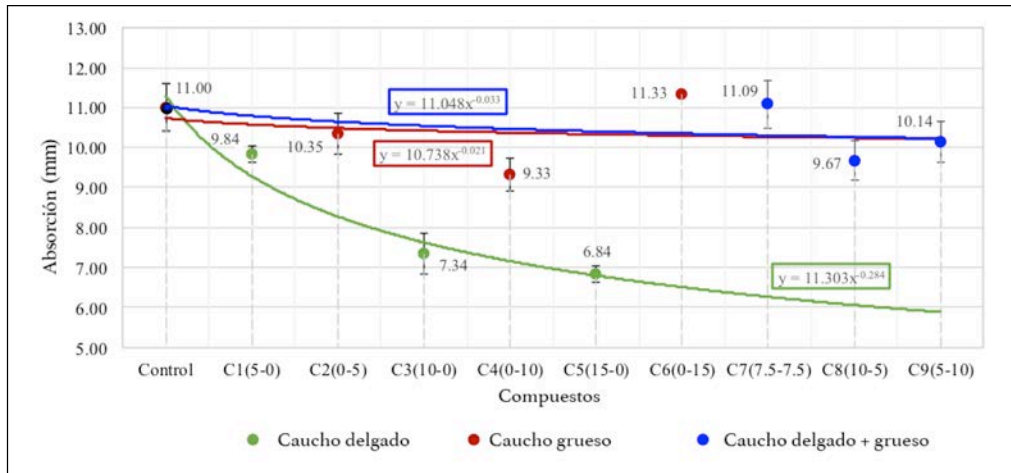


Figura 4. Gráfico de dureza de Superficie.

Para el caucho fino, con el aumento de la incorporación de caucho en los compuestos C1 (5-0), C3 (10-0) y C5 (15-0), el caucho comenzó a contribuir a la disminución de las abolladuras, lo que aumentó la dureza de la superficie en un 10.60, 33.32 y 37.86%, respectivamente.

Sin embargo, no se observó lo mismo para el caucho grueso, lo que condujo a una mejora en los dos primeros porcentajes de los compuestos C2 (0-5), C4 (0-10) y C6 (0-15). Las abolladuras se redujeron y la dureza de la superficie se incrementó en un 6.05% (en promedio) para el compuesto C2 (0-5), y en un 15.19% para el compuesto C4 (0-10). Sin embargo, para el compuesto C6 (0-15), las abolladuras aumentaron en comparación con el control, y esto redujo la dureza de la superficie en un 3%.

Se verificó que no existía mucha variación entre los compuestos que incorporaban una proporción de cada granulometría de caucho. Además, los resultados para el compuesto C7 (7.5-7.5), fueron muy similares a los resultados obtenidos para el control, con un aumento de solo 0.77% en el tamaño promedio de las abolladuras. Así mismo, el compuesto C8 (10-5) tuvo las abolladuras más pequeñas entre las tres, con una disminución del 12,14% en su dimensión, en comparación con el control, lo que resultó en una mayor dureza superficial.

Vale la pena señalar que de todos los compuestos probados, solo se rompieron dos placas durante el lanzamiento de la esfera de acero. La primera placa fue la del compuesto C5 (15-0), que tenía la mayor dureza superficial; la segunda placa era la del compuesto C7 (7.5-7.5), que tenía la segunda dureza superficial más baja. Las dos placas se rompieron por diferentes razones: el compuesto C5 (15-0) tenía abolladuras casi imperceptibles y la pelota tuvo que ser lanzada más de una vez para obtener los resultados; El compuesto C7 (7,5-7,5), que tenía la mayor cantidad de abolladuras, terminó quebrándose cuando se lanzó la esfera por tercera vez.

Algo similar ha sido reportado por (Takaki et al., 2016), y sugiere que todos los compuestos, excepto aquellos que contienen 5% de caucho con un tamaño de partícula mediano, tenían al menos una muestra donde se rompió uno de los rodamientos de bolas de acero y generó grietas. Tanto para la placa de goma delgada, como para la placa de control, las rupturas ocurrieron en los cuerpos que tenían el promedio de densidad más baja; es decir, los cuerpos con la mayor dureza superficial.

(Kern et al., 2000) investigaron los compuestos de matriz de yeso con una incorporación de contrafuertes en los porcentajes de 10, 15, 20 y 25%. Observaron que la matriz de yeso sin la incorporación de residuos siempre se rompía repentinamente en la primera caída de la esfera. Los compuestos que incorporan residuos tenían una mayor ductilidad, y exhibían una deformación plástica considerable, particularmente aquellos con las relaciones de incorporación más altas.



3.5 Resistencia a la Flexión

Al realizar una prueba de resistencia a la flexión, pudimos verificar que el caucho ejerció una influencia significativa en las muestras. A medida que aumentaba el contenido de la incorporación de caucho, las resistencias obtenidas por los compuestos se redujeron, de manera diferente a la encontrada por (Iucolano et al., 2015), que utilizaron fibras de abacá (textiles Musa) en la matriz de yeso, como se puede ver en la (Figura 5).

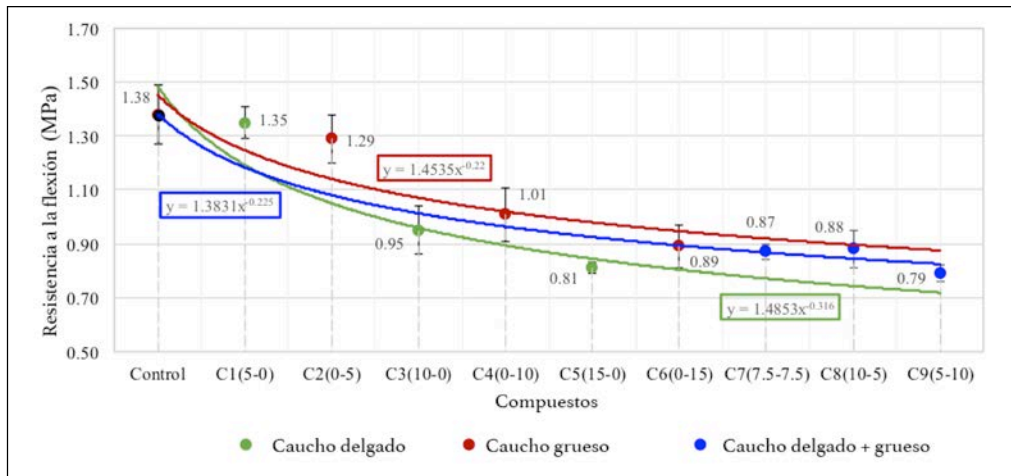


Figura 5. Gráfico de resistencia a la flexión.

Vale la pena mencionar, que es importante observar la resistencia máxima soportada por la muestra antes de sufrir daños, para determinar el valor de la carga máxima soportada por el compuesto antes de comprometer su rendimiento adecuado, es así como los resultados para los compuestos C1 (5-0) y C2 (0-5) fueron muy similares a los resultados obtenidos para el control. El compuesto C1 (5-0) tuvo una diferencia del 2,60% con respecto al control, mientras que la diferencia del compuesto C2 (0-5) fue del 7%.

Los compuestos C5 (15-0) y C9 (5-10) tuvieron la mayor diferencia en relación con el control; los resultados obtenidos fueron 41.50% y 42.80%, respectivamente, lo cual es menor que los resultados obtenidos para el control.

Es importante tener en cuenta que solo en los compuestos con una incorporación del 5%, específicamente, C1 (5-0) y C2 (0-5), el caucho delgado tuvo la media más alta. Sin embargo, en relación con los compuestos con una incorporación del 10 o 15%, específicamente, C3 (10-0), C4 (0-10), C5 (15-0) y C6 (0-15), la granulometría gruesa logró los mejores resultados.

Entre los compuestos que contienen una de las dos granulometrías de caucho, el compuesto que exhibió la menor disminución en la resistencia fue nuevamente el compuesto C8 (10-5) (36,30% por debajo del control), seguido por el compuesto C7 (7,5-7.5) (37.20% por debajo del control). Finalmente, el compuesto C9 (5-10) tuvo el promedio más bajo entre todos los compuestos.

Durante las pruebas de resistencia a la flexión, se observó que el caucho ayudó a mantener la integridad de la muestra. Por lo tanto, después de la prueba, las placas no se separaron completamente como en el caso del compuesto de control.

Algo similar fue observado por (Raghavan et al., 1998) durante la prueba de flexión de muestras de mortero que incorporan neumáticos de goma. Verificaron que, después de la falla de la matriz de mortero, las piezas de goma soportaron el agrietamiento y evitaron la ruptura total de la muestra.

La disminución promedio de los compuestos fue de entre 8.30% (con 5% de caucho) y 41.60% (con 15% de caucho). Aparentemente, esto fue causado por la menor adhesión entre la pasta de yeso y las partículas de caucho, que se observó a través de SEM.

(Oliveira et al., 2012) investigaron los compuestos de yeso que incorporan EVA, y analizaron su comportamiento mecánico realizando una prueba de resistencia a la flexión. Los autores concluyeron que, debido



a los problemas de adhesión entre la pasta de yeso y EVA, los compuestos exhibieron menor resistencia en comparación con el control. Además, a medida que el porcentaje de EVA y la relación w/g aumentaron, la resistencia del compuesto investigado disminuyó.

(Serna et al., 2012), quienes investigaron los compuestos de neumáticos de yeso y caucho para mejorar el comportamiento elástico del yeso, observaron que la incorporación de caucho causó una disminución de la resistencia a la flexión del yeso. La resistencia disminuyó proporcionalmente con la incorporación de caucho entre 10.40% (con 1% de caucho) y 19.90% (con 5% de caucho). Los autores atribuyeron esta reducción en la fuerza, a la falta de adhesión entre las partículas de caucho y la matriz de yeso.

Para (Takaki et al., 2016), que utilizaron tres granulometrías diferentes de caucho recauchutado, la incorporación de contenidos de caucho al 5% (masa), dio como resultado resistencias a la flexión del cartón yeso superiores a las del compuesto de control. El compuesto con caucho medio (# 1.19 mm) permitió un aumento de 21.60%, mientras que el material compuesto con caucho delgado (# 0.075 mm) mostró un aumento de 7.60%, y el material compuesto con caucho grueso (# 2.38 mm) permitió una mejora de 5.10%.

3.6 Resistencia a la Compresión

Generalmente, los compuestos con neumáticos de goma incorporados, exhiben menor resistencia a la compresión en comparación con un control, como se puede ver en (Figura 6).

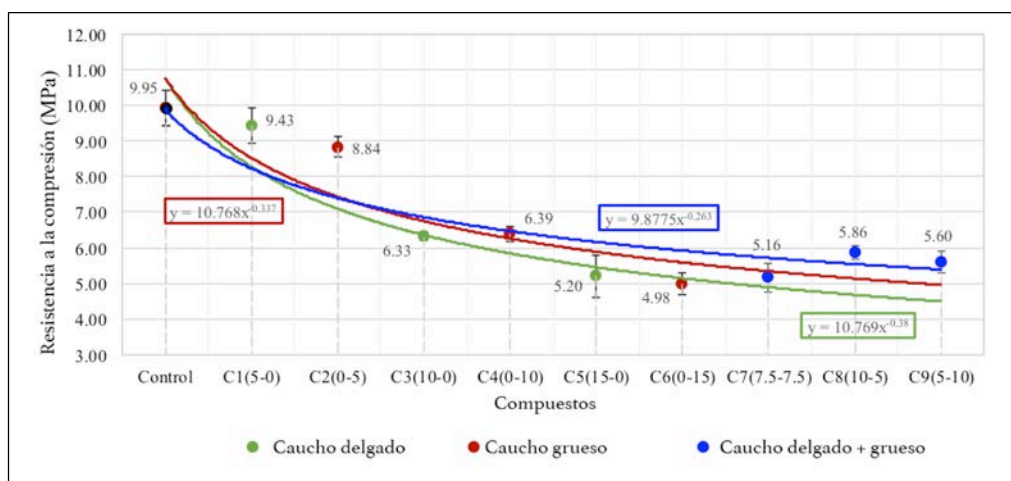


Figura 6. Gráfico de resistencia a la compresión.

Esta prueba es importante porque puede acortar y romper el material compuesto, así como garantizar que no se deforme fácilmente y garantizar una precisión dimensional adecuada cuando requieran los esfuerzos de compresión, el material compuesto mas cercano al control fue C1 (5-0), cuya resistencia a la compresión fue 5.20% menor (en promedio), que la del control de pasta de yeso. El resultado para el compuesto C2 (0-5), también fue satisfactorio porque reveló que este compuesto tenía una resistencia de 8.84 MPa, lo que se considera adecuado para su uso, teniendo en cuenta que el yeso no tiene una función estructural.

Comparando las granulometrías de caucho usadas, se observó que los compuestos que contenían caucho grueso tenían la menor resistencia. Este fue el caso, particularmente, del compuesto C6 (0-15), para el cual los resultados fueron 49.90% más bajos que el control, en promedio.

Entre los porcentajes investigados, fue posible verificar que a medida que aumentaba la incorporación de caucho, la resistencia ejercida por los especímenes de la prueba disminuía. Porque los resultados para todos los especímenes que contenían 15% de caucho eran menores en un 40% (en promedio), en comparación con la media obtenida para el control.

Para la incorporación de caucho del 5%, los resultados reportados por (Serna et al., 2012) son más pequeños que los resultados obtenidos por este estudio, porque la reducción obtenida en el estudio anterior fue del



20% (p / g = 0,60) 26. % (p / g = 0,70) y 29% (p / g = 0,80) en relación con el control, mientras que, en este estudio, la reducción máxima fue del 11%.

(Fuzaro et al., 2015), también investigaron la resistencia a la compresión de los compuestos de yeso que incorporan residuos de neumáticos, informaron que hubo diferencias significativas en los datos estadísticos obtenidos para todos los tratamientos. Además, el tratamiento que obtuvo los mejores resultados fue el de yeso sin la incorporación de caucho. Sin embargo, al analizar los tratamientos en los que se agregó contenido de caucho al yeso, verificaron que el tratamiento, con una incorporación de caucho del 5%, obtuvo un valor de tensión a compresión normal más alto, mientras que el tratamiento con una incorporación de caucho del 15% obtuvo un valor más bajo.

(Oliveira et al., 2012) fabricaron compuestos de yeso con residuos de EVA, una relación w/g de 0.80 y con una relación de incorporación del 15%. Obtuvieron una resistencia a la compresión de 3.20 MPa, lo que es un valor más bajo en comparación con los compuestos de yeso que incorporan 15% de caucho, y una resistencia a la compresión de 4.97 MPa.

3.7 Microscopía Electrónica de Barrido

Al realizar una prueba SEM, verificamos varios aspectos de los compuestos investigados, como la cristalización del yeso y la adhesión entre la pasta de yeso y las partículas de caucho.

Las imágenes en la secuencia muestran la comparación de diferentes tipos de cristalización de yeso. En el control de la pasta de yeso (Figura 7A), se observó la formación de cristales con formas más prismáticas, alargadas y bien definidas. Para el mismo aumento observado por el microscopio, se observó una cristalización diferente para los compuestos de yeso con goma de neumático. Para los compuestos que contienen caucho delgado (Figura 7B), la cristalización del yeso fue ligeramente menos prismática y definida, pero aún alargada. Para los compuestos que contienen caucho grueso (Figura 8A), la cristalización del yeso fue mucho menos alargada y definida en comparación con los otros dos compuestos. Por lo tanto, no se observaron formas prismáticas en esta pasta. Para los compuestos que contienen dos tipos de caucho (Figura 8B), la cristalización del yeso fue la más diferente entre las ya discutidas: las formas no estaban definidas, había mucha irregularidad en la pasta y se observaron muchos vacíos.

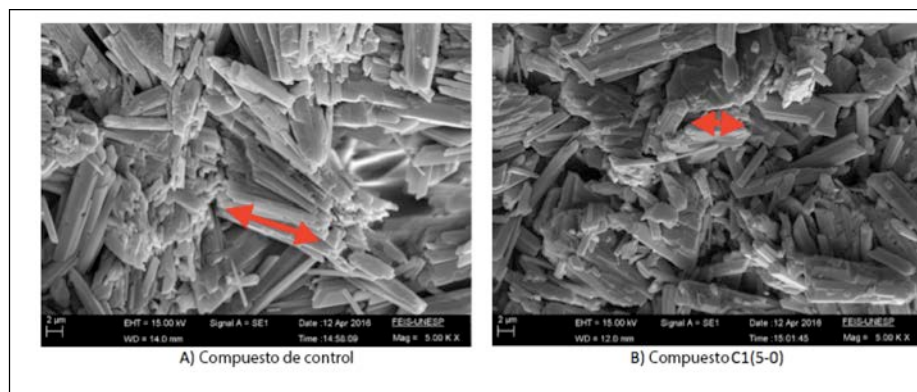


Figura 7. Diferentes tipos de cristalización de pasta de yeso.

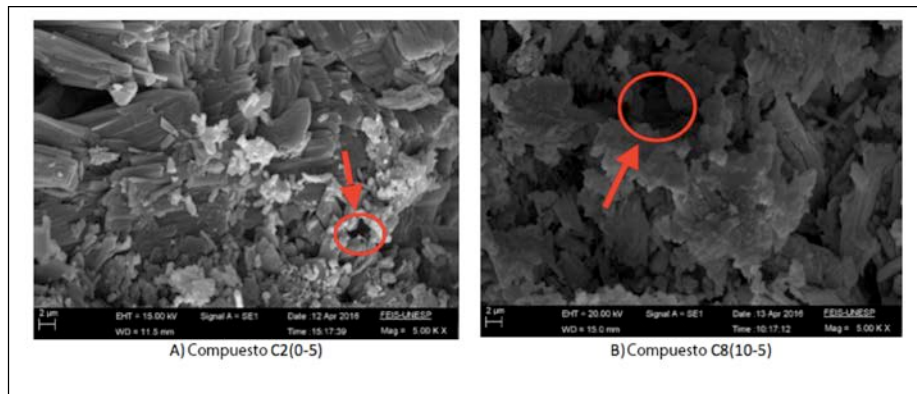


Figura 8. Diferentes tipos de cristalización de pasta de yeso.

Todo indica que esta diferencia en la cristalización de la pasta de yeso, se debe a la contaminación de otros materiales que están presentes en el silo donde se almacena el caucho o en el piso del que se recogieron los desechos, que pueden ser partículas de acero, arena u otros material, ya que entre el caucho y la pasta de yeso no presentan una reacción química que justifique tal cambio.

Para comparar la adhesión de la pasta de yeso con el caucho, se utilizó el mismo aumento en la prueba de microscopio. La adhesión entre la pasta de yeso y el caucho delgado (Figura 9A), exhibió la mejor integración entre los dos, y tuvo pocos vacíos en la interfaz de estos dos materiales. En la pasta de yeso que contiene goma gruesa (Figura 9B), la adhesión se produjo de manera más sutil porque había un vacío en la interfaz de los dos materiales, y esto evitó la uniformidad del material. Para el material compuesto de yeso que incorpora dos granulometrías de caucho (Figura 9C), el material era ligeramente más uniforme, con algunos huecos presentes, pero con menos espacio presente en la interfaz.

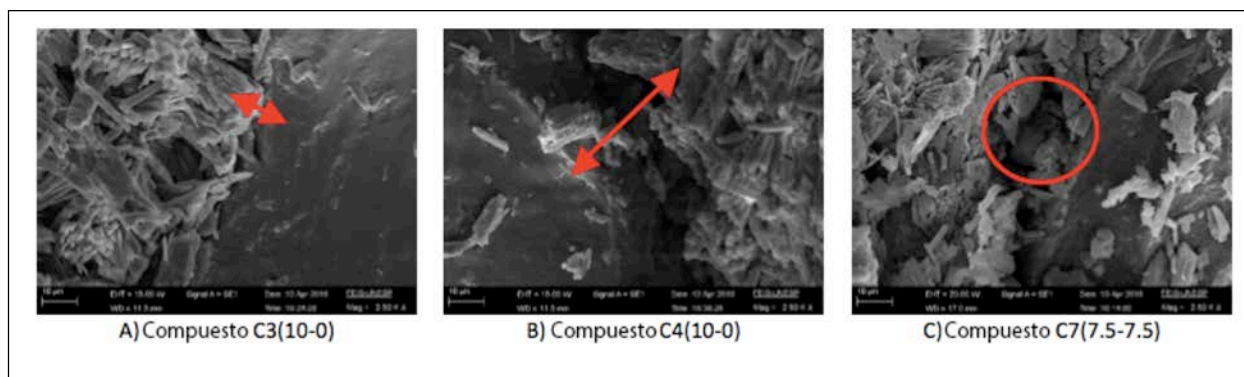


Figura 9. Diferentes tipos de adhesión entre pasta de yeso y partículas de caucho.

3.8 Comportamiento Térmico

El yeso como elemento de sellado vertical tiene un desempeño importante en el comportamiento y el aislamiento térmico de los ambientes, por lo tanto, fue relevante en este trabajo el análisis del desempeño de los compuestos estudiados con respecto a esta propiedad. Los resultados se presentarán en forma de gráfico que compara los porcentajes y los tamaños de partículas estudiados.



Por lo general, la variación de temperatura entre los compuestos investigados no fue grande. Específicamente, en comparación con la temperatura externa, se observó una variación de + 2 ° C. Los gráficos correspondientes a la prueba térmica de los compuestos C1 a C6 se muestran en (Figura 10), (Figura 11) y (Figura 12).

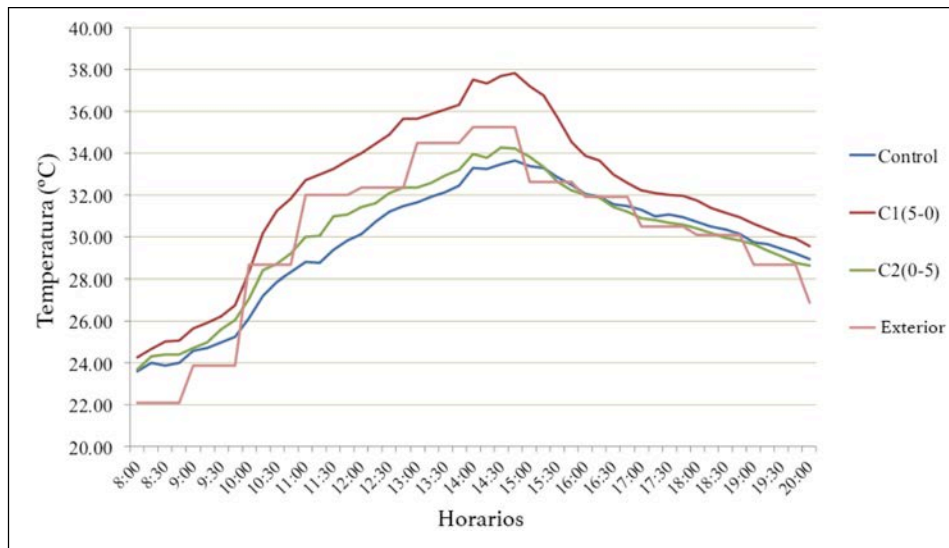


Figura 10. Gráfico de comportamiento térmico para compuestos con 5% de caucho.

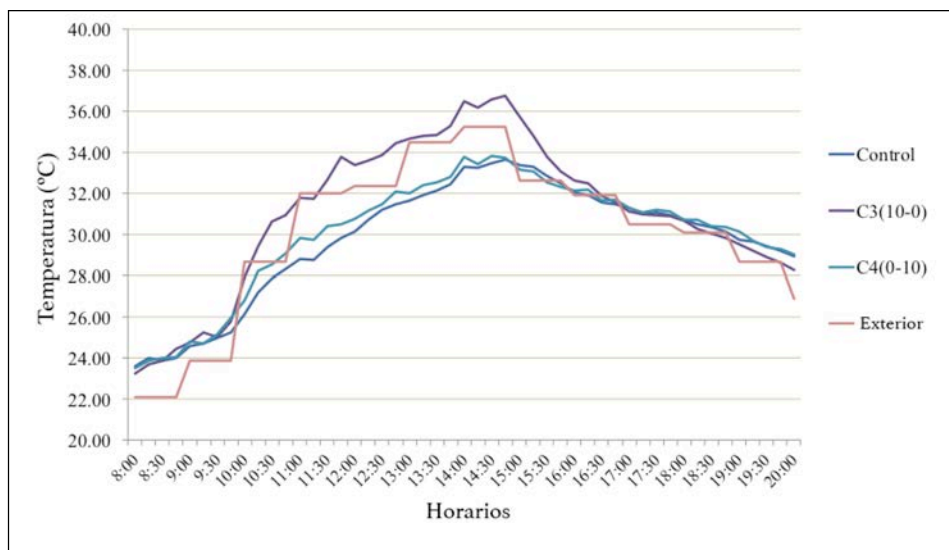


Figura 11. Gráfico de comportamiento térmico para compuestos con 10% de caucho.



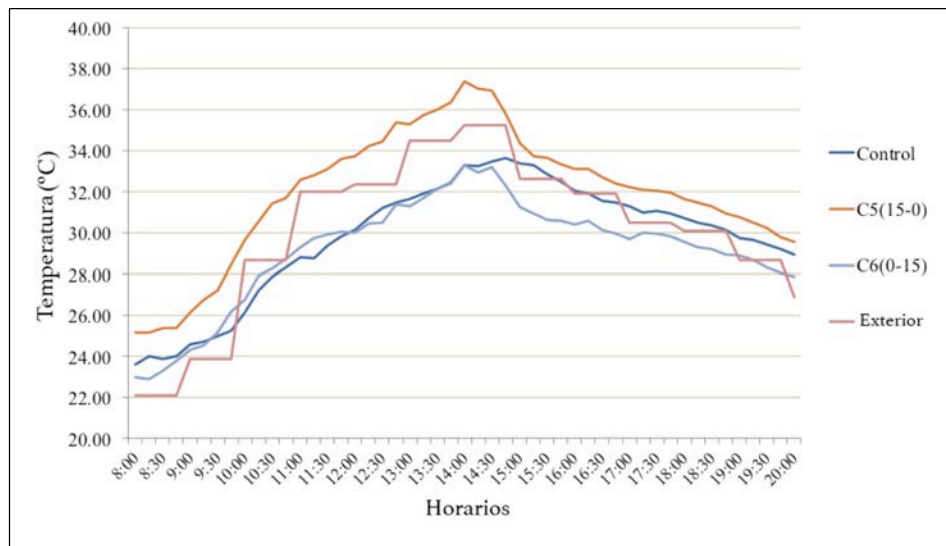


Figura 12. Gráfico de comportamiento térmico para compuestos con 15% de caucho.

Como se puede ver, los tres gráficos tienen varios puntos en común. El primero es hasta las 10:00 a.m.; la temperatura externa es más baja que la de los ambientes interiores formados por los compuestos, con una diferencia de $\pm 3^{\circ}\text{C}$; es decir, incluso a la temperatura más baja, los compuestos pudieron mantener la temperatura interna entre 23°C y 25°C .

En el rango de tiempo entre las 10:00 y las 15:00, cuando la temperatura era más alta, la temperatura externa aumentó aproximadamente 11°C , y estuvo acompañada por un aumento en la temperatura interna, que ocurrió de un modo diferente. Para los compuestos que contienen caucho delgado, a saber, C1 (5-0), C3 (10-0) y C5 (15-0), la temperatura interna fue superior a la temperatura externa en $\pm 2^{\circ}\text{C}$, alcanzando aproximadamente 37°C . De este modo, se observó que el caucho delgado contribuyó al calentamiento interno de los ambientes creados, una característica que no es útil en Brasil porque, durante la mayoría de los días del año la temperatura es alta, y no se requiere retener el calor para soportar temperaturas tan bajas.

Sin embargo, los compuestos que incorporan caucho grueso, es decir, C2 (0-5), C4 (0-10) y C6 (0-15), exhiben un comportamiento térmico interesante, como lo demuestra la similitud de los resultados obtenidos, para el control de compuestos en muchos tiempos analizados. El yeso tenía la característica de un buen aislamiento térmico, debido a su estructura porosa. Por lo tanto, se verificó que el caucho grueso no interfirió significativamente con sus propiedades.

Para los materiales compuestos con caucho delgado, se observó que todos tenían temperaturas más altas que las presentadas por los compuestos de control y la temperatura externa. Aquellos con incorporación de 5 y 15% de caucho fueron los que tuvieron las temperaturas internas más altas, con valores superiores a 37°C , lo que no se considera cómodo desde el punto de vista interno de un entorno.

El compuesto C1 (5-0) mostró la mayor amplitud térmica entre los tres compuestos, con una diferencia de aproximadamente 13°C entre la temperatura más baja y la más alta alcanzada durante el día, un hecho que puede causar molestias debido a la amplia variación de temperatura.

El material compuesto que contenía el 10% de incorporación, C3 (10-0), mostró temperaturas ligeramente más bajas en algunos momentos durante el día, y solo una diferencia de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ con respecto a la temperatura exterior, en el período de calor más intenso. En comparación con el compuesto de control, C3 (10-0) mostró algunos puntos de superposición entre las 08:00 y las 09:30h, y entre las 17:00 y las 20:00h, pero en el período de mayor insolación la diferencia entre ellos es de $\pm 3^{\circ}\text{C}$, excediendo control de temperatura interna.

La diferente coloración de las muestras con granulometría delgada puede ayudar a justificar este aumento de temperatura, ya que presentan un color más grisáceo y todo indica que cuanto más oscura es la coloración, más calor absorbe el material y, en consecuencia, pasa al medio ambiente.



Con respecto al caucho grueso, está claro que a diferencia de lo que sucedió con los compuestos con caucho delgado, los incorporados con 5 y 10% - C2 (0-5) y C4 (0-10) - mostraron los resultados de temperatura más altos y muchos de ellos similares entre sí, pero en este caso fueron muy similares al control y, en consecuencia, proporcionaron un buen aislamiento térmico.

En el período de temperatura más baja, entre las 08:00 y las 10:00, los tres compuestos presentaron aproximadamente $\pm 2^{\circ}\text{C}$ más que en el exterior. Sin embargo, en el período más caluroso del día, el hecho se invierte y los compuestos con caucho grueso tienen $\pm 3^{\circ}\text{C}$ menos que en el exterior, logrando mantener una temperatura más cómoda en el interior.

Entre todas las relaciones investigadas, el resultado más interesante se obtuvo para el compuesto C6 (0-15), porque este compuesto tuvo las temperaturas más suaves en el período comprendido entre las 12:00 y las 20:00, con una diferencia de $\pm 3^{\circ}\text{C}$ en comparación con el compuesto de control o la temperatura externa, lo que ayuda a aislar térmicamente el medio ambiente.

En cuanto al aspecto estético, se observó que los compuestos con caucho grueso mostraban un color más claro, reflejando más los rayos incidentes y, por lo tanto, absorbiendo menos calor.

Los compuestos C7, C8 y C9 exhibieron un comportamiento térmico intermedio entre los compuestos que contenían solo una granulometría. El gráfico correspondiente a la evolución de la temperatura promedio a lo largo del día se presenta en (Figura 13).

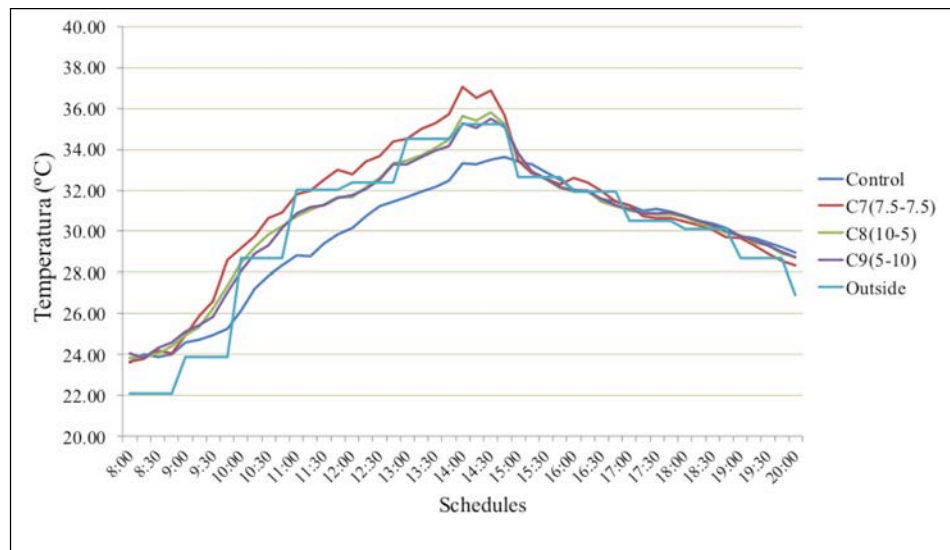


Figura 13. Comportamiento térmico de los compuestos C7 to C9.

Los compuestos C7 (7.5-7.5), C8 (10-5) y C9 (5-10) mostraron un comportamiento térmico intermedio entre los compuestos que tenían solo uno de los tamaños de partículas incorporados. En general, C7 (7.5-7.5) tuvo temperaturas más altas que alcanzaron hasta 37°C , como también fue el caso de los compuestos que incorporan 5 y 15% de caucho delgado. Por lo tanto, la contribución de esta granulometría al calentamiento interno fue mayor, y también puede contribuir a una mayor incomodidad si pensamos en términos del entorno construido. C7 (7.5-7.5) seguía siendo el compuesto con la mayor amplitud térmica de $\pm 13^{\circ}\text{C}$ durante el día, lo que no contribuye al aislamiento deseado del medio ambiente.

Los resultados para los compuestos C8 (10-5) y C9 (5-10) fueron aproximadamente los mismos durante todo el día. A las 15:00, los resultados estaban entre los obtenidos para el control y los obtenidos para C7 (7.5-7.5). Por lo tanto, con la temperatura externa los resultados correspondieron. Los diferentes porcentajes de goma delgada y gruesa no condujeron a ninguna diferencia en los resultados.

A las 15:00 y hasta el final de la prueba (20:00), todos los compuestos de caucho tenían temperaturas similares al control y la temperatura externa, lo que no contribuye al aislamiento deseado del medio ambiente.



Al construir una unidad de vivienda pequeña, (Santos, 2008) pudo analizar mejor el efecto de la temperatura y la dirección de la vista en cada cara (Norte, Sur, Este y Oeste), lo que resultó en diferencias de 6°C a 7°C, entre la temperatura de la pared interna y la temperatura externa, para fachadas que tenían mucho aislamiento (Norte y Oeste), y una diferencia de $\pm 4^\circ\text{C}$ entre la temperatura externa sobre el edificio y la temperatura justo debajo de la losa.

(Santos, 2008) también notó que los valores de temperatura eran aproximadamente los mismos que para las paredes que estaban a la sombra. Sin embargo, hubo una diferencia significativa para las paredes expuestas al sol (alcanzando hasta 7°C), lo que demuestra la adecuada resistencia térmica del material compuesto a base de yeso con EPS incorporado.

En este estudio, se observó que la granulometría gruesa hizo la mayor contribución al aislamiento y la salud del medio ambiente, principalmente con una incorporación de caucho del 15%. También se observó que la diferencia en las variaciones de temperatura entre el interior y el exterior no superaba los $\pm 3^\circ\text{C}$.

4. Conclusiones

Las siguientes conclusiones fueron extraídas de este estudio:

- a) Al realizar una prueba de consistencia, se verificó que los compuestos con 5% de caucho tenían las mayores consistencias. A medida que aumentaba el contenido de caucho, también aumentaba la trabajabilidad de la pasta, particularmente para los compuestos con una incorporación del 10%. El caucho grueso tenía la mayor trabajabilidad entre todas las proporciones investigadas.
- b) Para la prueba de densidad de masa, se observó el mejor rendimiento para los compuestos con la relación de incorporación más alta (15%), lo que resultó en materiales más livianos. Entre las granulometrías investigadas, la goma delgada contribuyó más y tuvo las densidades más bajas entre las tres proporciones investigadas.
- c) Con respecto a la absorción de agua, se verificó que los compuestos con 5% de caucho tenían la absorción más baja, incluso en comparación con el compuesto de control. Entre las proporciones investigadas, la incorporación del 10% tuvo la absorción más alta, mientras que los compuestos con una incorporación del 15% exhibieron una disminución sutil. En esta prueba, el caucho grueso fue el que menos agua absorbió de las tres proporciones.
- d) Al realizar una prueba de dureza superficial, se observó que los compuestos de caucho exhibían una cantidad media de abolladuras que eran más pequeñas que la del control, lo que hace que las abolladuras sean casi imperceptibles. Los mejores resultados se obtuvieron para los compuestos con una incorporación del 10%. Además, la granulometría delgada tuvo un papel más destacado en la resistencia al impacto.
- e) Al realizar una prueba de resistencia a la flexión, observamos una mejora en el rendimiento de los compuestos con 5% de caucho, y particularmente para aquellos que incorporan el tamaño delgado de partícula. A medida que aumentó el porcentaje de caucho, se verificó que la resistencia a la flexión disminuyó gradualmente al 60%.
- f) Al realizar una prueba de resistencia a la compresión, se descubrió que los compuestos con 5% de caucho proporcionaban los mejores resultados. En particular, la granulometría delgada obtenía resultados muy cercanos a los obtenidos para el control. Además, la resistencia tendió a reducirse excesivamente para relaciones superiores al 5%.
- g) Al usar SEM, se observó que los compuestos que incorporan caucho delgado, exhibían cristalización de pasta de yeso de una manera más prismática y alargada. Además, se observaron poros más pequeños y una mejor adhesión entre las partículas de caucho y la pasta.
- h) La prueba de comportamiento térmico obtuvo resultados interesantes con respecto a la visualización del rendimiento de las muestras, en relación con la transferencia de calor al entorno creado, y el aislamiento proporcionado. De este modo, se observó que los compuestos con contenido de caucho grueso tenían las amplitudes térmicas más bajas durante el día, particularmente las muestras con una incorporación del 15%, lo que demuestra la capacidad de este compuesto para transmitir poco del calor recibido durante el



período más caluroso de el día, y su capacidad para mantener la temperatura interna durante los períodos más fríos.

Por lo tanto, el uso de caucho para neumáticos en la producción de placas de yeso puede convertirse en un incentivo atractivo para reciclar estos desechos industriales. Además, puede permitir la producción de un nuevo compuesto que sea apropiado para la construcción de ingeniería civil..

5. Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero brindado por la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, Brasil.

6. Referencias

- ABNT Brazilian Association of Technical Standards (2006).** NBR NM 45/2006 – Aggregates – Determination of the unit weight and air-void contents. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT Brazilian Association of Technical Standards (2003).** NBR NM 248/2003: Aggregates – Sieve analysis of fine and coarse aggregates. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT Brazilian Association of Technical Standards (2019).** NBR 12129/2019: Gypsum for buildings — Determination of mechanic properties — Test method. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT Brazilian Association of Technical Standards (2010).** NBR 14715-2/2010: Gypsum plasterboard sheets – Determination of physical characteristics. Rio de Janeiro: ABNT.
- Cunha, P. W. S.; Gomes, U. U.; Sivam, R. L.; Marinho, G. S. (2013).** Propriedades termofísicas de compósitos de matriz de gesso e fibra vegetal. *Holos*, v.1, p.127-138.
- Fuzaro, B. S.; Oliveira, M. C. T. B. E.; Oliveira, C. E. A.; Oliveira, C. A.; Oliveira, J. L. (2015).** Determinação da resistência à compressão de compósito de gesso reforçado com resíduo de pneu. In: XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2015. São Pedro/SP.
- Lucolano, F.; Caputo, D.; Leboffe, F.; Liguori, B. (2015).** Mechanical behavior of plaster reinforced with abaca fibers. *Construction and Building Materials*, v.99, p.184-191, 2015.
- John, V. M.; Cincotto, M. A. (2007).** Gesso de construção civil. In: ISAIA, G. C. *Materiais de Construção Civil*. São Paulo: IBRACON.
- Kantro, D. L. (1980).** Influence of water reducing admixtures on proprieties of cement paste – A miniature slump test. *Cement, Concrete and Aggregate*, v.2, n.2.
- Kern, A. P.; Greven, H. A.; Kazmierczak, C. S.; Santos, I. S.; Silta, H. C.; Ramires, M. V. (2000).** Comportamento mecânico de compósitos a base de gesso com adição de resíduos de contrafortes de calçados. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC, 8. 2000, Salvador/BA, p.1-8.
- Magalhães, A. C. T. V. (2009).** Estudo de fibras vegetais, mucilagem de cacto e gesso em componentes construtivos. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília/DF.
- Medina, N. F.; Garcia, R.; Hajirasouliha, I.; Pilakoutas, K.; Guadagnini, M.; Raffoul, S. (2018).** Composites with rubber aggregates: Properties and opportunities in construction. *Construction and Building Materials*, [s.l.], v.188, p.884-897.
- Mundo, R.; Petrella, A.; Notarnicola, M. (2018).** Surface and bulk hydrophobic cement composites by tyre rubber addition. *Construction and Buildings Materials*, [s.l.], v.172, p.176-184.
- Oliveira, M. P.; Barbosa, N. P.; Torres, S. M.; Leal, A. F.; Silva, C. G. (2012).** Compósitos à base de gesso com resíduos de EVA e vermiculita. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.6, p.684-689.
- Raghavan, D.; Huynh, H.; Ferraris, C. F. (1998).** Workability, mechanical properties, and chemical stability of a recycled tyre rubber-fillet cementations composite. *Journal of Materials Science*, v.33, p.1745-1752.
- Santos, R. D. (2008).** Estudo térmico e de materiais de um compósito a base de gesso e EPS para a construção de casas populares. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Natal/RN.
- Serna, A.; Del Río, M.; Palomo, J. G.; González, M. (2012).** Improvement of gypsum plaster strain capacity by the addition of rubber particles from recycled tyres. *Construction and Building Materials*, v.35, p.633-641.
- Sofi, A. (2018).** Effect of waste tyre rubber on mechanical and durability properties of concrete – A review. *Ain Shams Engineering Journal*, v.9, p.2691-2700.
- Takaki, P.; Fioriti, C. F.; Pinto, N. A. (2016).** Avaliação de chapas de gesso para interiorização de ambientes produzidas com borracha de pneus. In: Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis – CLBMCS, 2. 2016, João Pessoa/PB, p.1-12.
- Yu, Q. L.; Brouwers, H. J. H. (2012).** Thermal properties and microstructure of gypsum board and its dehydration products: a theoretical and experimental investigation. *Fire and Materials*, v.36, p.575-589.

