

Ladrillos de “adobe” modificados con cartón

N. Sánchez, D. Borja, S.A. Alcoser, I. Hernández

E.T.S.I. de Caminos, Canales y puertos, Universidad Politécnica de Madrid, C/ Profesor Aranguren 3, E28040, Madrid, Spain

INFORMACIÓN

Información del Proyecto:

Entrega anteproyecto 24 febrero 2023

Entrega Proyecto 18 mayo 2023

Disponible online 1 noviembre 2023

Keywords:

Cartón

Aislante

Económico

ABSTRACT

En este proyecto se propone el uso de ladrillos con base de adobe, sustituyendo la paja y los restos orgánicos de la mezcla por pulpa de cartón fina como refuerzo. De tal manera, que se podrían mantener las propiedades aislantes del ladrillo original, incluso pudiendo mejorarlas dado que el cartón también es un mal conductor del calor, y con la hipótesis de que el cartón aumentará sus propiedades mecánicas. Su aplicación principal sería en la construcción de casas de bajo precio con buen aislamiento térmico.

© 2023 ESTRUMAT 2.0. All rights reserved.

1. Introducción

El ladrillo de adobe es uno de los materiales de construcción más antiguos y populares en todo el mundo. Está compuesto de arcilla, arena, agua y algún tipo de material fibroso, como paja o hierba. El proceso de producción del ladrillo de adobe es relativamente simple: se mezcla la arcilla y la arena con agua para formar una pasta, y luego se agrega el material fibroso para darle estabilidad y resistencia.

Nosotros hemos intentado desarrollar una nueva variante del ladrillo de adobe utilizando cartón en lugar de paja como material de relleno. Esta técnica ofrece muchos beneficios sobre el papel, ya que el cartón es un material más barato y fácil de conseguir que la paja, manteniendo las propiedades físicas del ladrillo de adobe tradicional. Al sustituir la paja por el cartón, se pueden reducir significativamente los costes de producción del ladrillo de adobe, lo que hace que sea una opción más asequible para la construcción de viviendas y otros edificios. Además, el cartón es un material más resistente al fuego que la paja, lo que aumenta la seguridad de los edificios construidos con este nuevo tipo de ladrillo.

En resumen, el ladrillo de adobe con cartón es una opción innovadora y económica que ofrece los mismos beneficios que el ladrillo de adobe tradicional, con la ventaja añadida de una reducción significativa de los costes de producción. Este material promete ser una opción atractiva para aquellos que buscan construir de manera sostenible y asequible.

Para ello, hemos fabricado tres variantes del material que hemos caracterizado mediante tres ensayos. Las características que esperamos que tenga el material son comportamiento aislante térmico, resistencia mecánica y dureza mejores que los del material de partida.

2. Materiales y métodos

2.1. Materiales y fabricación

2.1.1. Materiales

Como se ha indicado en la introducción, la intención es crear un material basado en el ladrillo de adobe sustituyendo el disperso de paja que sirve como refuerzo, por pulpa de cartón reciclado. Los materiales son:

- Arena fina: 0.39 €/15Kg
- Arcilla: 1.90 €/Kg
- Pulpa de cartón fina: 110.76g (reciclado)
- Jeringa: 1.58 €
- Agua



Fig. 1. Materiales empleados en la fabricación de los ladrillos de adobe modificados con cartón

2.1.2. Fabricación

Planteamos la creación de ladrillos con distintas composiciones:

Tabla 1. Composiciones, en porcentaje, de las mezclas antes del secado

	Agua% (excedente)	Arcilla%	Cartón%	Arena%
Mezcla 1	22%	0%	50%	50%
Mezcla 2	20%	20%	30%	50%
Mezcla 3	20%	30%	20%	50%

Tabla 2. Composición, en masa, de las mezclas antes del secado

	Agua (g)	Arcilla (g)	Cartón (g)	Arena (g)
Mezcla 1	22	0	18.29	40.57
Mezcla 2	20	19.61	11.08	40.57
Mezcla 3	20	29.41	7.38	40.57

Las tablas anteriores incluyen un exceso de agua en las probetas que se reducirá durante el secado, por eso el porcentaje total de los componentes es mayor del 100 %.

En primer lugar, se reunió cartón usado en nuestras casas que reciclaremos en el trabajo. Se cortó en trozos grandes y luego se echó agua para ablandarlo y poder trocearlo más fino. Cuando estuvo lo suficientemente húmedo, lo pasamos por una batidora y una licuadora hasta obtener la pulpa final (Fig. 2).



Fig. 2. Pulpa de cartón triturada

Por último, dejamos secar la pulpa al aire libre durante algunos días, removiéndola cada cierto tiempo para que toda la pulpa se seque de forma uniforme y obtener la menor cantidad de peso en agua.

Tras esto se fabricaron las tres mezclas, según las composiciones mostradas en las Tablas 1 y 2 y se procedió a la creación de las probetas. En un principio quisimos usar un molde hecho a mano de cartón recubierto de film, para evitar que el agua presente en las mezclas deshiciera el molde, pero pronto nos dimos cuenta de que seguramente no funcionaría, se probó y efectivamente el molde se deshizo, pero por otra razón: la presión ejercida al comprimir los ladrillos en el molde.

Para obtener un molde, pensamos en hacer una impresión 3D junto con el contra-molde. Pero finalmente optamos por el uso de una jeringa ancha como molde. Utilizamos jeringas de 60 ml de capacidad, como se muestra en la Fig. 3. En cada jeringa añadimos la mezcla manualmente poco a poco, succionando con la jeringa, y presionamos, al presionar expulsamos el máximo exceso de agua que Podemos, a la vez que creamos una probeta compacta. Cuando están hechas las expulsamos del molde apretando el émbolo de la jeringa, dejándolo encima de un papel de horno, evitando manchar la bandeja de horno.



Fig. 3. Proceso de fabricación de las probetas (izquierda) y probeta terminada (derecha)

Las dimensiones de la probeta son de 9.5 ± 0.1 cm de largo y 3.0 ± 0.1 cm de diámetro, lo que hace una sección circular de 7.07 cm^2 .

Para calcular la sección circular se ha empleado la fórmula del área del círculo.

$$A = \pi r^2 \quad (1)$$

Después calentamos el horno a $55-60 \text{ }^\circ\text{C}$ para simular un secado al aire de las probetas, para hacer las medidas del secado pesamos cada una de las probetas. En un principio se iban a sacar cada hora del horno para comprobar su avance y su porcentaje de pérdida de agua, pero el tiempo de secado final (4 horas) fue menor al estimado (24 horas).

Para ser lo más precisos posible, se pesaron todas las probetas de un mismo tipo, después se hace la media de todas las probetas para comparar la pérdida de agua según su composición, y la pérdida media de agua de las probetas en el conjunto.

Los errores obtenidos durante la medida (longitud y peso) junto con la pérdida aleatoria de agua de cada una de las probetas explican la diferencia de peso entre ellas.

Para el cálculo de cantidad de agua inicial hemos tenido en cuenta las densidades de cada material. Para el cálculo de las densidades de cada material hemos usado una báscula y un túper rectangular. El proceso consiste en tarar la báscula con el túper encima y rellenar hasta tener un peso establecido de cada mezcla. Después, con una regla medir desde fuera el largo ancho y alto. Una vez tenemos esos datos dividimos ese peso fijo entre su volumen, para obtener la densidad, repetimos este proceso con todos los materiales de tal manera que los valores obtenidos son:

Tabla 3. Densidades de cada compuesto usado

	Densidad (g/cm^3)
Arcilla	1.46
Cartón	0.55
Arena	1.22
Agua	1

Con estos valores de densidad y el volumen de la probeta podemos obtener el peso real de cada material, si multiplicamos el volumen de la probeta por cada uno de los porcentajes de densidad, un ejemplo:

$$21.375\pi \cdot 20\% (\text{arcilla}) \cdot 1.46 (\rho \text{ arcilla}) = 19.61\text{g}$$

Esta sería la cantidad de arcilla presente en una probeta de 20 % arcilla (mezcla 2), sumando cada uno de los porcentajes obtenemos una estimación de la cantidad de agua inicial.

$$\text{Volumen} \cdot \pi \cdot \% \text{componente} \cdot \rho \text{ componente} = \text{masa} \quad (2)$$

(NOTA: el volumen de la probeta no es exacto, el agua ocupa un volumen que para estos cálculos no hemos tenido en cuenta porque es una cantidad muy pequeña y los valores están dentro del error de las medidas de los aparatos de medida).

Para el cálculo del volumen de las probetas se ha usado la fórmula del volumen del cilindro. También especificamos la fórmula de la densidad.

$$V = \pi h r^2 \quad (3)$$

$$\rho = m/V \quad (4)$$

Tabla 4. Masa de las probetas por hora en el horno.

	Tiempo en el horno (h)				
	0	1	2	3	4
Probeta 1.1	76	69	66	61	57
Probeta 1.2	81	77	72	63	59
Probeta 1.3	83	77	72	66	62
Probeta 2.1	88	85	80	75	70
Probeta 2.2	89	83	79	73	74
Probeta 2.3	94	89	84	78	71
Probeta 3.1	88	84	79	75	74
Probeta 3.2	91	87	82	77	77
Probeta 3.3	94	89	85	80	77

En este proceso las probetas perdieron de media un 4,64 % de agua y el tiempo de secado se muestra en las figuras 4 y 5.

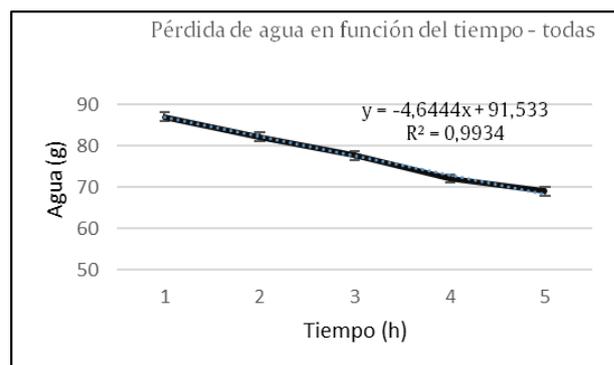


Fig. 4. Gráfica de la media de agua perdida entre todas las probetas, por hora

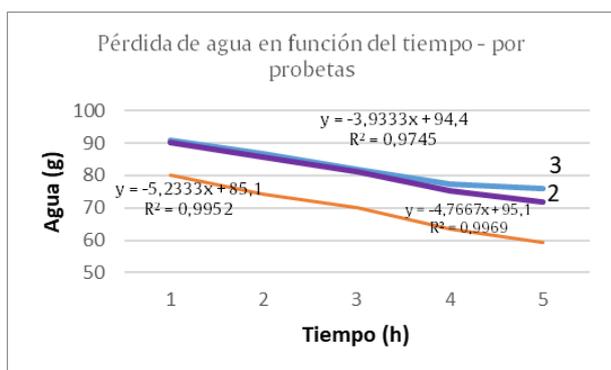


Fig. 5. Pérdida de agua por probeta y por hora

2.2. Métodos

2.2.1. Ensayo de conductividad térmica

Para el ensayo de conductividad térmica pensamos en aplicar calor con un mechero durante cierto tiempo y comprobar que el calor no traspasaba el material. Pero un mechero no podía pasar encendido el tiempo suficiente para hacer el ensayo.

Para obtener unos datos más objetivos, utilizamos una sartén con muy poca agua, pero la suficiente como para cubrir toda la superficie de la sartén, como unos 0.5 cm de alto, a 44-45 °C, para que no se evapore y moje la probeta. Para impedir el contacto de la probeta con el agua utilizamos un anillo de aluminio de un grosor ligeramente mayor al del nivel de agua, 1 cm de alto.

Cubrimos toda la superficie con más papel aluminio, con el anillo como soporte del papel, y colocamos un anillo similar encima para soportar la probeta e intentar impedir la fuga de calor tapando los posibles huecos restantes, esto nos da unas medidas, más o menos, precisas de la temperatura a la que está la probeta si la dejamos unos 20 minutos encima del agua a 44 °C. Partiendo de un termómetro que mide 37-38 °C antes de ponerlo en la probeta, lo enfriamos con hielo unos segundos y lo calentamos con nuestro propio cuerpo.



Fig. 6. Disposición de los elementos del ensayo térmico durante su realización.

2.2.2. Ensayo de compresión

Para determinar la resistencia ante un esfuerzo o carga por compresión se hace el ensayo de compresión. En un principio, se intentó realizar el ensayo utilizando un táper con agua en su interior y aplicar la carga en la sección lateral. Usando un sistema improvisado de poleas, con cordones, pero el peso que ejercía el táper lleno de agua solo deformaba la probeta ligeramente. Entonces decidimos aplicar cargas por etapas.

Colocamos la probeta dentro de un recipiente de base plana y comenzamos colocando 780 g de arroz encima, luego aplicamos otro kilo de arroz, un kilo de agua y por último 3 kg de agua más, sin contar el propio peso de los recipientes usados. Para algunas probetas ese peso no fue suficiente y se tuvo que aplicar fuerza con la mano para poder llegar al punto de rotura y, por ello, los datos no serán del todo precisos, pues no se puede aplicar una fuerza igual en todas

direcciones con la mano, a parte que nos fue imposible medirlo. Cabe resaltar que el máximo que medía la báscula usada era de 6 kg.



Fig. 7. Ensayo de compresión: prototipo de ensayo inicial (izquierda) y ensayo final en la probeta 1 (derecha)

Tras ello, se emplearon las fórmulas 5 y 6 para el cálculo de la tensión de rotura:

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (5)$$

con $a = g = 9.80665 \text{ m/s}^2$

$$R_m = F_{max}/S_o \quad (6)$$

2.2.3. Ensayo de absorción de agua

Para realizar este ensayo hemos decidido sumergir las probetas de nuestro material en agua, una medida exacta de 350 ml, y ver cuánta agua es absorbida por este, todo esto llevado a cabo encima de una báscula. Luego, se restarían las medidas final e inicial obteniendo la cantidad de agua que han absorbido. Cada probeta estuvo sumergida un minuto completo.



Fig. 8. Probetas 1 y 2 tras ser hidratadas

3. Resultados

3.1. Ensayo de conductividad térmica

Las probetas con mayor porcentaje de arcilla conducían menos el calor que las que no lo tenían, siendo los resultados, tras 20 minutos de exposición:

- Probeta 1: 39.8 °C
- Probeta 2: 39.3 °C
- Probeta 3: 38.9 °C

En el ensayo de conductividad térmica, el porcentaje de arcilla afecta más que el porcentaje de cartón, por ende, el cartón no afecta mucho a la conductividad térmica del material: a mayor porcentaje en arcilla menos se calienta la probeta.

3.2. Ensayo de compresión

Para las probetas 1, 2, 3 los resultados son los de la Tabla 5. Como la báscula solo soportaba 6 kg, y las probetas 1 y 2 no rompieron con ese máximo, somos incapaces de medir su tensión de rotura. La figura 11 muestra el aspecto final de las probetas 1 y 2 tras el ensayo de compresión:



Fig. 9. Probetas 1 y 2 tras el ensayo de compresión

Tabla 5. Resultados del ensayo de compresión

Probeta	Reducción de longitud (mm)	Deformación máxima (%)	Fuerza máxima (N)	Tensión máxima (MPa)	¿Rotura?
1	15	-0,842	58,84	0,083	No (agrietamiento)
2	20	-0,789	58,84	0,083	No
3	23	-0,758	57,57	0,081	Sí

Estos datos se muestran en las siguientes gráficas:

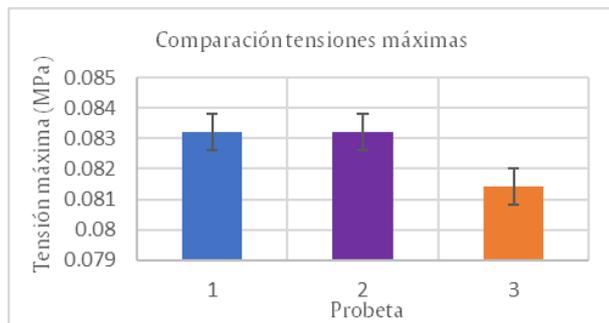


Fig. 10. Tensión máxima soportada por cada probeta

Para el ensayo de compresión la probeta 1 aguanta bastante más fuerza que el resto, aunque se agriete. Pensamos que es por la microestructura de fibrillas de celulosa del cartón que tiene buenas propiedades mecánicas haciendo que el material sea más duro sin casi deformarse. En cuanto a las otras probetas, es de esperar que sean más dúctiles por el contenido de arcilla, a mayores contenidos de arcilla más dúctiles son y mayor es su deformación en el ensayo, aunque el efecto del cartón sea mucho menor en ambas.

3.3. Ensayo de absorción de agua

- Probeta 1: absorbe 23 ml de agua y se fragiliza mucho
- Probeta 2: absorbe 7 ml de agua y se vuelve más inestable y blanda
- Probeta 3: absorbe 4 ml de agua y conserva su forma

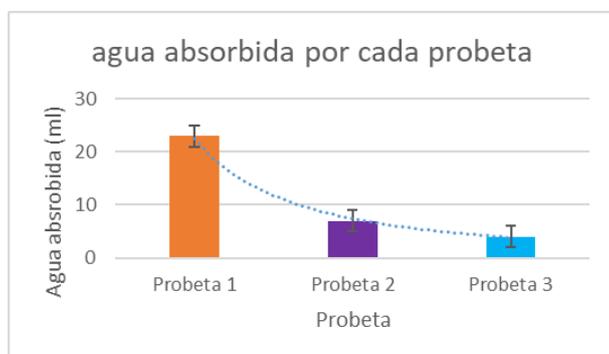


Fig. 11. Cantidad de agua absorbida por cada probeta

Para el ensayo de absorción de agua el porcentaje de cartón es muy importante ya que es un material que tendera a retener más agua dentro de su estructura. Para ello tenemos en cuenta, como se ve en los resultados, que en base al porcentaje de cartón (es de origen

vegetal) implementado en nuestras muestras pudimos observar que la probeta 1 es la de mayor absorción de agua mientras que la tercera es la de menor. Gracias a esto podemos observar que el porcentaje de cartón y arcilla determinan cuánta agua puede absorber el bloque.

4. Conclusiones

Creemos que la probeta número 2 es la mejor de todas porque se ha deformado más que la 1, no se agrieta y ha aguantado más peso. Además, es ligeramente más barata y conduce poco el calor y absorbe menos agua que la probeta 1.

Hemos pensado que, para solucionar los problemas del agua, podemos añadir una membrana impermeable de PVC o PS, por ejemplo, para tener la misma resistencia e impedir el deterioro por el agua de los bloques. También pensamos que el material podría tener mejores propiedades mecánicas si en el proceso de producción de los bloques comprimimos más el material, esto requiere un molde adecuado con una membrana semipermeable que deje pasar la suficiente agua para que no haya grietas internas.

En cuanto al secado, éste puede haber dejado grietas internas que deterioran sus propiedades, lo adecuado sería dejarlo secar al aire, pero si se usa el método acelerado, la recomendación es usar una temperatura muy baja, con un flujo de aire constante y girar las probetas cada cierto tiempo para que no se caliente más la parte en contacto con la superficie en el horno.

5. Agradecimientos

Mención especial a los alumnos Antonio Candela Álvarez por ayudarnos con su manejo del programa Excel y a Emilio Antón Carrasco por sus sugerencias para los moldes de las probetas.

6. Bibliografía

- [1] Gallegos, H. Albañilería estructural (2005)
- [2] <https://arquitectnologicofau.files.wordpress.com/2012/02/el-ladrillo-2009.pdf>
- [3] <https://chat.openai.com/>
- [4] https://pirhua.udel.edu.pe/bitstream/handle/11042/1755/ICL_199.pdf
- [5] <https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/6749/Desarrollo%20y%20Calculo%20de%20un%20Secadero%20de%20Adobes.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El%20proceso%20de%20secado%20de%20los%20adobes%20en%20el%20interior,en%20el%20interior%20del%20secadero.>
- [6] <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/51101#:~:text=Estas%20fibras%20en%20la%20actualidad,distintas%20C%3A1reas%20de%20la%20ingenier%C3%ADa>
- [7] http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2313-29572018000300003#:~:text=La%20conductividad%20t%C3%A9rmica%20y%20calor%20espec%C3%ADfico%20de%20adobe%20y%20ladrillo,35%20W%2Fm2K.