

ADOBES CAROYENSES – UN DESARROLLO EXPERIMENTAL INNOVADOR

Luis Eduardo Canavesi

Miembro de la Red Protierra Argentina, luiscanavesi@gmail.com

Palabras clave: adobe, cáscaras, maní, características termomecánicas

Resumen

Este documento presenta la primera etapa de un trabajo experimental que tiene como meta desarrollar adobes livianos, tan livianos como sea posible, pero que posean suficiente resistencia mecánica para ser usados, eventualmente, con capacidad portante. En esta etapa, los adobes se moldean a mano utilizando la tierra, los moldes y el personal calificado de una fábrica de ladrillos cerámicos macizos. Como innovación, para reducir la huella ambiental del proceso, se elige un desecho industrial de la maní o cacahuete (*Arachis hypogaea L*), en reemplazo de las fibras de paja que se agregan usualmente como estabilizante orgánico. Los satisfactorios resultados conseguidos en los ensayos de compresión, efectuados en un laboratorio, demuestran la factibilidad de ejecutar las próximas etapas proyectadas. Los ensayos de caracterización gravimétrica y de plasticidad, revelan que los suelos analizados corresponden a tierras arcillosas, las cuales, estabilizadas con “cáscaras” de maní, se presentan entonces como una combinación adecuada para reducir la densidad aparente de los adobes; con esto, disminuyen las cargas de inercia actuantes durante los eventos sísmicos y mejoran las características térmicas de los cerramientos, que son los objetivos buscados finalmente. Las ventajas térmicas quedan evidenciadas ejecutando un software desarrollado en base al modelado matemático. La denominación de “caroyenses”, que alude a la ciudad donde se fabricaron, los identifica, diferencia y los destaca como un tipo innovador de adobes, ya que no se encontraron antecedentes del uso de las cáscaras de maní como estabilizante orgánico en piezas de albañilería de tierra.

1. INTRODUCCIÓN

Tal como se detalla e ilustra en las subsecciones del apartado 2, se “cortaron” (moldearon) 20 adobes alivianados con cáscaras de maní en un predio industrial de Colonia Caroya, Provincia de Córdoba, Argentina. Las piezas se trasladaron y ensayaron en un laboratorio de la Administración Provincial de Vialidad (APV) de la Ciudad de La Rioja, Argentina, que cuenta con equipamiento homologado por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial, INTI. En el apartado 3, se analizan aspectos térmicos de cerramientos genéricos y se aplica un software de modelado matemático para fundamentar las ventajas térmicas que conlleva alivianar los adobes. En el apartado 4, analizando conceptos de sismorresistencia, se demuestra la relación existente entre la densidad de los adobes y las acciones sísmicas actuantes sobre los muros, donde se evidencia otra de las ventajas del alivianamiento de estos elementos constructivos. En esta primera parte de un proyecto más amplio, que está planeado, se adoptó un método a prueba y error asumiendo que los resultados conseguidos con estos adobes experimentales permitirán hacer los ajustes adecuados en las etapas posteriores. Este proyecto tiene también como objetivo incentivar la investigación independiente, usando los laboratorios de la Dirección de Vialidad Nacional o los de las APVs que existen en la Argentina.

2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS ADOBES CAROYENSES

2.1 El maní o cacahuete (*Arachis hypogaea L*)

En la República Argentina, los cultivos de esta legumbre oleaginosa, y las industrias relacionadas con ella, están radicados mayoritariamente en la zona centro-sur de la Provincia de Córdoba. El maní (*Arachis hypogaea L*), cómo se denomina en Argentina,

fructifica en vainas cuyos pericarpios – “cáscaras”, de modo coloquial – constituyen un desecho agroindustrial.

Debido a su alto poder calorífico, las cáscaras de maní tienen una alta demanda comercial relacionada a su uso como combustible en hornos o en usinas térmicas; también se utilizan como abono orgánico, o como suplemento forrajero en la alimentación de animales para producción cárnica. Las cáscaras de maní tienen una densidad aparente (ρ) del orden de 0,08 a 0,2 g/cm³ (Granero y otros, 2013). Las propiedades mecánicas de las cáscaras de maní que figuran en esa publicación, se asocian a la fabricación de placas prensadas desarrolladas en la Universidad Nacional de Santiago del Estero. Con el mismo uso, paneles prensados aparecen en un trabajo de graduación (Santa Cruz, 2012), de la Universidad de San Carlos, Guatemala. Otra publicación consultada (Jiménez y otros, 2019), se relaciona con la caracterización de las cáscaras de maní procedentes de Córdoba y sus diferentes usos.

Las cáscaras enteras tienen entre dos y cinco centímetros de longitud y, junto a ellas, se puede encontrar material fragmentado y fibras radiculares. Su morfología las muestra con una cara interior cóncava, que admite ser rellenada fácilmente por el barro, una cara exterior convexa, con nervaduras, y ambas superficies propician la adherencia de la arcilla, que en el barro cumple con la función aglutinante que tienen las resinas en los materiales compuestos. A las cáscaras se las puede utilizar tal como salen de la planta procesadora de maní y ser incorporadas a la tierra sin necesidad de efectuarles ningún tratamiento adicional, mientras que, cuando se usan pajas acondicionadas en fardos prismáticos (“balas”), o en “rollos” cilíndricos, lo que ya de por sí deja una huella de carbono asociada a esos sistemas de recolección y acopio, a las fibras se la debe cortar posteriormente con machetes o con máquinas hasta lograr la longitud deseada. Desde las plantas industriales donde se procesa el maní, las cáscaras pueden ser trasladadas y guardadas a granel, en pequeñas o en grandes cantidades. También se pueden dosificar con adecuada precisión de manera volumétrica, al momento de mezclarlas con la tierra, lo cual es importante para lograr adobes con características uniformes y replicables.

2.2 La tierra de los adobes

En todas las ladrilleras industriales, se utilizan tierras que contienen arcillas. Como eso también es imprescindible para los adobes, se decidió iniciar el desarrollo de los caroyenses en una fábrica de ladrillos cerámicos macizos, lo cual posibilitó concretar esta primera etapa. Aun disponiendo de cartas con la ubicación de suelos de tipo arcilloso, habría sido un proceso arduo, y estado fuera del alcance de este proyecto, efectuar prospecciones geológicas y realizar ensayos granulométricos y funcionales hasta encontrar una cantera de greda apta.

2.3 Fabricación de los adobes caroyenses

Las cáscaras de maní se incorporaron directamente a un pastón extraído del pisadero industrial (arriba, izquierda, en la figura 1), donde el barro se encontraba “durmiendo” desde hacía *varios* días. La mezcla se efectuó de manera práctica, empírica, sin ningún protocolo previo, hasta que el maestro “cortador” consideró que la masa estaba sensiblemente más liviana que la que él trabajaba normalmente para cortar los ladrillos cerámicos macizos.

2.4 Ensayos de laboratorio

En el Laboratorio de la APV de La Rioja, Argentina, los adobes a ensayar fueron rotulados, medidos y pesados antes de efectuar el encabezado de las caras de tabla de los mismos, para lo cual se utilizó azufre industrial aireado bajo adecuadas medidas de seguridad.

Si se hubiesen recortado los adobes para obtener probetas cúbicas, como se propone en la Norma NBR 16.814 (2020), sus dimensiones habrían resultado muy pequeñas para la elevada capacidad de la prensa utilizada. Por ese motivo, siguiendo las recomendaciones del Código NMAC 14.7.4 (2105) de Nuevo México, se realizaron ensayos de compresión

simple sobre los adobes enteros, con una velocidad de aplicación de la carga de aproximadamente 3,5 MPa/min (500psi/min). Para los ensayos de suelos, cuyos resultados se muestran en las figuras 5a y 5b, se usaron las Normas de Vialidad Nacional detalladas en la subsección 2.6.



Figura 1. Fabricación de los adobes caroyenses en Colonia Caroya



Figura 2. Inicio de los ensayos en marzo de 2020 en la APV



Figura 3. Adobes luego de ser ensayados en la APV, abril de 2021

2.5 Método de cálculo de la resistencia característica σ_k para cinco resultados

Cuando se cuenta con al menos cinco resultados de ensayos válidos, se puede usar el siguiente método, tomado de la Norma NZS 4298 (1998), para determinar la *resistencia característica* (σ_k). Este método estadístico establece que un 90% de los elementos de un lote completo bajo evaluación posee una resistencia igual o superior a la σ_k que se determina desde la siguiente ecuación:

$$\sigma_k = \left(1 - 1,5 \frac{S}{\sigma_{prom}}\right) \cdot \sigma_1 \quad (1)$$

siendo σ_1 , el resultado de ensayo más bajo.

La resistencia promedio, σ_{prom} , se calcula desde:

$$\sigma_{prom} = \frac{\sum \sigma_i}{n} \quad (2)$$

donde $n = 5$,

y S , la desviación estándar, desde:

$$S = \sqrt{\frac{\sum \sigma_i^2 - \sigma_{prom}^2}{n-1}} \quad (3)$$

Tabla 1 – Resultados de los ensayos de compresión y de la densidad aparente

Probeta	Dimensiones (cm)			Área (cm ²)	Resistencia a la compresión (MPa)	Masa (g)	Volumen (cm ³)	Densidad aparente (g/cm ³)
	Tizón	Soga	Grueso					
A1	14,9	30,0	5,8	447,0	1,92	3575	2570,3	1,39
A2	14,9	30,0	5,7	445,5	1,85	3540	3539,4	1,39
A3	14,9	29,7	5,7	441,0	1,17	3595	2419,9	1,44
A4	15,0	29,7	5,5	444,0	1,95	3575	2442,1	1,46
A5	15,0	29,7	5,6	444,0	1,93	3465	2486,5	1,47
A6	14,9	29,7	5,6	442,5	2,94	3455	2456,0	1,41
A7	14,9	29,9	5,7	445,5	2,22	3511	2517,1	1,39
Promedio	14,9	29,9	5,6	445,2	1,97	3569	2511	1,42

Tabla 2 – Resistencia a compresión de la muestra de adobes

Resistencia a compresión (MPa)	
σ_1	1,85
σ_{prom}	1,97
S	0,14
σ_k	1,65

Se descartaran los valores anormales A3 y A6 de la tabla 1. En estos cálculos, no se considera la relación de aspecto de los adobes. Por ello, aun cuando los ensayos son válidos y permiten sacar conclusiones, como se detalla más adelante, no se pueden asociar directamente estos resultados con los obtenidos en ensayos con probetas cúbicas, tal como se prescriben en las Normas NBR 16.814 (2020) y NE 080 (2017).

2.6 Ensayos de suelos

Para proceder a la clasificación del suelo utilizado en la fabricación de los adobes, se analizó la tierra recuperada de las piezas ensayadas a compresión. También se analizó una muestra de tierra suelta obtenida en la fábrica de ladrillos cerámicos, efectuándose en todos los casos los procedimientos de clasificación gravimétrica y de plasticidad.

Los resultados se detallan en la tabla 3. De acuerdo a los resultados de los ensayos de la APV, ambas tierras (recuperada y suelta) corresponden a suelos de rango arcilloso, lo cual es compatible con el uso previsto originalmente. Los adobes “tradicionales” se fabrican usualmente con suelos franco–arcillo–arenosos, con elevado porcentaje de arena, y por esa razón, entre otras, la densidad aparente de los mismos frecuentemente es elevada, del orden de los 1,75 g/cm³.

Tabla 3 – Caracterización y clasificación de los suelos (Departamento Laboratorio APV – 20/4/2021)

Ensayo	Tierra recuperada	Tierra suelta	Norma	
Granulometría por vía húmeda (% que pasa)				
Tamiz 10) (2.0 mm)	99	98	VN-E1-65	
Tamiz 40 (0.42 mm)	95	96		
Tamiz 200 (0.075 mm)	75	73		
Límites de Atteberg y clasificación del suelo				
LL (%)	16.08	17,86	25.70	VN-E2-65
LP (%)	7.14	7.50	15.38	VN-E3-65
IP (%)	13.45	16.66	10.32	
Promedio IP (%)	15		10	ASTM D 3282
Índice de grupo	8		8	
Clasificación HBR	A-6		A-6	

Los informes de los ensayos establecen que los suelos A-6 son suelos arcillosos plásticos que contienen generalmente 75% o más que pasa el tamiz N°200, el material de este grupo tiene comúnmente grandes cambios de volumen al pasar del estado húmedo al seco. El índice del grupo está comprendido entre 1 y 16, los mayores valores indican el efecto combinado de altos índices de plasticidad y bajos porcentajes de agregado grueso.



Figura 4. Ensayos en la APV para la determinación de LL, LP e IP

2.7 Determinación del contenido de cáscaras de maní en los adobes

Debido a que, cuando se elaboraron los adobes, no se determinaron ni el volumen ni el peso de las cáscaras agregadas al barro, se procedió a separarlas de la tierra de las piezas ya ensayadas a compresión. El objetivo de esta separación fue determinar el porcentaje de cáscaras con el cual se consiguieron los resultados de los ensayos efectuados en este trabajo, y desde el cual partir en la etapa posterior del desarrollo, tal como está planeado.

El procedimiento adoptado fue:

- a) con un martillo de mano, se retiran mecánicamente las capas de azufre de los encabezados y luego se procede a romper los adobes en trozos pequeños.

Se observa que el barro seco no se desintegra fácilmente, conservando una dureza y resistencia apreciables. Los daños provocados por la fuerza de compresión son visibles en los cantos y en las testas de los adobes, pero no hay daños significativos en las caras que habían sido encabezadas con azufre.

- b) Se procede a sumergir los trozos de los adobes en un recipiente de 20 litros de capacidad, con abundante agua, durante algunas horas, removiendo a mano hasta lograr que los elementos más livianos de la mezcla suban a la superficie mientras los componentes de la tierra se precipitan en el fondo.

Porque no contiene cemento, la tierra se transforma completamente en un barro sin grumos y se separan todos los elementos de material orgánico mediante enjuague, tamizado y selección manual.

La separación del material orgánico muestra, además de las cáscaras de maní, la presencia de aserrín y virutas de madera, que se habían agregado en el pisadero a la tierra con la que se fabrican los ladrillos cerámicos macizos.

- c) El material orgánico extraído se expone al sol durante varios días hasta su secado total. Se aprecia a simple vista que el porcentaje volumétrico de cáscaras es muy superior al del aserrín y al de las virutas o astillas de madera.

Terminado el secado y la separación de los distintos materiales orgánicos, se determina un peso promedio de 135 gramos de cáscaras de maní, por adobe.



Figura 5. Proceso de recuperación de las cáscaras de maní

2.8 Observaciones adicionales

- Los suelos ensayados corresponden a una clasificación HRB A-6 según la Norma ASTM D 3282 (2015), lo que los ubica dentro del rango arcilloso – zona de color lila de la figura 6 – con un exiguo contenido de arena, compatible con el uso al que estaba destinada la tierra originalmente, es decir, la fabricación de ladrillos cerámicos macizos. Se considera que esta característica amerita un estudio más profundo, ya que se contrapone a muchas citas bibliográficas que señalan que los suelos para moldear adobes deben contener como mínimo un 50 a 55% de arena, con un porcentaje de arcilla de 20 a 25% como máximo, lo que los ubica cerca, o dentro, de la zona de los suelos franco-arcillo-arenoso, color turquesa en la figura 6.
- La densidad aparente de la tierra es la determinante de la densidad de los adobes. Se considera que, para lograr adobes de baja densidad, se deben utilizar suelos arcillosos.
- Las bolitas de la figura 7, conformadas con la tierra extraída de los adobes ensayados, desarrollaron mucha dureza y pasadas las 48 horas no se pudieron romper entre los dedos, con lo que se corrobora empíricamente la aptitud del suelo y la presencia de arcilla.

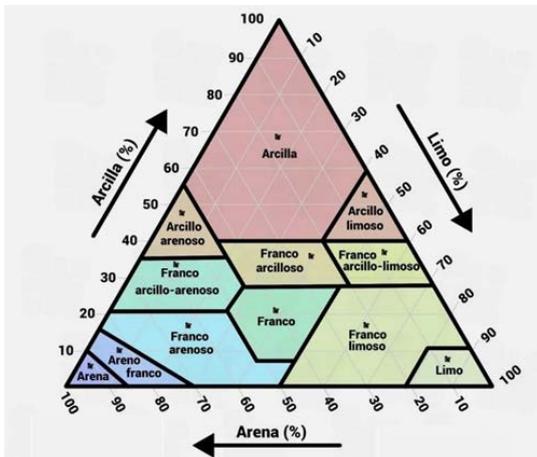


Figura 6. Triángulo textural (Clasificación USDA¹)



Figura 7. Bolitas de barro secas

- Desde su desmolde hasta el secado final, los adobes no desarrollaron grietas de contracción. Esto puede ser atribuible a que se fabricaron usando una tierra adecuada, en cuanto a su composición y humedad, aunque, también, al agregado de virutas y aserrín de madera, por cuanto en la fábrica ladrillera se inspeccionaron piezas unitarias de tierra, oreadas, listas para ir al horno, y ninguna presentaba grietas importantes. No obstante, se considera factible que, con ese tipo de tierra, las cáscaras por sí solas también impedirían la formación de grietas, aunque el barro no contuviera virutas y aserrín de madera.
- En los adobes identificados como “A”, de los que se fabricaron diez unidades y que se realizaron con un tiempo de mezclado en total entre el barro y las cáscaras de aproximadamente 20 minutos en dos etapas, con un reposo intermedio de aproximadamente seis horas, la densidad aparente fue de 1,42 g/cm³, la σ_{prom} resultó de 1,97 MPa y la σ_k calculada alcanzó los 1,65 MPa.
- Se observa que la tierra tiene buena adherencia a la parte cóncava (interior) de las cáscaras, pero es menor en la parte exterior, la cara convexa. Las fibras sueltas, pertenecientes a las cáscaras, tienen buen anclaje con la tierra.
- Al haberse determinado un peso promedio de 135 gramos de material seco, por adobe, el peso porcentual promedio de cáscaras se puede estimar en aproximadamente 3,8%. Este cálculo no permite determinar con exactitud el porcentaje en volumen de las cáscaras al momento de ser agregadas, lo cual queda pendiente para la próxima etapa del desarrollo.

¹ United States Department of Agriculture

3. PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS ADOBES

3.1 Difusividad térmica

Aunque un cerramiento de tierra con alta masa produce un retardo y una amortiguación de las ondas térmicas exteriores, se debe tener en cuenta que ‘a medida que aumenta la densidad de un cerramiento, proporcionalmente, pierde más rápido el calor que es capaz de acumular’ (Mosquera, 2013).

Para Mosquera (2013), la propiedad que mejor representa el comportamiento térmico de un cerramiento sometido a un flujo de calor no estacionario (variable, dinámico, real), es la difusividad térmica (α), que es inversamente proporcional a la inercia térmica y define la modulación de las ondas térmicas que atraviesan los edificios ya que ‘para cerramientos con un espesor determinado, retardarán y amortiguarán más las ondas térmicas, los que tengan menor α ’. Además, ‘a más alta difusividad térmica, más rápidamente cambia la temperatura interior del material cuando lo hace la temperatura superficial’ (UNE EN ISO 7345, 1996). Todo esto es particularmente importante en zonas de clima frío.

La difusividad térmica de un material se calcula, genéricamente, con la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{\lambda}{c_p \cdot \rho} (m^2/s) \cdot 10^{-7} \quad (4)$$

siendo,

λ conductividad térmica (W/m.K),

c_p calor específico a presión constante (J/kg.K)

ρ densidad aparente (g/cm³)

Mientras que λ es la medida del calor transferido por conducción térmica a través de un elemento, por unidad de tiempo y de superficie, cuando la diferencia de temperaturas es 1 K (o 1°C), α representa la rapidez con la que el calor se difunde a través del material. En la ecuación 4, el factor λ mide la capacidad del material para transmitir calor, toda vez que el factor $c_p \cdot \rho$ mide la capacidad del material para almacenar energía calorífica.

Los materiales de α grande responden a los cambios térmicos envolventes con mayor rapidez, mientras que los materiales de α pequeño lo hacen más lentamente y, por lo tanto, mayor es el tiempo necesario hasta alcanzar una nueva condición de equilibrio.

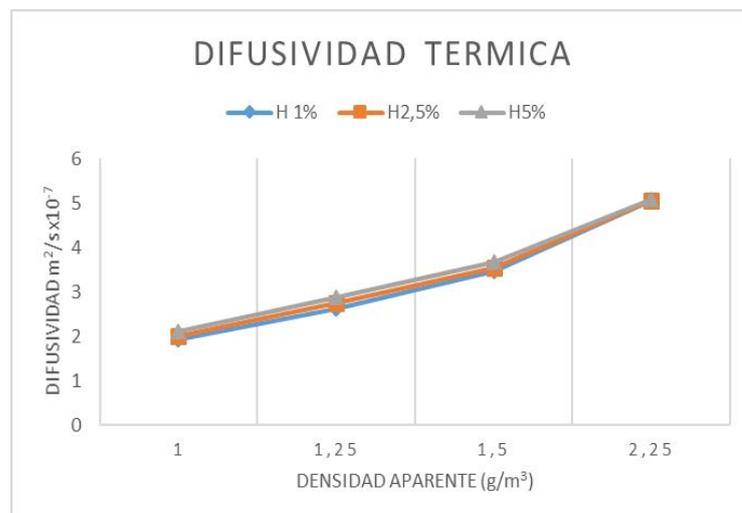


Figura 8. α en función de ρ y de $H_p\%$

De la figura 8, se puede deducir que, aunque la relación entre α y ρ no es absolutamente lineal, α aumenta con relación a ρ en mayor medida que la densidad misma.

El calor específico de un adobe (c_{pa}) dependerá de las proporciones en peso de cada uno de los materiales que integran la mezcla, por lo que es necesario conocer su composición.

Para el cálculo del c_{pa} , si la tierra se estabiliza con paja y cemento, puede tomarse la siguiente ecuación (Mosquera, 2013).

$$C_{pa} = C_{pt} + 1600 \frac{Pp}{100} + 4180 \frac{Hp}{100} + 1000 \frac{Pc}{100} \quad (\text{J/kg K}) \quad (5)$$

siendo:

c_{pt} calor específico de la tierra, en base seca. Valor de referencia: 840 (J/kg.K)

Pp contenido en peso de la paja (kg/kg)

Hp contenido en peso del agua contenida en el material (kg/kg) en base seca

Pc contenido en peso del cemento (kg/kg) en base seca (no previsto en los caroyenses)

Nota: aunque no se dispone del c_p de las cáscaras de maní, se estima igual o mayor a 1.600 (J/kg.K)

3.2. Parámetros térmicos en elementos de tierra. Modelo matemático

Ampliando la gama de los modelos matemáticos (MM) analizados, Mosquera (2013) postula la ecuación de su propio MM, que aquí se denominará MA, en el que introduce un término representativo de la influencia de la humedad intrínseca en la λ de adobes y bloques de tierra comprimida (BTC). Para determinar las λ , utilizó el dispositivo KD2 de aguja térmica, que es el método especificado en la ASTM D5334 (2014), y analizó el comportamiento térmico de los cerramientos de tierra cuando se encuentran bajo un flujo externo de calor no estacionario para verificar el cumplimiento de los requisitos de la normativa vigente en España.

Como innovación, se aplicó el MA a un cerramiento de quincha, un material muy diferente a las piezas de albañilería de tierra (PATs) como son los adobes o BTCs que Mosquera (2013) ensayó. En este trabajo, Canavesi (2020), aplicando el MA a un hipotético panel de quincha donde se calculó una $\rho = 1,2 \text{ g/cm}^3$ y se adoptó una $Hp\% = 0\%$, la $\lambda = 0,27 \text{ W/m.K}$ que se obtuvo considerándolo como una PAT, resultó cercana a las $\lambda = 0,2 \text{ W/m.K}$ y $\lambda = 0,25 \text{ W/m.K}$ determinadas mediante ensayos efectuados con el método de la placa térmica protegida en un laboratorio del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), en Buenos Aires, sobre dos paneles de $\rho = 1,18 \text{ g/cm}^3$ elaborados con la técnica de quincha húmeda en el ámbito del Centro Científico Tecnológico (Cuitiño y otros, 2015).

En otro trabajo publicado, Cuitiño y otros (2016) adoptaron una conductancia térmica $C = 0,83 \text{ W/m}^2.\text{K}$ para el cerramiento de un salón de usos múltiples (SUM) construido en quincha húmeda con un espesor $e = 0,30 \text{ m}$. Siendo C el valor de la λ para un espesor unitario, es decir: $C = \lambda / e$, se puede determinar una $\lambda = 0,25 \text{ W/m.K}$ (que se deduce desde: $\lambda = C \times e = 0,83 \times 0,3 = 0,25$). Este valor de λ , presupone que una de las probetas ensayadas en el INTI y el cerramiento del SUM, tenían iguales ρ y $H\%$.

Ejemplos de uso del MA: adobe con densidad genérica versus adobe caroyense

Las tablas 4 y 5 muestran la aplicación del MA en dos tipos diferentes de adobes, donde se mantuvieron constantes c_p , $Hp\%$, e y las resistencias térmicas del cerramiento – éstas últimas extraídas de la IRAM 11605 (1996) - y se tomó como única variable la ρ de los mismos. La λ para una $\rho = 1,75 \text{ g/cm}^3$, es un 50% mayor que la λ correspondiente a una $\rho = 1,42 \text{ g/cm}^3$. Es decir, λ aumenta, proporcionalmente, más que la ρ misma, concordante a lo mostrado en la figura 8 con relación a α . Los resultados de los cálculos demuestran la importancia de desarrollar adobes livianos para disminuir el valor de λ y, con ello, el de α .

Tabla 4 Adobe genérico $\rho = 1,75 \text{ g/cm}^3$

Densidad	ρ	1,75	(g/cm ³)
% Humedad	Hp	3,3	(g/g)
Conductividad	λ	0,75	(W/m.K)

Conductividad	λ	0,75	(W/m.K)
Calor específico	C_p	1090	(J/kg.K)
Densidad	ρ	1,8	(g/cm ³)
Difusividad	α	3,91	(m ² / s) .10 ⁻⁷

Conductividad	λ	0,75	(W/m.K)
Conductancia	C	2,49	(W/m ² .K)

Resist. muro 1/C	R_m	0,40	(m ² .K/W)
Resist. sup. ext.	R_{se}	0,13	(m ² .K/W)
Resist. sup. int.	R_{si}	0,04	(m ² .K/W)
Otra Resistencia	R_o	0,00	(m ² .K/W)
Resistencia Total	R_T	0,57	(m ² .K/W)
Transmitancia	$K(U)$	1,75	(W/m ² .K)

Desarrollo: Luis Eduardo Canavesi

El MA permite realizar cálculos comparativos para diferentes configuraciones. Modificando los valores de ρ , $H_p\%$, c_p y e , se pueden determinar distintos valores para λ , α y C . Conociendo C , se calcula la resistencia térmica del muro (R_m), siendo $R_m = 1/C$; y, si se agregan las resistencias superficiales (R_{se} y R_{si}), más otras resistencias térmicas adicionales (R_o), que pudiera haber, se determina la Resistencia Total, (R_T), y con ello la transmitancia térmica $K(U)=1/R_T$, que es el flujo total de calor entre ambos lados de un elemento, por metro cuadrado de superficie, por unidad de tiempo y por gradiente unitario de temperatura.

Tabla 5 Adobe Caroyense $\rho = 1,42 \text{ g/cm}^3$

Densidad	ρ	1,42	(g/cm ³)
% Humedad	Hp	3,3	(g/g)
Conductividad	λ	0,49	(W/m.K)

Conductividad	λ	0,49	(W/m.K)
Calor específico	C_p	1090	(J/kg.K)
Densidad	ρ	1,4	(g/cm ³)
Difusividad	α	3,14	(m ² / s) .10 ⁻⁷

Conductividad	λ	0,49	(W/m.K)
Conductancia	C	1,62	(W/m ² .K)

Resist. muro 1/C	R_m	0,62	(m ² .K/W)
Resist. sup. ext.	R_{se}	0,13	(m ² .K/W)
Resist. sup. int.	R_{si}	0,04	(m ² .K/W)
Otra Resistencia	R_o	0,00	(m ² .K/W)
Resistencia Total	R_T	0,79	(m ² .K/W)
Transmitancia	$K(U)$	1,27	(W/m ² .K)

Desarrollo: Luis Eduardo Canavesi

Utilizando el MA de esta manera, se transforma en una herramienta útil para verificar, con un grado de certeza aceptable, si los sistemas de construcción con tierra cumplen con los parámetros de acondicionamiento térmico exigidos por las Normas. Por ejemplo, con cerramientos de $\rho = 1,3 \text{ g/cm}^3$, una $H_p\%$ de 3,3% en peso, y con muros de $e = 0,25 \text{ m}$, se cumplirían los requerimientos de la IRAM 11605 (1996) en la mayoría de las zonas bioclimáticas de la República Argentina, para la condición de verano, clases B y C. Para una $\rho = 1,75 \text{ g/cm}^3$, se requeriría un $e = 0,45 \text{ m}$. Los resultados de cálculo del MA verifican la relación exponencial entre ρ y λ .

4. CRITERIOS DE SISMORRESISTENCIA EN EDIFICACIONES DE ADOBE

▪ En Perú, un país que cuenta con un amplio historial de eventos sísmicos graves, se han reglamentado las construcciones de tierra reforzada de adobe y de tierra apisonada y en la

Norma E.080 (2017) la fuerza sísmica horizontal en la base de las edificaciones, se determina con la siguiente ecuación:

$$H=S.U.C.P. \quad (6)$$

donde:

S factor de suelo,

U factor de uso (donde U = 1 para vivienda),

C coeficiente sísmico (indicado en la tabla 4),

P: peso total de la edificación, incluyendo carga muerta y el 50 % de la carga viva.

▪ En Nueva Zelanda, con una ingeniería sismorresistente basada en las Normas NZS 4297/1998, 4298/1998 y 4299/1998, se construye con adobe, BTC, tierra apisonada y tierra vertida en zonas sísmicas con coeficientes C_{pi} de hasta 1,2g.

La aceleración a_{cr} , que es la requerida para causar el agrietamiento de los muros, y disminuye a medida que ρ es mayor, se calcula con la ecuación:

$$a_{cr} = \frac{8R}{h^2 \cdot \rho \cdot e} \left[\frac{e}{6} - \Delta_{cr} \right] (g) \quad (7)$$

donde,

$$R = \left(1 - \frac{2}{3} C_{pi} \right) \left(P + \frac{1}{2} W \right) \quad (8)$$

siendo, entre otros parámetros:

ρ densidad del material de la pared

P carga de gravedad por unidad de longitud en la parte superior de la pared

W peso propio de la pared bajo análisis

▪ Para Minke (2001) “una aceleración horizontal de 0,3 g significa que 30% del peso propio de los elementos constructivos actúan como fuerza en el sentido horizontal en la construcción”.

Teniendo en cuenta todos estos criterios, se puede deducir que las magnitudes de las fuerzas sísmicas actuantes sobre las estructuras dependen de la densidad de los materiales usados en la construcción de los muros, de donde se deduce la importancia de alivianarlos para reducir las cargas inerciales generadas durante los terremotos.

5. CONSIDERACIONES FINALES

▪ Los adobes caroyenses, que se fabricaron con una tierra arcillosa estabilizada con cáscaras de maní, superaron el valor de resistencia característica a la compresión de 1,2 MPa adoptada como la mínima admisible en el Protocolo de ensayos presentado en la Red Protierra Argentina²; pero se debe aclarar que, en ese Protocolo, los resultados de ensayos corresponden a pruebas sobre probetas cúbicas y no sobre adobes enteros.

▪ Si lo que se procura es optimizar la amortiguación de las ondas térmicas exteriores, reduciendo la difusividad térmica de los muros envolventes, los adobes alivianados son una opción válida.

▪ Para un mismo diseño arquitectónico, y utilizando cualquier sistema normativo, al ser la fuerza sísmica una función de la masa (densidad), las edificaciones con muros de adobes “livianos” serían más sismorresistentes que las construidas con adobes “pesados”.

² <http://www.redprotierra.com.ar>

- Con el propósito de reducir la huella de impacto ambiental, es apropiado emplear como estabilizante orgánico un desecho de la industria agrícola.

Como conclusión final, las cáscaras de maní se presentan como una alternativa innovadora, sustentable, factible y adecuada, que permitiría fabricar adobes de baja densidad para disminuir la difusividad térmica de los cerramientos y mejorar la sismorresistencia de las construcciones, reduciendo la huella de impacto ambiental al usar un desecho de la industria agrícola.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración desinteresada de las entidades, empresas y personas que aparecen a continuación por orden alfabético.

- Administración Provincial de Vialidad, Ciudad de La Rioja, Argentina: Ing. Marta Soteras, MMO Claudio Vera y personal técnico del laboratorio.
- Ladrillera de Colonia Caroya: Miguel Nanini y Anacleto Alvarado.
- Manicera Hesar Hnos. S.A., Villa Ascasubi, Provincia de Córdoba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM D 3282 (2015). Standard practice for classification of soils. USA: American Society for Testing and Materials.

ASTM D5334-14. (2014). Standard test method for the determination of thermal conductivity of soil and soft rock using the thermal needle probe procedure. USA: American Society for Testing and Materials.

Canavesi, Luis (2020). Aplicación de un modelo matemático para la determinación de la conductividad térmica en materiales de tierra. Comparación entre los resultados de ensayos de laboratorio, con los calculados en una quincha hipotética. Jornadas I+D+i, UTN FRLaR, disponible en <http://www.redprotierra.com.ar>

Cuitiño, Guadalupe; Esteves, Alfredo; Maldonado, Gabriela Patricia; Rotondaro, Rodolfo (2015). Análisis de la transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha. Informes de la Construcción Vol. 67, 537, e063 enero-marzo 2015. ISSN-L: 0020-0883.

Cuitiño, Guadalupe; Esteves, Alfredo; Marín, Laura; Bertini; Renato (2016). Salón de usos múltiples con tecnología de quincha en zona de montaña, análisis térmico de su comportamiento. Acta de la XXXIX Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 4, pp. 05.95-05.103, 2016. ISBN 978-987-29873-0-5.

Granero, A. V.; Gatani, M. P.; Medina, J. C.; Ruiz, A.; Fiorelli, J.; Kreiker, J. R.; Lerda, M. J (2013). Determinación de la influencia del tamaño y forma de partículas de cáscaras de maní en paneles aglomerados. Universidad de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales, Argentina. Quebracho Vol.21(1,2):67-80. Disponible en <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/quebracho/v21n2a02.pdf>

IRAM 11605 (1996). Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos. Argentina: Instituto Argentino de Normalización y Certificación

Jiménez, Paula Vanesa; da Silva, Dimas Agostinho; Umlandt, Maximiliano; Gatani, Mariana; Medina, Juan Carlos, (2019). Caracterización de cáscara de maní procedente de la Provincia de Córdoba, Argentina. Revista Argentina de Ingeniería. Consejo Federal de Decanos de Ingeniería de la República Argentina.

Mosquera Arancibia, Pablo (2013). Medida de la conductividad térmica con el método de la aguja térmica, basado en la fuente lineal de calor transitorio, para su aplicación en los cerramientos de adobe y bloques de tierra comprimida. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Madrid. España.

Minke, Gernot. (2001). Manual de construcción de viviendas antisísmicas de tierra. Universidad de Kasel, Alemania.

NBR 16.814 (2020). Adobes – requisitos e métodos de ensaio. Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NMAC 14.7.4. Title 14 Housing and Construction. Chapter 7 Building Codes General. Part 4 (2015) New Mexico Earthen Building Materials Code, USA.

NZS 4297. (1998). Engineer design for earth buildings, New Zealand Standards.

NZS 4298 (1998). Materials and workmanship for earth buildings, New Zealand Standards.

NZS 4298 (1998). Earth buildings not requiring specific design, New Zealand Standards.

Norma E.080 (2017). Diseño y construcción con tierra reforzada. Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Disponible en: <https://www.sencico.gob.pe/descargar.php?idFile=3478>

Santa Cruz Orellana, Tania Sharaim, (2012) Evaluación de la utilización de epicarpio de maní (*Arachis Hypogaea*, C. Linneo) con un ligante polimérico, en la aplicación de especímenes de prueba –paneles menores. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Universidad de San Carlos de Guatemala.

UNE EN ISO 7345 (1996). Thermal isolation. Physical quantities and definitions. European Standards

VN - E1 - 65 (1965) Tamizado de suelos por vía húmeda. Dirección Nacional de Vialidad, Argentina.

VN - E2 - 65 (1965) Límite líquido. Dirección Nacional de Vialidad, Argentina.

VN - E3 - 65 (1965) Límite plástico – Índice de plasticidad. Dirección Nacional de Vialidad, Argentina.

Normas VN disponibles en: <http://www1.frm.utn.edu.ar/labvial/Normas%20de%20Ensayo.pdf>

Autor

Luis Eduardo Canavesi, Ingeniero Mecánico y Electricista, la Universidad Nacional de Córdoba, 1975. Profesor emérito de la Cátedra Instalaciones Termomecánicas, Carrera de Ingeniería Civil y ex Secretario de Ciencia y Tecnología, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Rioja, República Argentina (UTN FRLaR). Investigador independiente. Miembro adherente de la Red Protierra Argentina.