

# Caracterización de unidades de adobe sometidas a radiación UVA

*Claudia Uribe Kaffure  
Alfonso Mariano Ramos Cañón  
Javier Camacho Tauta*

## Introducción

Gran parte de las edificaciones patrimoniales en Colombia se encuentran construidas con materiales compuestos por tierra (adobe y tapia pisada). Durante los últimos años se han realizado esfuerzos para rescatarlas, para lo cual se han diseñado diferentes técnicas de rehabilitación que buscan mejorar su desempeño estructural y una protección para el deterioro natural (Pérez et al., 2007).

Colombia cuenta actualmente con 1 133 monumentos nacionales de los cuales el 80% están construidos en tierra (Ruiz, López y Rivera, 2012). Adicionalmente, diferentes poblaciones rurales cuentan aún con viviendas levantadas con estos materiales.

Entre los factores que afectan las propiedades de las edificaciones en adobe se encuentran el agua, los contaminantes atmosféricos, las sales solubles y los organismos vivos (Ríos, Vera y Guzmán, 2006). Según Torrealva (2003), estos agentes, en mayor o menor medida, atacan las construcciones en tierra alterando sus propiedades mecánicas y comprometiendo la estabilidad de las edificaciones patrimoniales. Pese a ser esto cierto, no se conocen investigaciones que determinen el grado de afectación que experimenta el adobe debido a los citados agentes, ni a otros factores como la radiación ultravioleta.

Se han realizado algunas investigaciones que buscan conocer las características mecánicas de los materiales que constituyen las construcciones patrimoniales (Corrêa, Teixeira, Lopes y Oliveira, 2003; Liberotti y Daneels, 2012; Rivera y Muñoz, 2005), al igual que otras que estudian el comportamiento de estos sistemas en tierra ante fuerzas sísmicas (Blondet, Villa y Brzev, 2003; Flores, Pacheco y Reyes, 2001; Yamín, Phillips, Reyes y Ruiz, 2007). Sin embargo, no se encontraron estudios que cuantifiquen el cambio en las propiedades mecánicas de las unidades de adobe debidas a factores ambientales.

Para el conocimiento del comportamiento de cualquier material es necesario su estudio detallado. Unos de los aspectos que se deben estudiar son los factores y/o agentes que afectan las propiedades del material, algunos de ellos pueden ser la radiación solar, la humedad y la condensación.

Debido al gran número de construcciones patrimoniales en Colombia y a la necesidad de buscar soluciones de conservación y rehabilitación óptimas y perdurables para estas, es necesario ahondar en el estudio de los sistemas constructivos en tierra. El estudio del comportamiento mecánico de las unidades de adobe y sus cambios debido a factores medioambientales es un paso importante para entender el funcionamiento de las edificaciones patrimoniales.



*Capilla doctrinera de Tausa viejo,  
Cundinamarca.*

Fuente:  
Uribe, Ramos y Camacho

# Caracterización de unidades de adobe sometidas a radiación UVA

Characterization of Adobe Units Subjected to UVA Radiation

Caracterização de unidades de adobe sob radiação UVA

---

Claudia Uribe Kaffure

clauribek@gmail.com  
Docente de la Universidad del Tolima

---

Alfonso Mariano Ramos Cañón

a-ramos@javeriana.edu.co  
Docente Pontificia Universidad Javeriana

---

Javier Camacho Tauta

Javier.camacho@unimilitar.edu.co  
Docente Universidad Militar Nueva Granada

Agradecimientos: Los autores agradecen a la Pontificia Universidad Javeriana por el apoyo económico al presente trabajo por medio del proyecto ID 00004756, retrospectiva de las catástrofes naturales en Colombia.

---

## Resumen

Este trabajo muestra los resultados obtenidos en la variación de las propiedades mecánicas de unidades de adobe sometidas a factores ambientales simulados de radiación y condensación. Para ello se estudiaron adobes de más de trescientos años de antigüedad extraídos de la capilla *doctrinera* de Tausa, y adobes nuevos construidos en laboratorio. Las piezas de adobe fueron sometidas a ciclos alternados de seis horas de radiación UVA y dos horas de condensación durante 360, 720, 1 440, 2 160 y 2 880 horas de exposición, tiempos en los cuales se analizó la variación en las propiedades mecánicas del adobe mediante ensayos de esfuerzo deformación. Se logró concluir que la exposición a radiación UVA acelera la variación en las propiedades mecánicas de los adobes nuevos, mientras que al adobe de la capilla de Tausa no le causa ningún efecto mecánico. Igualmente, se pudo establecer que los cambios en la resistencia del adobe están dados por la variabilidad en la cohesión ya que el ángulo de fricción de este material no se modifica con el tiempo.

**Palabras clave:** caracterización mecánica; edificaciones patrimoniales; construcción en tierra; radiación UVA

---

## Abstract

This paper shows the results obtained for the variation of the mechanical properties of adobe units subjected to simulated environmental factors of radiation and condensation. For doing this, adobes over three hundred years old, taken from the chapel *doctrinera* de Tausa, and new laboratory-built adobes were studied. Both kinds of adobe blocks were subjected to alternating cycles of six hours of UVA radiation and two hours of condensation for consecutive periods of 360, 720, 1 440, 2 160 and 2 880 hours of exposure. At the end of each period, the change in mechanical properties of the adobes was analyzed by means of stress-strain tests. It was possible to conclude that the exposure to UVA radiation accelerates the variation in the mechanical properties of the new adobe blocks, while for the old Tausa-Chapel blocks it has no perceptible mechanical effect. Also, it was established that the changes in adobe resistance are given by the variability of cohesion, as the friction angle of this material does not change with time.

**Keywords:** mechanical characterization; heritage buildings; earth construction; UVA radiation

---

## Resumo

Este documento mostra os resultados obtidos na variação das propriedades mecânicas das unidades de adobe submetidas a fatores ambientais simulados de radiação e condensação. Para isso, estudaram-se adobes de mais de trezentos anos de antigüidade, extraídos da capela *doctrinera* de Tausa, e novos adobes construídos no laboratório. As peças de adobe foram submetidas a ciclos alternados de seis horas de radiação UVA e dois horas de condensação durante 360, 720, 1 440, 2 160 e 2 880 horas de exposição, tempos nos quais analisou-se a variação das propriedades mecânicas do adobe por médio de ensaios de esforço deformação. Foi possível concluir que a exposição à radiação UVA acelera a variação nas propriedades mecânicas dos novos adobes, e não causa nenhum efeito mecânico no adobe da capela Tausa. Do mesmo modo, pode-se estabelecer que as mudanças na resistência do adobe devem-se à variabilidade na coesão, por quanto o ângulo de fricção deste material não se modifica com o tempo.

**Palavras chave:** caracterização mecânica; prédios patrimoniais; construção em terra; radiação UVA

doi:10.11144/Javeriana.apc28-1.cuas

Artículo de investigación

Recepción: 15 de mayo de 2014

Aceptación: 15 de noviembre de 2014

Disponible en línea: 10 diciembre de 2015

\* Los descriptores y keywords plus están normalizados por la Biblioteca General de la Pontificia Universidad Javeriana.

## El adobe

La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica define el adobe como un bloque de tierra cruda sin cocer (AIS, 2005). El adobe está compuesto principalmente por arena, limo y arcilla. En ocasiones puede contener paja, crin de caballo, heno u otro material con el fin de dar mayor estabilidad y resistencia a los bloques de adobe (Ramírez, 2011).

El uso del adobe como material de construcción se remonta a 8 000 años A.C. (Houben y Guillard (1994) citado por Blondet et al., 2003). Esta técnica constructiva se sigue usando en países en desarrollo (Onrrubia, Ramos y Cossío, 2003) y se encuentra presente en distintas regiones del mundo, como América Latina, Asia, África, India, Oriente Medio y el Sur de Europa (Blondet et al., 2003). Estas estructuras en su mayoría están situadas en zonas de amenaza sísmica moderada o alta.

Según Grandreau y Delboy (2010), citado por Liberotti y Daneels (2012), y Callas (1999), citado por Ramírez (2011), alrededor del 30% de la población mundial vive en casas hechas en tierra. En muchos sectores rurales y suburbanos se sigue usando esta técnica constructiva debido a que la materia prima está presente en el lugar de construcción, lo que representa un bajo costo. La construcción en adobe tiene la ventaja de ser un sistema ecológico, ya que no necesita energía de combustibles para su extracción, implementación o destrucción, lo que a su vez lo convierte en un material económico (Onrrubia et al., 2003).

En Colombia se sigue usando el adobe como solución de vivienda en sectores de escasos recursos, donde no es posible usar nuevos materiales por los costos que estos representan. Incluso existen poblaciones, como es el caso de Barichara, Santander, donde más del 90% de las viviendas están construidas en tierra, sin importar el estrato económico al que pertenezcan. A pesar de ello, en el país el adobe y la tapia en edificaciones nuevas no está permitido, ni siquiera las normas contemplan procesos para la rehabilitación de las edificaciones en tierra ya existentes.

Entre los aspectos estudiados para los sistemas constructivos en tierra se encuentran investigaciones de caracterización de materiales, técnicas de reforzamiento y estudios de daño.

Rivera y Muñoz (2005) caracterizan el adobe de una capilla doctrinera en Tausa, Cundinamar-

Contenido de humedad (%)		3.3
Contenido de materia orgánica (%)		4.8
Peso específico (ton/m <sup>3</sup> )		1.77
Límite líquido		44
Límite plástico		25
Índice plástico		20
Granulometría	Gravas (%)	10
	Arenas (%)	18
	Finos (%)	72
Clasificación	USC	CL
	AASHTO	Arcilla inorgánica de baja plasticidad A-7 Suelo limo arcilloso

ca, la cual tiene más de 300 años de antigüedad. Entre las pruebas físicas realizadas hicieron ensayos de granulometría, peso específico, contenido de materia orgánica, contenido de humedad y límite de consistencia, cuyos resultados se muestran en la Tabla 1. Mecánicamente realizaron pruebas de compresión simple y flexión, y encontraron que la resistencia a compresión del bloque de adobe es de 3.04 MPa y el módulo de rotura es de 0.41 MPa.

En su interés por lograr que las construcciones patrimoniales en tierra en Colombia sean evaluadas desde una óptica menos cualitativa, Ruiz et al. (2012) proponen una reglamentación para la evaluación sísmica de este tipo de edificaciones. Basados en los resultados de diferentes estudios realizados por Rivera (2004), establecen en ella unos valores límites de propiedades para el adobe (Tabla 2).

### Radiación ultravioleta

La radiación ultravioleta (UV) es una energía electromagnética emitida por el sol (Feynman, Leighton, Sands, M., di Francia y Cresti, 1996). Según la longitud de onda la radiación ultravioleta se clasifica en UVA, UVB o UVC, Entre más

**Tabla 1:**  
*Caracterización física del adobe de la capilla doctrinera de Tausa en el año 2005.*

**Fuente:**  
Rivera y Muñoz (2005)

**Tabla 2:**  
*Propiedades mecánicas del adobe en Colombia.*

**Fuente:**  
Adaptado de Ruiz, López y Rivera (2012)

Propiedad	Valor mínimo	Valor máximo
Resistencia a la compresión de piezas individuales de adobe en (MPa)	0.2	6
Resistencia a la compresión de la mampostería de adobe en (MPa)	0.2	1.6
Peso específico del adobe en (kN/m <sup>3</sup> )	15	19
Módulo de cortante de la mampostería de adobe en (MPa)	20	45

**Fotografías 1:**  
*Capilla doctrinera de Tausa, Cundinamarca.*  
 (a) Parte frontal. (b) Parte posterior.

**Fuente:**  
 Uribe, Ramos y Camacho



corta es la longitud de onda mayor es la energía de radiación que se produce (Feynman et al., 1996).

La radiación UVA es la menos destructiva y penetra de forma directa a la tierra. La radiación UVB penetra de forma precaria a la tierra, puesto que la mayoría de esta es absorbida por la capa de ozono. Esta radiación es biológicamente destructiva y es la causante de las patologías en la piel de los seres vivos. La radiación UVC es la más nociva de las tres, pero no se encuentra de forma natural en la tierra, pues toda es retenida por la capa de ozono (Feynman et al., 1996).

La luz solar es causa de daño de algunos materiales. La radiación produce ionización, excitación, desplazamiento atómico y cambios químicos (Campbell, 1997), generando modificación en las propiedades del material. El tipo de cambio sufrido varía dependiendo de la sensibilidad del material, el espectro de luz al que se somete y la cantidad de radiación (Campbell, 1997).

### *Cámara UV*

Entre las pruebas de alteración acelerada de los materiales se encuentran los ensayos de atmósfera simulada. En estos se fija la intensidad, frecuencia y secuencia de las variables atmosféricas según el caso de estudio (Vale y Martín, 1983). Estos ensayos pueden ser usados para imitar condiciones ambientales dadas, o para acelerar la exposición a variables atmosféricas. En este último caso se busca un factor de aceleración, el cual está dado por el

tiempo de prueba necesario para lograr o producir una alteración determinada y por el tiempo que tarda en aparecer esa alteración en forma natural (Vale y Martín, 1983; Sánchez, 2001).

Para llevar a cabo pruebas de alteración acelerada de los materiales existen cámaras de envejecimiento acelerado mediante radiación ultravioleta y condensación (Vale y Martín, 1983). Estas permiten lograr en menor tiempo los cambios que se presentan en un material por una exposición natural prolongada, porque simula condiciones de radiación UV, temperatura y humedad relativa (Vale y Martín, 1983).

Para simular el paso del tiempo, la cámara expone los materiales a ciclos alternados de luz ultravioleta (UV) y humedad, todo ello a temperaturas elevadas y controladas. Los efectos de la luz solar se simulan mediante el uso de lámparas fluorescentes UV especiales. El rocío y la lluvia se simulan mediante la condensación de humedad y/o la pulverización de agua (Sánchez, 2001; Vale y Martín, 1983).

No se encontró evidencia de estudios de exposición acelerada a radiación ultravioleta y condensación del adobe. Sin embargo, esta es una prueba muy utilizada en la investigación del comportamiento de los materiales en función del tiempo. Con esta técnica se han estudiado la durabilidad del granito, el mármol y la arenisca al ser recubiertas con un material híbrido orgánico-inorgánico (Oteo, Elvira, Alonso y Rubio, 2006); la conservación de la piedra de



**Fotografía 2(a):**  
*Extracción de unidades de adobe, sector en ruinas capilla doctrinera de Tausa.*

**Fotografía 2(b):**  
*Unidades de adobe extraídas de la capilla doctrinera de Tausa.*

**Fuente:**  
Uribe, Ramos y Camacho

la catedral de Murcia (Esbert et al., 1990); la propagación de grietas en tableros de madera (Andrés, Bustos, Lasserre y Gacitua, 2012) y el envejecimiento en asfaltos (Fernández-Gómez, Rondón, Daza y Reyes, 2014).

Camacho, Reyes y Mayorga (2008) estudiaron la estabilización de arcillas expansivas con aceite sulfonado. Las arcillas fueron sometidas a radiación en cámaras de envejecimiento. La exposición usada fue de ciclos continuos de: ocho horas de radiación UV ( $1.60 \text{ W/m}^2$  a  $340 \text{ nm}$ ,  $45^\circ\text{C}$ ) y cuatro horas de condensación a una humedad relativa del 100%. Entre los aspectos que concluyeron Camacho et al. (2008) está que el uso de cámaras de envejecimiento es válido para la simulación de curado de arcillas expansivas y su efecto a largo plazo.

## Materiales y métodos

### *Adobe capilla doctrinera de Tausa*

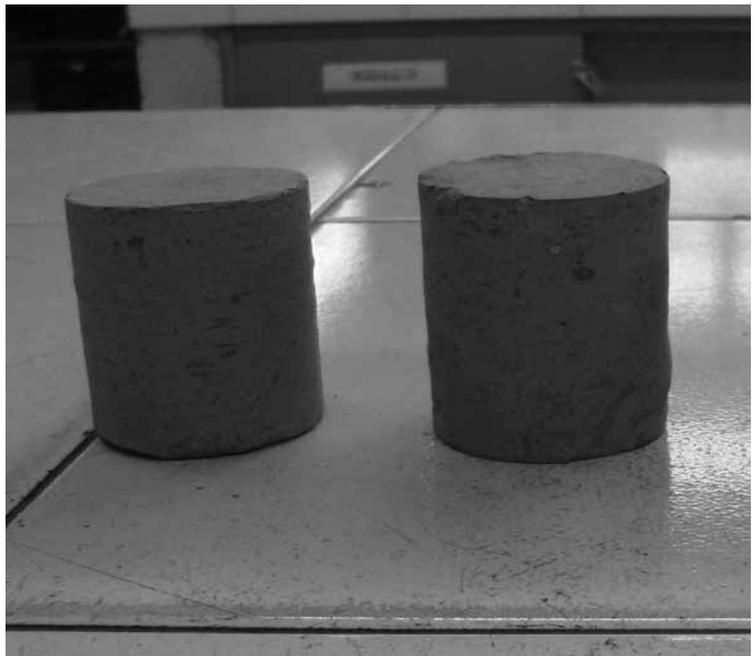
Tausa es un municipio de Cundinamarca ubicado aproximadamente a una hora de la ciudad de Bogotá, salida norte. En el sector antiguo del pueblo se encuentra la capilla doctrinera de Tausa, edificación con más de 300 años de antigüedad (Mendoza, 2002). En la actualidad esta estructura se encuentra dividida en dos sectores: el sector frontal, el cual aún se encuentra en uso (Fotografía 1a), y el sector posterior que se encuentra en ruinas (Fotografía 1b).

Del sector en ruinas se extrajeron 15 unidades de adobe completas y 24 fragmentos (Fotografías 2). Con el fin de realizar la caracterización

**Fotografía 3(a):**  
*Extracción de núcleos con broca diamantada.*

**Fotografía 3(b):**  
*Unidades cilíndricas de adobe de la capilla doctrinera de Tausa.*

**Fuente:**  
Uribe, Ramos y Camacho



Muestra	1	2	3	Promedio	Desviación
Peso unitario (kN/m <sup>3</sup> )	17.9	17.8	18.0	17.9	0.02
Peso unitario absoluto	25.7	26.1	26.2	26.0	0.03
Contenido de humedad (%)	3.33	3.3	3.6	3.41	0.17
Porcentaje absorción	5.93	6.38	6.61	6.31	0.35
Materia Orgánica (%)	3.6	3.6	3.4	3.53	0.12
Límite líquido	53.2	52.9	53.1	53.1	0.15
Límite plástico	29.6	29.4	29.4	29.5	0.12
Índice plasticidad	23.6	23.5	23.7	23.6	0.1
Granulometría					
Grava	0.85	1.02	0.95	0.94	0.09
Arenas	13.31	12.85	13.55	15.57	0.36
Finos	85.84	86.13	85.5	83.49	0.32
Clasificación A.A.S.H.O	A7			A7	
Limo arcilloso					
Clasificación U.S.C.	MH CH	MH CH	MH CH	MH CH	
Limo arcilloso alta plasticidad					

**Tabla 3:**  
*Resultados  
caracterización física,  
adobe extraído de  
la capilla doctrinera  
de Tausa (T1).*

**Fuente:**  
Uribe, Ramos y Camacho

mecánica del material, fue necesario extraer muestras cilíndricas de estos adobes, para lo cual se utilizó un extractor de núcleos con broca diamantada de 2 pulgadas de diámetro. Debido a la fragilidad del material solo fue posible extraer 24 núcleos en buen estado (Fotografías 3). Las muestras extraídas de la capilla doctrinera de Tausa se relacionan como adobe tipo T1 y corresponden a adobe de 300 años de antigüedad.

**Tabla 4:**  
*Resultados  
caracterización  
física de suelo que se  
utilizó para construir  
adobe nuevo (T2).*

**Fuente:**  
Uribe, Ramos y Camacho

Utilizando algunos de los adobes sacados de la capilla, se realizaron en laboratorio ensayos de granulometría, contenido de materia orgánica, contenido de humedad, índices de consistencia, peso específico y clasificación del suelo. De cada uno de estos ensayos se hicieron tres repeticiones. En la Tabla 3 se presentan los resultados encontrados.

Muestra	1	2	3	Promedio	Desviación
Peso unitario (kN/m <sup>3</sup> )	18.1	18.2	18.2	18.2	0.01
Peso unitario absoluto	2.62	26.3	26.3	26.3	0.01
Contenido de humedad (%)	3.62	3.68	3.6	3.63	0.04
Porcentaje absorción	6.38	6.38	5.93	6.23	0.26
Materia Orgánica (%)	3.8	4	4.1	3.97	0.15
Límite líquido	49.5	49.5	49.6	49.5	0.06
Límite plástico	27.3	27	27	27.1	0.17
Índice plasticidad	22.2	22.5	22.6	22.4	0.21
Granulometría					
Grava	1.32	1.54	0.95	1.27	0.3
Arenas	13.38	13.76	16.55	14.56	1.73
Finos	85.3	84.7	82.5	84.17	1.47
Clasificación A.A.S.H.O	A7			A7	
Limo arcilloso					
Clasificación U.S.C.	CL	CL	CL	CL	
Arcilla de mediana plasticidad					

Los resultados obtenidos para las tres muestras fueron muy homogéneos. El adobe de la capilla doctrinera de Tausa se clasifica como un suelo de alta plasticidad. Como se puede ver en la Tabla 3, este material está compuesto en su mayoría por finos (arcilla y limo), y con un muy bajo contenido de suelo grueso. Los pesos unitarios hallados están entre los límites propuestos por Ruiz et al. (2012) para adobes en Colombia. Su contenido de humedad es bajo (3.41%), a pesar de ser una estructura que se encuentra a la intemperie en un lugar con humedad relativa alta.

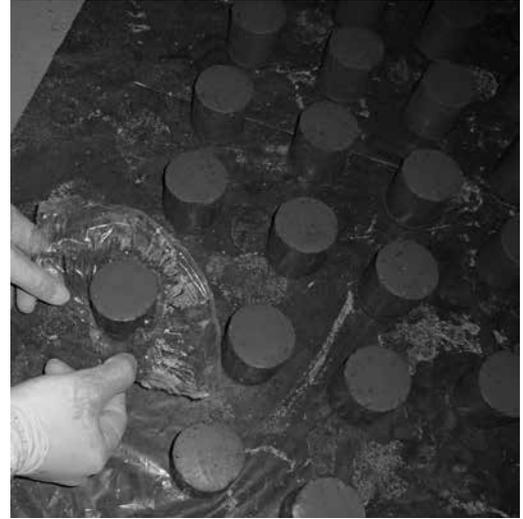
Los resultados obtenidos de la caracterización física del adobe de la capilla doctrinera son consistentes con los encontrados por Rivera y Muñoz (2005) para esta misma edificación (Tabla 1). Sin embargo, los límites de consistencia encontrados en 2005 son ligeramente inferiores a los encontrados en esta investigación, por lo que la clasificación U.S.C. del material en un caso fue considerado como de baja plasticidad, y en el otro, como de alta plasticidad.

### Construcción de adobe en laboratorio

Con el fin de tener un adobe nuevo, de edad cero, que en su composición física fuera lo más similar posible al adobe usado en la capilla doctrinera de Tausa, se extrajo suelo del sector donde se encuentra la edificación en ruinas. A dicho material se le realizaron en laboratorio ensayos de granulometría, contenido de materia orgánica, contenido de humedad, índices de consistencia, peso específico y clasificación del suelo. De cada uno de estos ensayos se hicieron, asimismo, tres repeticiones. En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos.

El suelo presentó contenidos de material grueso (gravas) menores al 2%, mientras que el contenido de finos fue superior al 80%. Su contenido de humedad fue bajo, lo mismo que la cantidad de materia orgánica.

Excepto por los límites de consistencia, las propiedades del suelo que se usó en la construcción de unidades nuevas de adobe (Tabla 4) no presentaron grandes variaciones respecto a las halladas para el material de la capilla doctrinera de Tausa (Tabla 3). La diferencia en límites entre los dos materiales no es grande, pero influye en la clasificación U.S.C. del material, que en un caso se clasifica de mediana plasticidad, y en el otro, de alta plasticidad.



Cabe anotar que se estudiaron suelos de tres lugares diferentes, todos ubicados en el municipio de Tausa. Sin embargo, los resultados aquí presentados corresponden al material que más se asemejó en sus propiedades físicas al adobe extraído de la capilla doctrinera de Tausa.

Una vez identificado el suelo, se procedió a la construcción del adobe nuevo. Para ello se le fue adicionando agua al suelo y este se fue amasando hasta conseguir una mezcla homogénea y manejable, la cual fue colocada en formaletas metálicas cilíndricas de 5 cm de alto por 5 cm de diámetro interior (Fotografía 4a). Seguidamente se desencofraron y dejaron secar al aire libre, sin acción directa del sol, por un periodo de 45 días. En total se construyeron 60 adobes cilíndricos nuevos (Fotografía 4b). Estos adobes se relacionan como muestras T2 y corresponden a adobe nuevo, edad cero.

### *Exposición a radiación y condensación*

Para la exposición a radiación y condensación se utilizó la cámara de radiación ultravioleta QUV-SE marca Q-LAB, de la Universidad Militar Nueva Granada (Fotografía 5). Para aplicar la radiación UVA en las muestras de adobe se usaron lámparas fluorescentes tipo UVA-340. Estas lámparas reproducen radiación solar en el intervalo de onda comprendido entre 295 nm y 340 nm (Q-Lab Corporation, 2006).

Como no se encontró evidencia de estudios de exposición acelerada a radiación y condensación de unidades de adobe, se inició con un ciclo de prueba que correspondió al usado por Camacho et al. (2008) en el estudio de arcillas

expansivas tratadas con aceites sulfonados, el cual consistía en la exposición durante ocho horas continuas de radiación, seguido por cuatro horas continuas de condensación. La elección de este ciclo se hizo en consideración a que el adobe en estudio se clasificó como una arcilla y el material estudiado por Camacho et al. (2008) también lo era.

Durante diez días se sometieron probetas T2 al ciclo de ocho horas de radiación y dos horas de condensación y se revisó su consistencia a los 3, 5, 7 y 10 días mediante pruebas de penetrómetro. Al décimo día las muestras presentaban buena consistencia, sin embargo, el residuo que dejaba

**Fotografías 4:**  
*Adobes construidos en laboratorio, edad cero (T2).*  
Fuente:  
Uribe, Ramos y Camacho

**Fotografía 5:**  
*Cámara de radiación ultravioleta QUV-SE.*  
Fuente:  
Uribe, Ramos y Camacho



en las manos el material era mayor que el que deja un adobe que no había estado en cámara. Debido a esto se consideró disminuir el periodo de los ciclos de exposición a seis horas de radiación y dos horas de condensación. Bajo este nuevo ciclo se estudiaron durante 10 días unas nuevas probetas. Después de este tiempo las muestras dejaban menos residuo y seguían conservando su consistencia inicial, por lo que finalmente se optó por trabajar con este ciclo.

Bajo el ciclo alternado de seis horas de radiación y dos horas de condensación se introdujeron finalmente 36 probetas de adobe en la cámara, 18 muestras correspondientes al adobe extraído de la capilla doctrinera de Tausa (T1) y 18 muestras de adobe construido en laboratorio (T2). Dichas muestras se sometieron a periodos de exposición de 0, 360, 720, 1 440, 2 160 y 2 880 horas. Cumplidos cada uno de estos tiempos, se extrajeron seis muestras, tres de cada tipo, las cuales se usaron para la caracterización mecánica del adobe expuesto aceleradamente a radiación y condensación.

Paralelamente a lo anterior, se dejaron adobes tipo T2 (edad cero) envejeciendo bajo condiciones naturales, y en las mismas edades: 0, 360, 720, 1 440, 2 160 y 2 880 horas, se fueron caracterizando mecánicamente.

### Caracterización mecánica

La caracterización mecánica correspondió a ensayos triaxiales y ensayos de compresión inconfiada, los cuales se realizaron en los laboratorios de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana.

Para los ensayos triaxiales se usó una máquina GDS 2 Hz. Estos ensayos fueron no consolidados a carga rápida y con deformación axial controlada al 30%, con una velocidad de aplicación de carga de 0.5 mm/min. A cada tipo de adobe se le realizaron triaxiales a presiones de confinamiento de 40 kPa y 80 kPa. Estas presiones corresponden aproximadamente a las que tienen los muros de la capilla doctrinera de Tausa a alturas de 2.0 m y 4.0 m.

Para el ensayo de compresión inconfiada se usó la máquina universal. La velocidad de aplicación de carga empleada fue la misma que en las pruebas triaxiales, 0.5 mm/min. Esto con el fin de tener un mismo comportamiento viscoso en el material y una variable de respuesta menos que controlar.

Los ensayos de compresión inconfiada se realizaron a cada uno de los tipos de adobe (T1 y T2), a las 0, 360, 720, 1 440, 2 160 y 2 880 horas de exposición acelerada (tratamiento 1) y de exposición natural (tratamiento 2). Los ensayos triaxiales se realizaron bajo las mismas condiciones, pero para el adobe de la capilla no se hicieron pruebas para tratamiento 2 debido a que la edificación tiene más de 300 años, durante los cuales ha sufrido variaciones en su propiedades, lo que hace pensar que los cambios que pueda sufrir en cuatro meses no sean significativos.

En conclusión, en el estudio se trabajó con dos tipos de adobes y se emplearon dos tratamientos diferentes. Existe un adobe de 300 años llamado T1, el cual se extrajo de la capilla doctrinera de Tausa, y un adobe T2 el cual se considera nuevo y fue construido en el laboratorio. En cuanto a los tratamientos, el primero corresponde

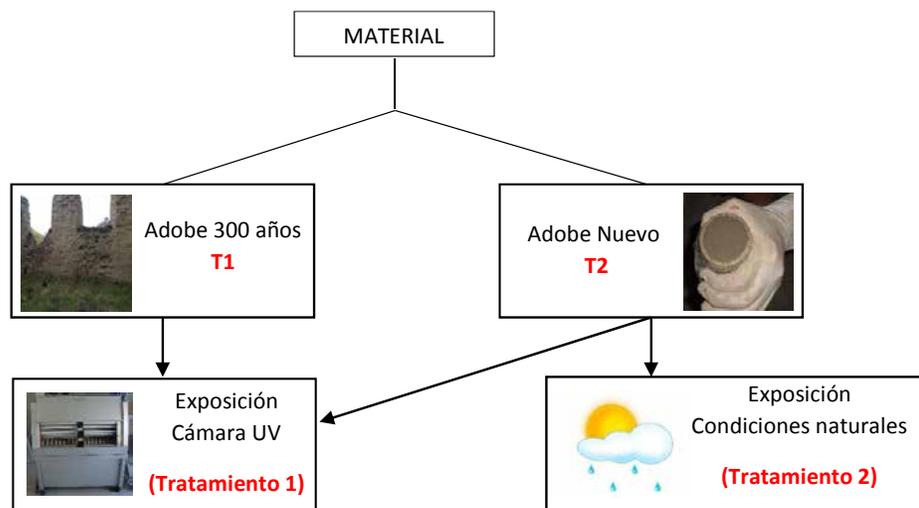


Figura 1:  
Tipos de materiales  
y tratamientos.

Fuente:  
Uribe, Ramos y Camacho

a una exposición natural al medio ambiente y el segundo a una exposición acelerada a radiación y condensación hecha en cámara (Figura 1).

## Resultados

De los ensayos en laboratorio de compresión inconfiada y triaxial se obtuvieron para cada tipo de adobe y para cada edad (0, 360, 720, 1 440, 2 160 y 2 880 horas) los datos de esfuerzo axial máximo, esfuerzo de corte máximo, módulo de corte, ángulo de fricción y cohesión.

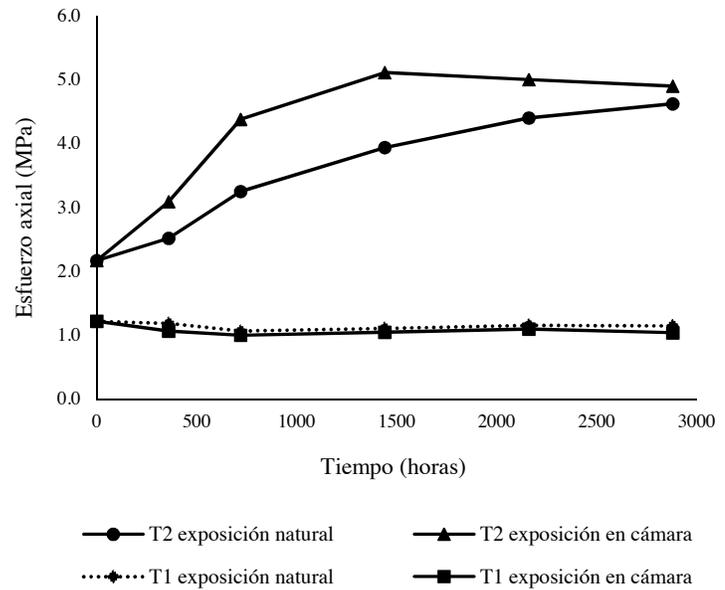
Los datos obtenidos para las diferentes edades se agruparon para analizar, finalmente, cómo evolucionaron las propiedades mecánicas del material con respecto al tiempo y al tipo de exposición o tratamiento usado.

Es importante aclarar que las edades a las que se hace mención arriba corresponden a edades contadas a partir del inicio de la experimentación, es decir, que la edad cero corresponde al momento de introducir las muestras en la cámara. Por ello se debe tener en perspectiva que el adobe T1 tiene realmente 300 años más el tiempo de experimentación y el adobe T2 tiene 45 días (tiempo que duró el secado) más el tiempo de experimentación.

### Compresión inconfiada (esfuerzo axial)

En la Figura 2 se presentan los esfuerzos axial máximo obtenidos durante las pruebas para cada tipo de adobe. Si se comparan los esfuerzos obtenidos para el adobe de la capilla (T1) cuando el material se encontraba a una exposición natural al medio ambiente con los obtenidos en la exposición acelerada (en cámara UV), se puede decir que el adobe de la capilla no experimenta alteraciones debido a la radiación ultravioleta. Lo contrario sucede con el adobe construido en laboratorio, el cual sí presenta variaciones entre los esfuerzos dependiendo del tipo de tratamiento que se aplique al material.

La resistencia a compresión del adobe de la capilla doctrinera de Tausa (1.22 MPa) se encuentra por debajo de los límites establecidos por Ruiz et al. (2012) (Tabla 2), seguramente por el hecho del intemperismo de la edificación. Para el adobe construido en laboratorio (adobe nuevo T2), las compresiones están dentro de los límites establecido por esos autores, pero los módulos de corte alcanzados por el material superan los



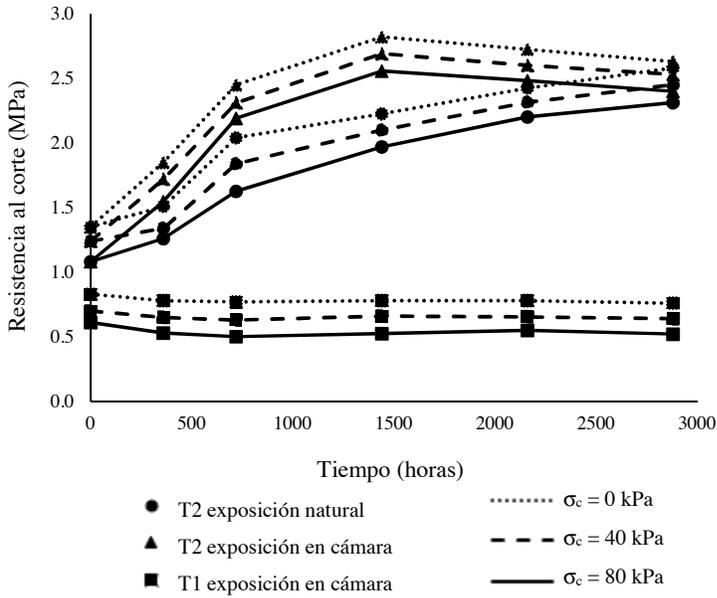
señalados por ellos. Recordemos que los límites que Ruiz et al. (2012) establecen en su propuesta de normativa están basados en investigaciones de caracterización de adobes colombianos con cierta antigüedad, lo que hace que las propiedades del material ya hayan sufrido degradación con el tiempo y no puedan ser comparables directamente con las propiedades de un material nuevo.

### Resistencia al corte

Para la edad cero el esfuerzo cortante del adobe de la capilla fue de 0.61 MPa, mientras que para el adobe nuevo fue de 1.08 MPa; es decir, el adobe nuevo a edad cero resiste un esfuerzo cortante un 77% mayor que el de la capilla. Pero esta diferencia no es estática, ya que con el tiempo el esfuerzo cortante del adobe nuevo (T2) se modifica mientras que el de la capilla (T1) se mantiene. Esto se debe a que el adobe T1 es un material con una historia de esfuerzos de más de 300 años y pone de manifiesto que el lapso de esta investigación no es suficiente para que se presenten cambios significativos en las propiedades del material. Lo contrario ocurre con el adobe T2, el cual, por ser un material nuevo, se encuentra en proceso de endurecimiento, y por tanto, la variación en sus propiedades es notoria en lapsos más cortos.

En la Figura 3 se puede observar la tendencia de los esfuerzos cortantes máximos para diferentes edades, según la presión de confinamiento aplicada. Se aprecia, como era de esperarse, que la resistencia del material aumenta a medida que

**Figura 2:** Variación del esfuerzo axial con el tiempo y el tipo de exposición  
Fuente: Uribe, Ramos y Camacho



**Figura 3:** Variación de la resistencia al corte del adobe con el tiempo.

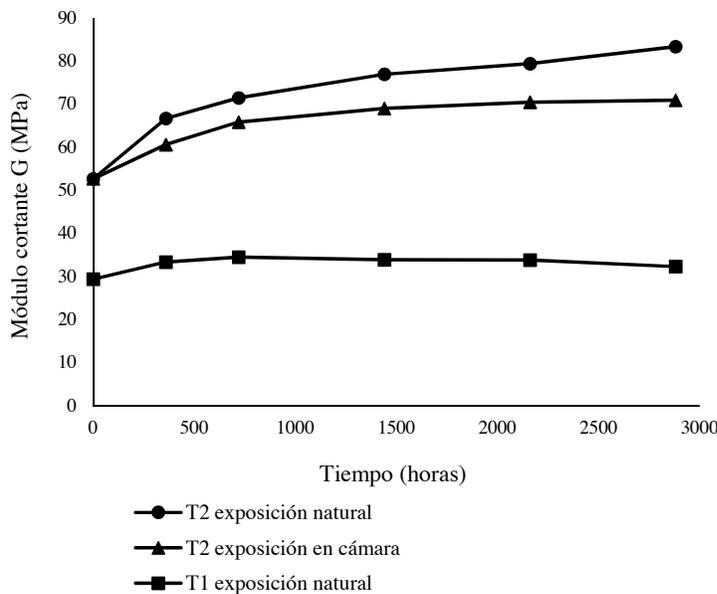
Fuente: Uribe, Ramos y Camacho

aumenta la presión de confinamiento. Como se puede ver, el adobe de la capilla doctrinera de Tausa no experimenta grandes cambios en sus esfuerzos a pesar de estar expuesto a unas condiciones aceleradas de radiación y condensación. Lo que no ocurre con el adobe construido en laboratorio (T2), el cual, tanto para la exposición a condiciones ambientales naturales como para la exposición acelerada a radiación y condensación, presenta cambios apreciables en sus esfuerzos de una edad a otra.

**Figura 4:** Evolución del módulo de corte con el tiempo.

Fuente: Uribe, Ramos y Camacho

Para el adobe construido en laboratorio, expuesto a condiciones ambientales naturales, el esfuerzo cortante aumentó durante toda la



etapa experimental. Dicho aumento no tuvo una tasa de crecimiento constante. En la Figura 3 se puede apreciar que con la edad la ganancia de resistencia cada vez es menor. Ahora bien, para este mismo tipo de adobe, pero sometido a condiciones aceleradas de radiación y condensación, se pudo observar igual comportamiento hasta las 1 440 horas, después de este tiempo los esfuerzos empiezan a disminuir, aunque, es de anotarse, disminuyen en proporción menor a aquella a la que aumentaron.

Al centrarse únicamente en los resultados obtenidos para el adobe construido en laboratorio, otro aspecto importante de resaltar, y que se observa claramente en la Figura 3, es que la exposición acelerada a radiación y condensación modifica sustancialmente la resistencia del adobe. Si se compara la resistencia hasta las 1 440 horas se observa que, para el adobe en cámara se obtienen esfuerzos mucho mayores que para el adobe expuesto a condiciones naturales. Esto quiere decir que, en términos de esfuerzo, la radiación acelera el cambio en las propiedades del adobe.

### Módulo cortante G

Las propiedades mecánicas de un material están dadas en términos de resistencia y deformabilidad. Uno de los parámetros que da idea de la capacidad de deformabilidad de los materiales es el módulo de corte o cizallamiento G, este está caracterizado por las deformaciones que sufre el material debido a la aplicación de esfuerzos cortantes.

El módulo cortante del material se halló como la pendiente del tramo rectilíneo de la curva de esfuerzo cortante contra deformación por corte. El módulo cortante para el adobe de la capilla de Tausa no experimenta grandes variaciones con la exposición a radiación UVA, incluso se puede llegar a decir que no varía y que su ligero cambio puede estar asociado a la variabilidad natural de las propiedades mecánicas de las muestras.

Para el adobe nuevo el módulo de corte aumenta con la edad, tanto para el tratamiento natural como para el acelerado. Sin embargo, el adobe con tratamiento natural alcanza mayores módulos cortantes que el expuesto en cámara; esto ocurre durante toda la etapa experimental (Figura 4).

Es interesante comparar la evolución del módulo cortante (G) con el comportamiento en términos de esfuerzo del adobe nuevo (T2). Si se

observa la Figura 3, se puede ver que la resistencia hasta las 1 440 horas del adobe en cámara aumenta y luego de esta edad disminuye. Un comportamiento similar se podría esperar con el módulo. Sin embargo, al revisar la Figura 4 se aprecia que el módulo cortante presentó una tendencia al aumento durante toda la etapa experimental, incluso después de las 1 440 horas, que es cuando el esfuerzo cortante disminuye. Esto demuestra que la resistencia y la deformabilidad reflejadas en los módulos son variables independientes. También es de atender que el adobe construido en laboratorio que se sometió a exposición natural tiene módulos de corte mayores que el sometido a condiciones aceleradas, a pesar de que este último tuvo mayor resistencia en términos de esfuerzo (Figura 4).

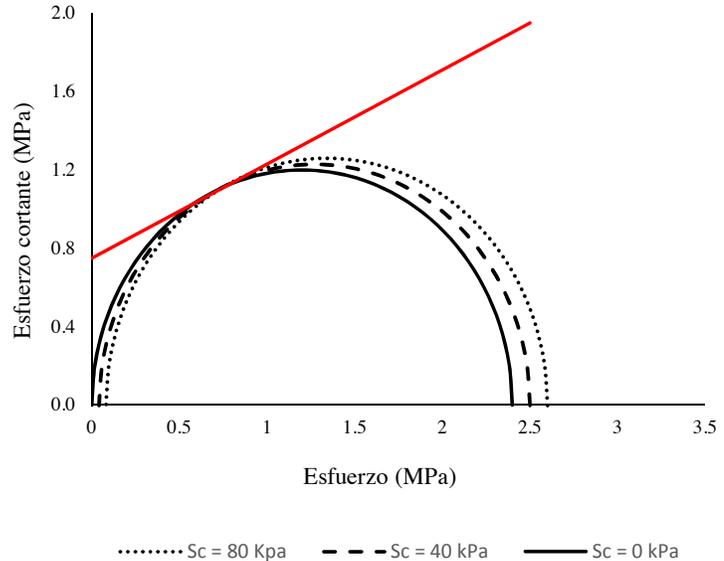
Es claro, hasta el momento, que para un adobe nuevo la exposición acelerada a radiación mejora su resistencia en términos de esfuerzo, pero, a su vez, impide el desarrollo o crecimiento del módulo de corte. Este fenómeno puede deberse al hecho de que la radiación genera cambios químicos y físicos al interior del material.

### Ángulo de fricción y cohesión del material

Para modelar el comportamiento del suelo se usó el criterio de falla de Mohr-Coulomb ( $t = s \tan(\phi) + c$ ), según el cual la resistencia al corte de un material está dada por dos componentes, la cohesión y el ángulo de fricción; este último determinado, a su vez, por las tensiones axiales.

Para cada tipo de adobe y en cada edad se construyeron los círculos de Mohr, para presiones de confinamiento 0, 40 y 80 kPa. Se trazó la línea de falla calculando el ángulo de fricción del suelo (pendiente de la línea de falla) y la cohesión (valor del esfuerzo cortante donde la línea de falla corta el eje de las coordenadas). En la Figura 5 se muestra como ejemplo el caso del adobe construido en laboratorio en edad cero.

El ángulo de fricción de la envolvente de falla de Mohr-Coulomb  $\phi_{MC}$  no presenta variaciones significativas para un mismo tipo de adobe y tratamiento (Figura 6). Ahora bien, si comparamos el ángulo entre los diferentes tipos de material, se puede establecer que el adobe nuevo expuesto aceleradamente presenta un pequeño incremento en su ángulo de fricción con respecto a los otros tipos de adobe.



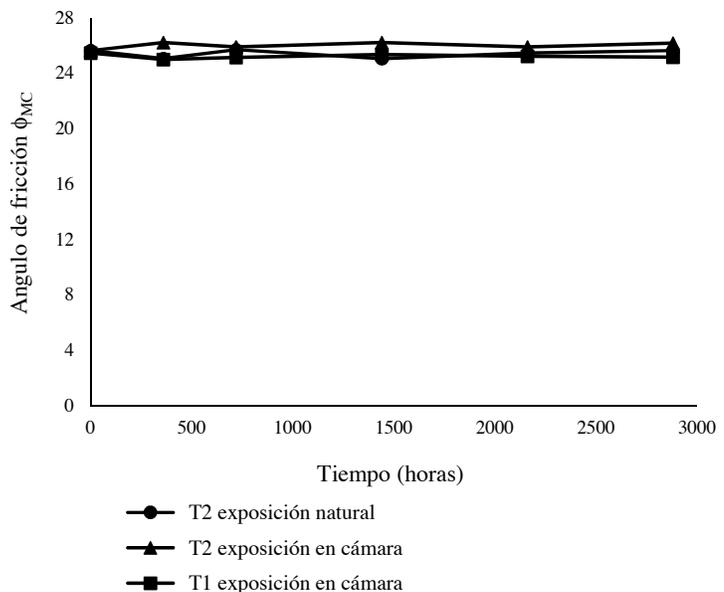
En cuanto a la cohesión, su comportamiento y tendencia es del mismo tipo observado y descrito para los esfuerzos de corte. Mientras el adobe de la capilla no presenta variaciones apreciables en este parámetro (Figura 7), en el adobe construido en laboratorio se aprecian cambios en la cohesión a lo largo de la etapa experimental. Así, mientras el material que se encuentra expuesto a condiciones ambientales naturales presenta una tendencia al aumento durante todo el estudio, el adobe sometido a una exposición acelerada a radiación y condensación presenta un aumento de esta propiedad solo hasta las 1 440 horas, tiempo después del cual empieza a decrecer.

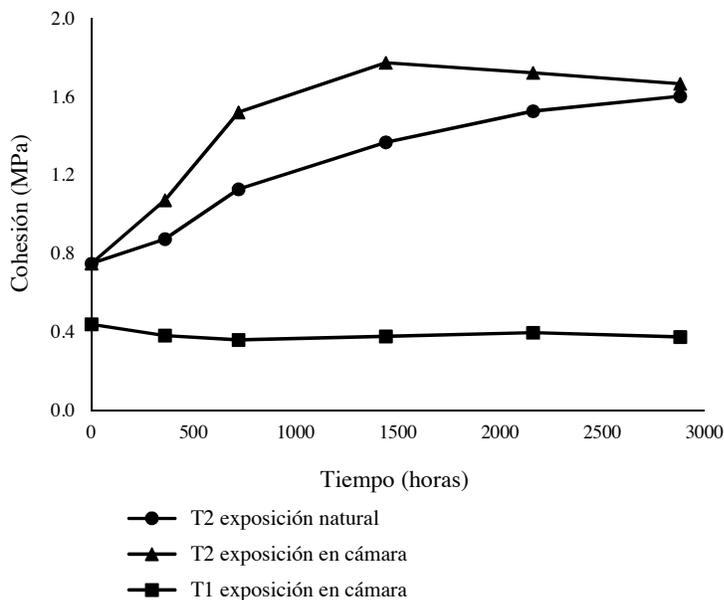
**Figura 5:** Círculo de Mohr, adobe construido en laboratorio (T2), edad cero, para presiones de confinamiento de 0, 40 y 80 kPa.

Fuente: Uribe, Ramos y Camacho

**Figura 6:** Variación del ángulo de fricción hallado con el criterio de Mohr-Coulomb.

Fuente: Uribe, Ramos y Camacho





**Figura 7:**  
Cohesión para los diferentes tipos de adobe en cada edad.

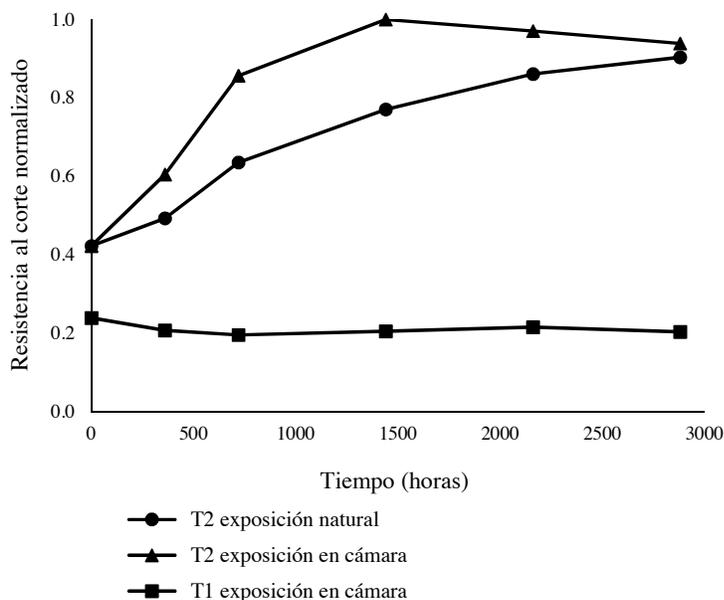
Fuente:  
Uribe, Ramos y Camacho

### Análisis e interpretación de resultados

Al revisar la variación con el tiempo de la resistencia al corte, el módulo de corte, el ángulo de fricción y la cohesión de los adobes estudiados (Figuras 3, 4, 6 y 7), se observa que el adobe de la capilla doctrinera de Tausa (T1) no presenta cambios en sus propiedades mecánicas, a pesar de haber sido sometido a una exposición acelerada de radiación UVA y condensación. Esto se debe a que la edificación tiene una historia no solo de esfuerzos sino también de cargas ambientales de más de 300 años, por lo que un tiempo de cuatro meses no es significativo para lograr cambios

**Figura 8:**  
Variación porcentual de la resistencia al corte con el tiempo.

Fuente:  
Uribe, Ramos y Camacho



apreciables en sus propiedades. En cuanto al adobe nuevo (T2), se observa claramente que la resistencia al corte, la cohesión y el módulo de corte del material van cambiando con el tiempo, indistintamente del tratamiento que se les hubiera aplicado. Mientras que el ángulo de fricción del material no sufre modificaciones ni con la edad ni con el tratamiento.

Con los ensayos de laboratorio se encontraron los esfuerzos en el adobe y con el modelo de Mohr-Coulomb ( $t = C + s \tan f$ ) se estudió la resistencia al corte del material. De acuerdo con este modelo, la resistencia al corte está dada por la cohesión "C" y el ángulo de fricción "f". Según los resultados obtenidos en esta investigación, el ángulo de fricción no se modifica mientras sí lo hace la cohesión. Esto quiere decir que la variación en la resistencia del adobe está dada por la cohesión. Esto debe ser estudiado más detalladamente con posterioridad.

Como se mencionó antes, el adobe de la capilla doctrinera de Tausa (T1) no sufrió cambios durante la etapa experimental. Por eso se discuten a continuación solo los datos obtenidos para el adobe construido en laboratorio (T2).

Como se observa en la Figura 3, el adobe de la capilla (T1) tratado en cámara inicialmente está sementándose, es decir, está ganando resistencia, esto sucede hasta un punto y a partir de este empieza un claro proceso de degradación de la misma. Para este mismo tipo de adobe (T1), en condiciones ambientales naturales, se puede observar que su proceso de endurecimiento y aumento de resistencia aún no ha terminado. Sin embargo se espera que en un futuro alcance su resistencia máxima para luego empezar el decrecimiento.

En la Figura 4 se puede observar que el módulo es mayor para el adobe en condiciones ambientales naturales que para el adobe tratado en cámara. Esto implica que la aplicación acelerada de radiación UVA disminuye la rigidez del material, a pesar de aumentar su resistencia.

Para efectos de análisis, se normalizaron los parámetros de resistencia al corte y módulo cortante G, dando lugar a las Figuras 8 y 9. En estas se puede observar la variación porcentual de dichos parámetros con respecto al valor máximo obtenido en cada caso.

De acuerdo con la Figura 8, es importante resaltar que el adobe nuevo (T2), tratado en cámara, alcanzó el 100% de su resistencia a las

1 440 horas, mientras que para esa misma edad el adobe nuevo, en condiciones naturales, solo había alcanzado un 77% de su resistencia. Esto quiere decir que la exposición en cámara sí acelera el cambio en las propiedades del material.

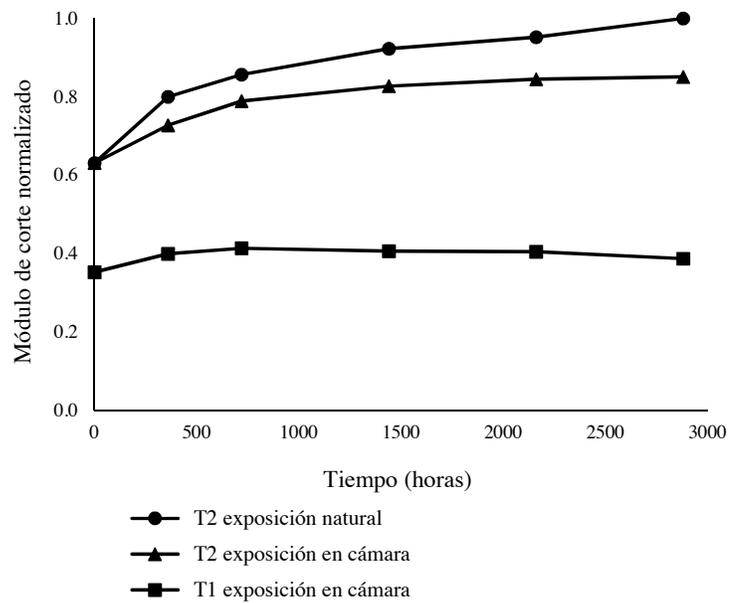
Si se supone que el adobe construido en laboratorio es física y mecánicamente igual al usado en la capilla, se puede decir que el adobe de la capilla ha perdido con el tiempo casi un 80% de la resistencia (Figura 8) y un 60% del módulo de corte (Figura 9). Como se mencionó anteriormente, esto se debe a que la edificación ha estado sometida por más de 300 años a una historia de esfuerzos y por más de 100 años al intemperismo.

El adobe construido en laboratorio expuesto a radiación y condensación acelerada gana su resistencia máxima a las 1 440 horas. Si observamos la Figura 8 se aprecia que ese adobe ganó casi un 60% de su resistencia en esfuerzo en 1.440 horas, tiempo después del cual empieza a perderla. Sin embargo, para ese mismo lapso (entre 1.440 a 2.880 horas) solo disminuyó un 6% su resistencia.

El módulo de corte para el adobe nuevo fue siempre mayor para el material en condiciones ambientales naturales (Figura 9). Al final de la etapa experimental, el adobe en cámara había alcanzado un módulo de corte un 15% menor al adobe que se encontraba en condiciones naturales.

El módulo de corte del adobe sometido a radiación y condensación acelerada no disminuyó cuando el material empezó a perder resistencia (1 440 horas). Sin embargo, tendió a estabilizarse, como se observa en la Figura 9, por lo que es probable sugerir que con mucho más tiempo de exposición este parámetro empezaría a decaer.

El comportamiento presentado por el adobe, y hasta aquí descrito, se debe a cambios químicos y variaciones en la microestructura del material. Estos cambios se dan de forma natural con el tiempo y se deben a que los minerales del material reaccionan y se transforman como consecuencia de agentes climáticos. Es por ello que la variación en las propiedades del adobe nuevo es diferente según el tipo de tratamiento aplicado. En cuanto al adobe de la capilla, este material ha sufrido grandes transformaciones en el tiempo y su estructura interna es más estable ahora, luego requiere de mayor tiempo para que sus minerales logren reaccionar con agentes ambientales del tipo aquí estudiados.



## Conclusiones

En este trabajo se caracterizaron adobes de edades diferentes pero que se consideraron originalmente iguales, y se logró establecer que, para un adobe de 300 años de edad, las propiedades mecánicas se encuentran entre los rangos encontrados por otros investigadores. También se pudo establecer que un adobe de 300 años ha perdido durante su vida un 80% de su resistencia y un 60% de su módulo de corte.

Las propiedades mecánicas de un adobe nuevo mejoran paulatinamente con el tiempo, siendo el porcentaje ganado cada vez menor; este fenómeno se mantiene hasta que el adobe alcanza una resistencia máxima, momento en el cual comienza un proceso inverso y la resistencia del material empieza a degradarse. Sin embargo, la disminución en la resistencia es porcentualmente 10 veces menor a la ganancia. Esto se pudo apreciar con la resistencia al corte, cuando el aumento de resistencia en 1 440 horas fue cercano al 60%, y en ese mismo lapso su pérdida fue del 6% aproximadamente.

Con los resultados obtenidos en esta investigación se pudo determinar claramente que la radiación altera las propiedades mecánicas del adobe nuevo, mientras que para adobes muy viejos su efecto es nulo. Esto puede deberse a que la estructura interna de los adobes muy antiguos ya se encuentra estable, mientras que la del adobe nuevo no, por lo que todavía reacciona ante agentes ambientales.

**Figura 9:** Variación porcentual del módulo de corte con el tiempo.

Fuente: Uribe, Ramos y Camacho

Al adoptar un criterio de falla para el adobe de tipo Mohr-Coulomb, se pudo establecer que la variación en la resistencia al corte del material está dada por los cambios en la cohesión, ya que el ángulo de fricción del material no presentó variaciones significativas durante la etapa experimental.

El ángulo de fricción del material no sufre alteraciones por efecto de la radiación, ni de ningún otro factor mecánico o medio ambiental. Es por eso que el ángulo para el adobe nuevo, sin importar el tratamiento utilizado, fue similar al obtenido para el adobe de la capilla de Tausa, el cual tampoco sufrió modificaciones a pesar de haberse sometido a ciclos de radiación y condensación acelerados.

Es importante aclarar que todos los porcentajes y factores que resultaron de la presente investigación no son extrapolables aún a otro tipo de adobe diferente al de la capilla doctrinera de Tausa. El adobe es un material artesanal y su composición varía notablemente de una región a otra.

## Bibliografía

- AIS (2005). *Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada*. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- Andrés, A., Bustos, C., Lasserre, J. y Gacitua, W. (2012). Efecto de un envejecimiento acelerado mediante rayos UV en la propagación superficial de grietas de debobinado en tableros contrachapados de Eucalyptus nitens. *Maderas, ciencia y tecnologías*, 15(1).
- Blondet, M., Villa, G. y Brzev, S. (2003). *Construcciones de adobe resistentes a los terremotos: Tutor*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Camacho J., Reyes, Ó. J. y Mayorga C. (2008). Curado natural y acelerado de una arcilla estabilizada con aceite sulfonado. *Ingeniería y desarrollo*, 24, 48-62.
- Campbell, J. R. (1997). Las radiaciones: retos y realidades. Recuperado de <https://www.google.com.co/#q=como+afecta+la+radiaci%C3%B3n+a+los+materiales>
- Corrêa, A. A. R., Teixeira, V. H., Lopes, S. P. y Oliveira, M. S. de (2003, May/June). Avaliação das propriedades físicas e mecânicas do adobe (tijolo de terra crua). *Ciência e agro-tecnologia*, 30(3).
- Esbert, R. M., Grossi, C. M., Valdeon, L., Ordaz, J., Alonso, F. J. y Marcos, R. M. (1990). Estudios de laboratorio sobre la conservación de la piedra de la Catedral de Murcia. *Materiales de Construcción*, 40(217), 5-15.
- Fernández-Gómez, W. D., Rondón, H. A., Daza, C. E. y Reyes, F. A. (2014). The effects of environmental aging on Colombian asphalts. *Fuel*, 115, 321-328.
- Feynman, R. P., Leighton, R. B., Sands, M., di Francia, G. T. y Cresti, M. (1996). *La física de Feynman*. Milano: Masson.
- Flores, L. E., Pacheco, M. A. y Reyes, C. (2001, marzo). *Algunos estudios sobre el comportamiento y rehabilitación de la vivienda rural de adobe* (Informe IEG/03/01). México: Cenapred [Centro Nacional de Prevención de Desastres].
- Liberotti, G. y Daneels, A. (2012). Adobes en arquitectura monumental: análisis químico-físicos, arqueología y reconstrucción 3D para determinar las técnicas constructivas en los sitios de La Joya (México) y Arslantepe (Turquía). *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 64(1), 78-89.
- Mendoza, Camilo (2002). Arquitectura religiosa urbana en Colombia durante la dominación española, una sinopsis. *Memoria y Sociedad*, 6(12), 23-38.
- Onrrubia, F. J. H., Ramos, L. M. y Cossío, F. V. (2003). *Diccionario de construcción tradicional: tierra*. Recuperado de <http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=pZQG8i5UXv4C&oi=fnd&pg=PT12&dq=historia+del+adobe+como+material+de+construccion&ots>
- Oteo, J. L., Elvira, M. R., Alonso, L. y Rubio, J. (2006). Tratamientos de protección superficial de materiales de construcción por nuevos materiales híbridos organo-inorgánicos multifuncionales. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 45(2), 96-102.
- Pérez, C. L., Valencia, D. M. R., Barbosa, S. J., Saavedra, P. Q., Escamilla, J. U. y Díaz, E. M. (2007). Rehabilitación sísmica de muros de adobe de edificaciones monumentales mediante tensores de acero. *Apuntes*, 20(2), 304-317.
- Q-Lab Corporation. (2006). Una selección de lámparas para la QUV. *Boletín Técnico LU-8160*. SP. Recuperado de <http://www.q-lab.com/documents/public/50b2b1e7-2edc-4df1-acc1-b0f6249e55ce.pdf>

- Ramírez, M. Á. (2011). *Deterioro y estabilización del adobe*. Recuperado de <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/12633>
- Ríos, G., Vera, P. y Guzmán, R. (2006). *Estudio de daños ocasionados por la contaminación atmosférica, en materiales y monumentos históricos*. Universidad Católica de Santa María. Arequipa, Perú. Recuperado de [www.ucsm.edu.pe/SIAR/siar/images/070904\\_In.pdf](http://www.ucsm.edu.pe/SIAR/siar/images/070904_In.pdf)
- Rivera, J. (2004). *Caracterización estructural para materiales de sistemas constructivos en tierra: el adobe* (Monografía de magister en Restauración de Monumentos Arquitectónicos sin publicar). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Rivera, J. C. y Muñoz, E. E. (2005). Caracterización estructural de materiales de sistemas constructivos en tierra: el adobe. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 5(2).
- Ruiz, D., López, C. y Rivera, J. C. (2012). Propuesta de normativa para la rehabilitación sísmica de edificaciones patrimoniales. *Apuntes*, 25(2), 226-239.
- Sánchez, R. V. (2001). *Programa de normalización de estudios previos y control de calidad en las intervenciones*. Recuperado de [http://www.iaph.es/Patrimonio\\_Historico/cd/ficheros/33/ph31-78.pdf](http://www.iaph.es/Patrimonio_Historico/cd/ficheros/33/ph31-78.pdf)
- Torrealva, D. (2003). *Caracterización de daños en construcciones de adobe*. Serie cuadernos de adobe. Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú. Recuperado de [www.gerdipac.com.pe/Segun%20PUCP%20Caracterizacion\\_danos.pdf](http://www.gerdipac.com.pe/Segun%20PUCP%20Caracterizacion_danos.pdf)
- Vale, J. y Martín, A. (1983). Ensayos de materiales en atmósferas simuladas. I. Criterios para el diseño de sistemas de simulación. *Materiales de construcción*, 33(189), 57-75.
- Yamín, L. E., Phillips, C., Reyes, J. C. y Ruiz, D. (2007). Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada. *Apuntes*, 20(2), 286-303.