

El adobe y otros materiales de sistemas constructivos en tierra cruda: caracterización con fines estructurales*

Juan Carlos Rivera Torres

Agradecimientos

El autor agradece a los funcionarios directivos y operativos de los Laboratorios de Suelos y Materiales del Departamento de Ingeniería Civil y Laboratorio de Química de la Pontificia Universidad Javeriana en Bogotá. Así como a los del Departamento de Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

El estudio y conocimiento de los sistemas constructivos, especificación de los materiales y su aplicación en la formulación de soluciones para la rehabilitación de bienes de interés cultural (BIC) o inmuebles con carácter histórico, se viene realizando en Colombia basado solamente en inspecciones visuales y análisis cualitativos, sin profundizar en análisis cuantitativos que permitan tener un mayor conocimiento sobre sus propiedades y leyes constitutivas. A través del conocimiento detallado de las propiedades físicas de este material, se pueden realizar modelos estructurales en elementos finitos (discretos, continuos, lineales y no lineales) para las labores de diagnóstico que conduzcan a la formulación de acciones de rehabilitación de estos sistemas constructivos.

Los sistemas estructurales presentes en edificaciones patrimoniales, equivalen a los sistemas constructivos tradicionales de mampostería en diversos materiales. Los materiales estructurales usados en la arquitectura religiosa, militar y civil del patrimonio construido suelen ser piedra natural y artificial (categoría en la que se cuenta la tierra cruda –adobe y tapia pisada–), mortero y madera.

La tierra ‘cruda’ como material estructural, es la materia prima de la obra de fábrica o mampostería de centenares de templos, claustros, edificios civiles y militares, así como de cientos de ejemplares de arquitectura doméstica. La procedencia del material, en cada caso, está directamente relacionada con su emplazamiento (territorio) y la implantación del edificio en cuestión.

Lo anterior justifica el trabajo de investigación que se expone en el presente documento y que profundiza en el estudio y determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la tierra como material estructural. Igualmente, se hace un estudio de sus componentes químicos que afectan al comportamiento estructural del sistema constructivo. De la tierra se estudian los aspectos que permiten comprender su naturaleza estructural y percibir cuáles son los factores que influyen en el comportamiento estructural de ésta.

* Cómo citar este artículo: Rivera, J.C. (2012). El adobe y otros materiales de sistemas constructivos en tierra cruda: caracterización con fines estructurales. En: Apuntes 25 (2): 164 - 181.



Muro en tierra
Fotografía:
Juan Carlos Rivera

El adobe y otros materiales de sistemas constructivos en tierra cruda: caracterización con fines estructurales

The adobe systems and other building materials in raw ground: characterization for structural purposes

A adobe systems e outros materiais de construção moída crua: caracterização para estrutural

Juan Carlos Rivera Torres

Patrimonio e ingeniería
patrimonioingenieria@gmail.com

Ingeniero Civil con Magíster en restauración de monumentos arquitectónicos de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

Resumen

El presente artículo expone los resultados obtenidos para las propiedades de los adobes, de orden físico, mecánico y químico, imprescindibles para el conocimiento del adobe como material estructural y su correspondiente evaluación sísmo-resistente.

Inicialmente la caracterización del material tuvo una fase experimental sobre probetas de adobe patrimonial (del orden de 300 años). Posteriormente se hizo una evaluación analítica y se compararon los resultados obtenidos con los de otros investigadores, tanto de Colombia como del resto de Latinoamérica. Finalmente, se desarrolló una guía metodológica y una ficha de caracterización que se espera sean útiles para futuros estudios de los sistemas constructivos, estructurales y sísmo resistentes de las edificaciones de valor e interés patrimonial.

Para los sistemas constructivos en tierra cruda, adobe y otras modalidades, presentes en bienes de interés cultural, particularmente en arquitectura religiosa (capillas y templos doctrineros), es imprescindible el estudio de procedimientos de rehabilitación con técnicas y materiales que mejoren las condiciones de su comportamiento estructural ante los efectos de la actividad sísmica y el deterioro natural.

Palabras Claves: adobe, bien inmueble de interés cultural, capilla doctrinera, material estructural, resistencia sísmica, tierra cruda.

Abstract

This paper presents the results obtained for the properties of adobes, physical, mechanical and chemical, which are essential for understanding the adobe as a structural material and essential for its earthquake-resistant evaluation. The characterization of the material was initially a pilot phase on similar patrimonial adobe specimens (of about 300 year-old structures). Later it became an analytical evaluation which compared the results obtained with those of other researchers, both in Colombia and the rest of Latin America. Finally, a methodological guide and a characterization sheet were developed and it is expected that they will be useful for future studies of constructive, structural and earthquake resistant building systems of heritage value and interest constructions. For raw land, adobe and other modalities construction systems, present in cultural assets, particularly religious architecture (*doctrineros* chapels and temples), it is imperative to study rehabilitation procedures with techniques and materials aimed at improving the conditions of their behavior facing the effects of structural seismic activity and natural deterioration.

Keywords: adobe, immovable cultural interest doctrine chapel, structural material, seismic resistance, raw land.

Resumo

Este artigo apresenta os resultados obtidos para as propriedades dos adobes, físicos, mecânicos e químicos, que são essenciais para a compreensão do adobe como material estrutural e avaliação terremoto correspondente resistente. A caracterização do material foi inicialmente uma fase piloto sobre o capital próprio adobe amostras (cerca de 300 anos). Mais tarde, tornou-se uma avaliação analítica e compararam os resultados com os de outros pesquisadores, na Colômbia e no resto da América Latina. Finalmente, foi desenvolvido um guia metodológico e uma folha de caracterização deverá ser útil para futuros estudos dos sistemas de construção, estruturais e edifícios resistentes terremoto de patrimônio de valor e interesse. Para os sistemas de construção primas de terra, barro e outras modalidades, presente em bens culturais, arquitetura particularmente religiosa (capelas e templos doctrineros), é imperativo estudar procedimentos de reabilitação com técnicas e materiais para melhorar as condições de seu comportamento para os efeitos da atividade sísmica estrutural e deterioração natural.

Palavras-chave: adobe, capela doutrina imóveis interesse cultural, material estrutural, resistência sísmica, a terra crua.

Artículo de investigación

En este artículo se presentan los aspectos que caracterizan a los sistemas constructivos en tierra cruda, particularmente en adobe, presentes en bienes inmuebles colombianos de interés cultural – específicamente en capillas o templos doctrineros–, mediante el estudio de un caso específico: la capilla doctrinera de Tausa, Cundinamarca.

Recepción: 1 de agosto de 2012

Aceptación: 25 de septiembre de 2012

SICI: 1657-9763(201212)25:2<164:EAYOMS>2.0.TX;2-5

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

ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

El estudio e investigación de la arquitectura en tierra es importante para Colombia, por el número de bienes de interés cultural (Ojeda, 2003) que se encuentran distribuidos a lo largo y ancho del territorio nacional.

Los edificios que hoy son parte del catálogo del patrimonio material de Colombia, al menos aquellos construidos antes de mediados del siglo XVIII, fueron edificados con alguna de las técnicas conocidas de tierra “cruda”; técnicas que, en contadas ocasiones, siguieron vigentes hasta entrado el siglo XIX. Para la presente investigación se usaron como antecedentes los estudios y trabajos realizados en Latinoamérica, especialmente en México, Perú, Bolivia y Argentina. En estos, se exponen estudios de construcciones en tierra de arquitectura contextual moderna y contemporánea, sin embargo se encontraron pocos trabajos relacionados con bienes de interés cultural y monumentos arquitectónicos.

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN TIERRA

Los sistemas constructivos en tierra de edificaciones patrimoniales consisten principalmente en muros de carga; se diseñaron para soportar cargas verticales (peso propio, entresijos, cubiertas y otros) y de servicio (carga viva), sin incluir los efectos producidos por un sismo. Se asimilan entonces a un sistema de mampostería compuesto por unidades de tierra cruda, aparejadas de diferentes formas, con la que se construyen muros que varían en espesor y en altura y que pueden o no trabarse.

Los ‘templos doctrineros’ tienen una configuración y geometría particular dentro de los diferentes bienes inmuebles de interés cultural que posee el país. La valoración de los inmuebles existentes se hizo sobre el inventario detallado de estos bienes en el área andina colombiana (Departamentos de Boyacá, Cundinamarca y Santander). En la Tabla 1 (López, 2003) se definen los materiales básicos de cada sistema constructivo presente en el inmueble. La conformación constructiva en general de los ‘templos doctrineros’, está marcada por los siguientes parámetros, que se describen gráficamente en la Figura 1:

- Cimientos corridos tipo ciclópeo, construidos en conglomerado de roca nativa y pega en argamasa o barro compacto. Sobre estos se

apoyan los muros de carga. Sus magnitudes son variables en función al tipo de suelo sobre el que se apoyan (esto para su profundidad) y generalmente con un sobre ancho al lado de los muros que soportan.

- Muros cargueros longitudinales de espesor variable entre 0.90 y 1.20 metros; altura de aproximadamente 2 a 2½ pisos, es decir entre 5 y 7 metros. Además, aperturas ocasionales para vanos de puertas y ventanas. Para impedir el volteo hacia el exterior, estos muros longitudinales trabajan en conjunto con contrafuertes, ubicados a cuartas o quintas luces de la longitud del elemento, es decir separados entre 3 y 4 metros. Estos muros generalmente reciben las cargas de cubierta transmitidas a éstos mediante el apoyo de los tirantes y demás estructura de armar a una viga solera que se ubica sobre el cabezal del muro.
- El muro testero o tapa anterior de la capilla, aquel que forma el ábside y que cierra el edificio delante del presbiterio se encuentra construido de lado a lado, es decir sin aperturas o vanos y vinculando los dos costados longitudinales.
- El frontón de fachada, en la mayoría de los casos, está construido en sillares de roca natural rústica y/o mampostería en unidades de arcilla cocida y se empalman a los muros longitudinales con una traba irregular.
- Marcando la importancia del presbiterio, entre éste y la nave del templo se presenta el arco toral que se dispone perpendicularmente a los muros longitudinales y que generalmente se acompaña de sus respectivos contrafuertes al exterior.
- Finalmente, se afianza todo el sistema con el entramado de cubierta, conformado generalmente por una trama de madera en par y nudillo (una de las técnicas de armadura más comunes) y que constituye la forma estructural más sencilla para salvar la luz transversal de la única nave de la capilla. Como función adicional a la de cobertura, la estructura de madera y su manto (teja, barro, esterilla, etc.) tienen la función de estabilizar el sistema de muros, así como de proteger el material básico del sistema estructural, la tierra cruda, es decir, el adobe.

Es usual que en los sistemas constructivos de los edificios en tierra se encuentren mezclas

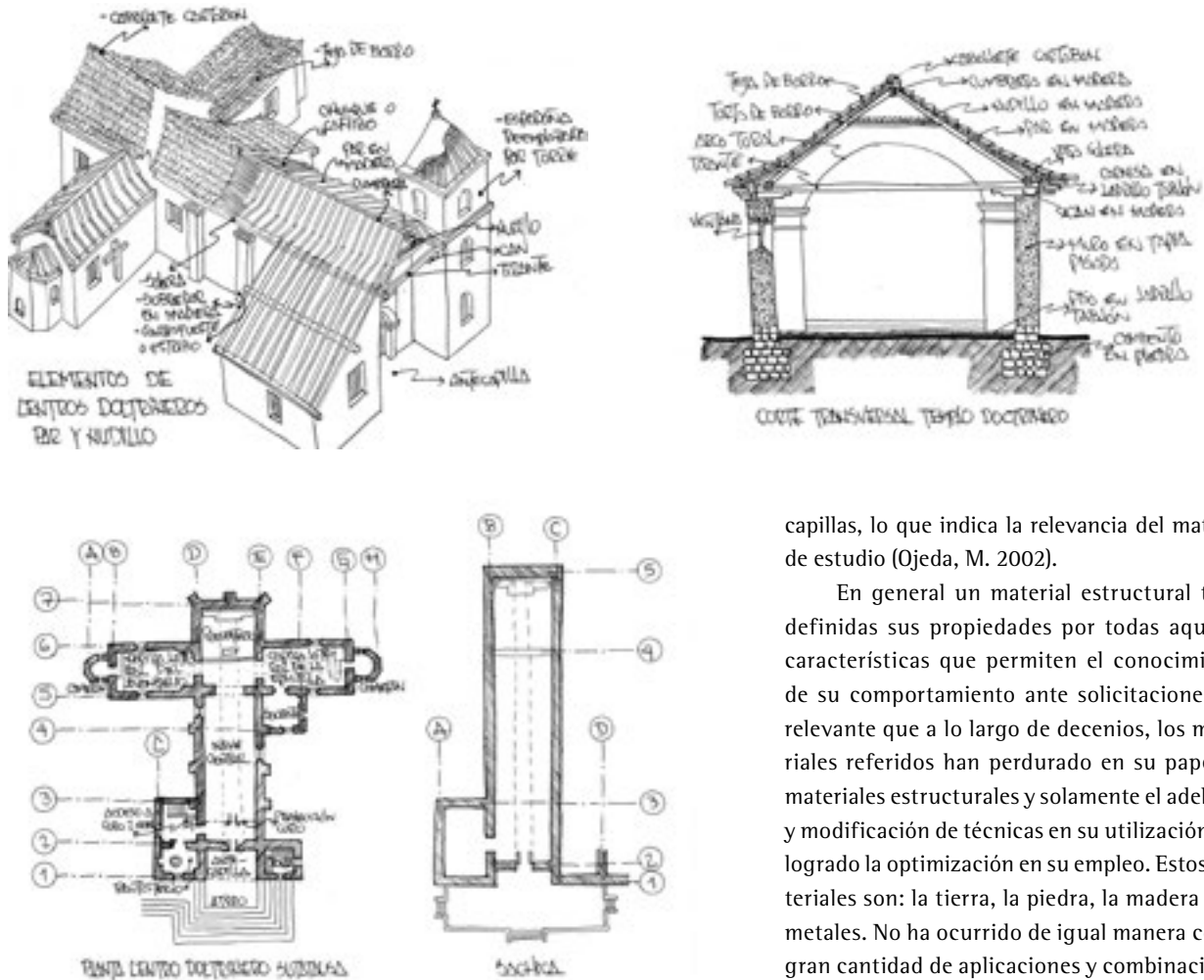


Figura 1:
Conformación típica de una capilla doctrinera.
Fuente:
Diego Bautista

de diferentes tipos de mampostería: mampuestos en sillares de piedra y/o tapias, y/o muros en adobe. No obstante, el presente trabajo se refiere solamente al conocimiento y caracterización del adobe, clasificado como el elemento de mampostería en tierra con mejor ‘calidad de factura’, puesto que se ha observado que la tapia (tapial) presenta mayor gama y amplitud en cuanto al tipo de materiales empleados y su degradación es severa, debido al funcionamiento estructural y los agentes externos a los que generalmente están sometidos, como el intemperismo, por ejemplo.

De los 1039 monumentos declarados como Monumentos Nacionales, 158 corresponden a arquitectura religiosa –claustros, conventos, catedrales, iglesias, capillas, templos y ermitas–, es decir poco más de un 15%, lo que da cuenta de la importancia que tiene la arquitectura religiosa en el ámbito cultural y patrimonial. De éstas, una tercera parte (52 edificios) corresponden a

capillas, lo que indica la relevancia del material de estudio (Ojeda, M. 2002).

En general un material estructural tiene definidas sus propiedades por todas aquellas características que permiten el conocimiento de su comportamiento ante solicitaciones. Es relevante que a lo largo de decenios, los materiales referidos han perdurado en su papel de materiales estructurales y solamente el adelanto y modificación de técnicas en su utilización han logrado la optimización en su empleo. Estos materiales son: la tierra, la piedra, la madera y los metales. No ha ocurrido de igual manera con la gran cantidad de aplicaciones y combinaciones constructivas desarrolladas por el constructor para solucionar los diversos rigores técnicos a los que siempre tiene que enfrentarse. La variedad de alternativas desarrolladas proporciona una gradación muy amplia en los valores de las propiedades de los materiales y soluciones estructurales producidas.

Toda edificación construida, trae consigo la necesidad de garantizar su permanencia en el espacio y en el tiempo, condición que depende de la capacidad de los materiales estructurales, de la forma como sean empleados y de la afectación medio ambiental a la que se vean sometidos. Por lo tanto, se concluye que la durabilidad de cualquier estructura estará siempre vinculada con aspectos que inciden sobre la misma de manera directa:

- La evolución y transformación del entorno de la estructura
- El cambio de fase de los materiales que constituyen el sistema constructivo y estructural

COLOMBIA - IGLESIAS MONUMENTOS NACIONALES. Región Andina / Materiales Básicos del Sistema Constructivo								
Departamento Ciudad / Municipio	NOMBRE	MATERIALES BÁSICOS DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO				OBSERVACIONES		
		MUROS	PAÑETES	PISO	CUBIERTA			
BOYACA	Betéitiva	Capilla doctrinera	Tapia	Cal/arena	Tableta gres	Par y nudillo/ Teja Barro	Sismo 17/VI/99	
	Chiquiza	Capilla doctrinera	Adobe	Cal/arena- Cemento/arena	Arcilla cocida y piedra	Par y nudillo/ Teja Barro	Sismo 1995	
	Chivatá	Capilla doctrinera Toca	Mixta: Tapia	Cal/arena	Tablón ceramico	Par y nudillo/ Teja Barro		
	Cucaita	Capilla doctrinera		Cal/arena- Cemento/arena	Tablón arcilla	Par y nudillo/ Teja Barro		
	Monguí	Capilla de San Antonio					Sismo 1995	
	Sáchica	Capilla doctrinera	Tapia	Cal/arena	Tableta gres	Par y nudillo/ Teja Barro		
	Socha.	Iglesia de Socha viejo						
	Tópaga	Capilla doctrinera					Capilla posa, muy intervenida	
CUNDINAMARCA	Turmequé	Capilla de los Dolores	Piedras y rafas de	Cal/arena	Baldosin	Par y nudillo/ Teja Barro		
	Guasca	Capilla de Siecha	Adobe	Cal y arena	Tablón arcilla	Par y nudillo/ Teja Barro		
	Sopó	Iglesia y Casa	Fachada: Piedra	Cal/arena	Tablón Gres	Par y nudillo/ Teja Barro	Muy intervenida	
	Sutatausa	Iglesia Colonial,	Adobe	Cal/arena	Tablón arcilla	Par y nudillo/ Teja Barro		
	Tenjo	Capilla doctrinera	Adobe	Cal/arena	Tablón arcilla	Par y nudillo/ Teja Barro		
	Bogotá	Capilla de la Bordadita	Piedra/Tapia	Cal/arena- Cemento/arena			Madera/ Teja barro	
		Capilla del sagrario	Piedra				Madera/ Teja barro	
		Iglesia de la Concepción		Tapia,ladrillo, piedra			Madera/ Teja barro	
		Iglesia de San Agustín	Mixta: tapia, piedra, ladrillo	Cal/arena- Cemento/arena	Baldosa		Madera/ Teja barro	
		Iglesia de San Francisco	Mixta:piedra, ladrillo	Cal/arena- Cemento/arena			Madera/ Teja barro	
		Iglesia de San Ignacio	Mixta:piedra, ladrillo	Cal/arena- Cemento/arena	Baldosa arcilla		Madera/ Teja barro	
		Iglesia de Santa Barbara	Mixta: adobe, ladrillo					
	Iglesia de Santa Clara	Mixta: piedra, ladrillo						
SANTANDER	Ocaña	Templo de San Francisco	Mixta: tapia, piedra, ladrillo	Cal/arena- Cemento/arena	Tablón de arcilla	Par y nudillo/ Teja barro	Pañete sostenida	
	Pamplona	Templo San Juan de Dios	Mixta: adobe, piedra, ladrillo		Adoquin	Madera/Teja de barro		
	Barichara	Capilla Jesús Nazareno	Mixta: Piedra, tapia (sacristia)		Ladrillo cuarteron	Par y nudillo/ Teja barro	Anexa al cemento- Características de doctrinera	
		Iglesia Santa Barbara	Mixta: Piedra, tapia (primera)	Cal/arena	Baldosa de barro	Par y nudillo/ Teja barro	Estructura total en piedra	
		Iglesia de San antonio	Mixta: Adobe, piedra, ladrillo	Cal/arena		Par y nudillo/ Teja barro	Cimientos: piedra. Anexa al asilo de San antonio	
	Bucaramanga	Capilla de los dolores	Mixta: Adobe, tapia, piedra		Tableta de barro, madera	Par y nudillo/ Teja barro		
	Confines	Iglesia de San Cayetano	Mixta:Piedra, Ladrillo, bahareque	Sin pañetes, capitel con cal	Baldosin cemento	Par y nudillo/ Teja barro	Características similares a suesa	
	Girón	Capilla de las Nieves	Mixta: Adobe, tapia	Barro y boñiga	Baldosin de cemento	Madera/ Teja barro	Características doctrinera	
	Socorro	Nuestra señora del Socorro	Mixta: Adobes, piedra, ladrillo	Cal/arena	Baldosin de cemento	Madera/Teja de barro	Tipología doctrinera, muy intervenida	

Tabla 1
Monumentos de
arquitectura religiosa,
materiales básicos del
sistema constructivo.

Fuente:
Cecilia Lopez

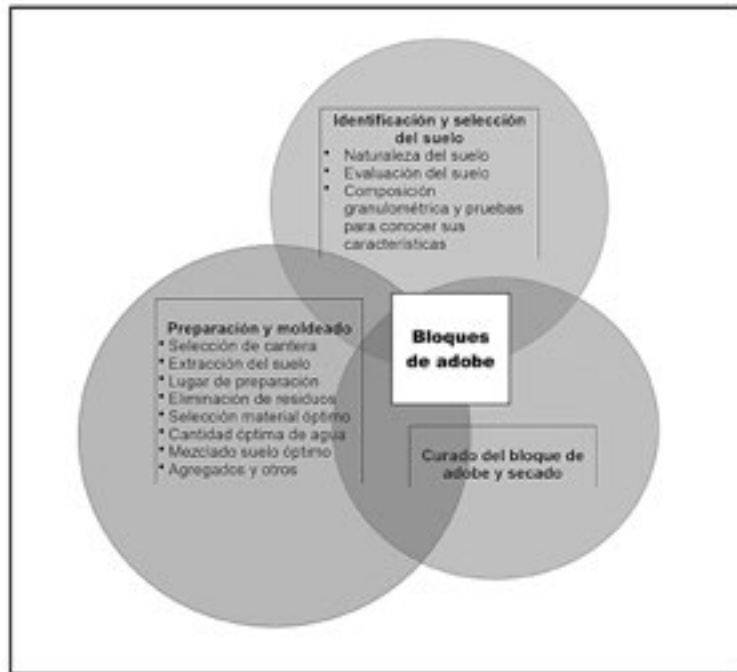


Figura 2:
Diagrama del proceso
de fabricación del
adobe, unidad básica
del mampuesto.

Fuente:
Juan Carlos Rivera

La tierra cruda como material estructural: El adobe

El sistema constructivo en tierra cruda, denominado como muros en adobe, está formado básicamente por el aparejado de unidades de tierra cruda secadas al sol (adobes) aglutinados con barro, que hace las veces de mortero de pega. Las unidades básicas de este mampuesto son fabricadas y/o moldeadas en diversos formatos y con variadas composiciones granulométricas.

En el diagrama de fabricación del adobe (Figura 2) se indican las acciones invariables y cíclicas que se deben llevar a cabo para la hechura de las unidades de fábrica, y que no han cambiado significativamente en el caso de los adobes históricos o modernos puesto que la técnica constructiva en sí misma, no se ha modificado. Lo que sí se observa como adelanto y perfeccionamiento en la composición de los adobes es la adición de elementos orgánicos e inorgánicos mediante métodos físicos, físico-químicos o químicos, que buscan mejorar las propiedades mecánicas y comportamiento ante acciones externas, principalmente el intemperismo al que se encuentran sometidas estas estructuras, en su gran mayoría. En el diagrama (Figura 2) se pueden advertir todas las variables que entran a jugar en este proceso, y que se modifican de un monumento a otro.

Dada la aparente simplicidad que guarda esta tecnología constructiva, se hace necesario

–para ofrecer soluciones de intervención más apropiadas para los bienes de interés cultural, que poseen este tipo de material– conocer con mayor exactitud y amplitud las características físicas, mecánicas y químicas del material que lo componen. Para caracterizar en su integridad el material que compone, tanto la unidad de mampostería como la obra de fábrica edificada con estos, se revisan tres aspectos principales que abarcan las características predominantes en los materiales empleados en ingeniería, de la siguiente manera:

Fase experimental

En esta etapa de la investigación se agrupan los siguientes aspectos: la selección del caso de estudio, la toma de muestras y elección de probetas y el proceso independizado de ejecución de los distintos ensayos que caracterizan el material de tierra en el bien de interés cultural elegido. Asimismo, se presentan dos casos de estudio diferenciados, tanto por el origen, calidad y tipo de caracterización que se realizó sobre los especímenes, como por el sitio de realización de los ensayos correspondientes. El primer caso corresponde al de la capilla doctrinera de Tausa Vieja, y el segundo al material trasladado a los patios del laboratorio de materiales de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

Caso de estudio: Capilla doctrinera de Tausa Vieja

La capilla doctrinera de Tausa Vieja está localizada en el sector antiguo del municipio de Tausa (Cundinamarca), al cual se llega por la vía que desde Zipaquirá conduce a Ubaté, aproximadamente a una hora de Bogotá. La antigua capilla, ubicada sobre una pequeña colina, está dividida en dos sectores claramente diferenciados. El primero es el tramo frontal de una sola nave, construida en mampostería de sillares de piedra, adobe y tapia pisada, frontón en mampuesto de arcilla cocida y cubierta en par y nudillo. El segundo es el sector posterior –el de mayor interés para esta investigación– y corresponde a los muros en ruina del sector de presbiterio, muro testero y dos áreas laterales, de las cuales se desconoce su uso. Este sector, en avanzado estado de deterioro, presenta la muratura que se puede observar en las Figura 4, correspondiente a la planta general de la capilla y registros fotográficos de abril del año 2003.

El sistema constructivo del inmueble estudiado corresponde a muros de adobe de masa considerable que aún están en pie y que dan claras señales de las patologías propias de un sistema como éste, expuesto al intemperismo –atenuado por la posición sobre la colina–, con cara a la corriente de viento que circula desde el sur oriente del sector donde se implanta la capilla. Para la caracterización física y mecánica, se tomaron 32 muestras, de las cuales 27 son de unidades y fragmentos de adobe y 5 de fragmentos de mortero de pega. Para la caracterización química se tomaron 33 muestras, 20 de fragmentos de adobe, 7 de fragmentos de mortero de pega y 6 de fragmentos de mortero de revestimiento sobre muros.

Las muestras tomadas para los análisis químicos, son muestras de material obtenidas por raspado y/o rotura en el sitio de toma, en una magnitud por peso de aproximadamente 250 a 300 gramos, cantidad equivalente al material que cabe en la palma de una mano. Este material se depositó en bolsas plásticas, se selló herméticamente, se identificó y se trasladó al Laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad Javeriana.

El muestreo para la caracterización física y mecánica se realizó en los fragmentos de adobe y mortero de pega mediante la extracción de estos materiales en cantidades por peso cercano a los



Figura 3:
Capilla doctrinera de Tausa Vieja. Proceso de extracción de unidades de adobe.
Fotografía:
Juan Carlos Rivera

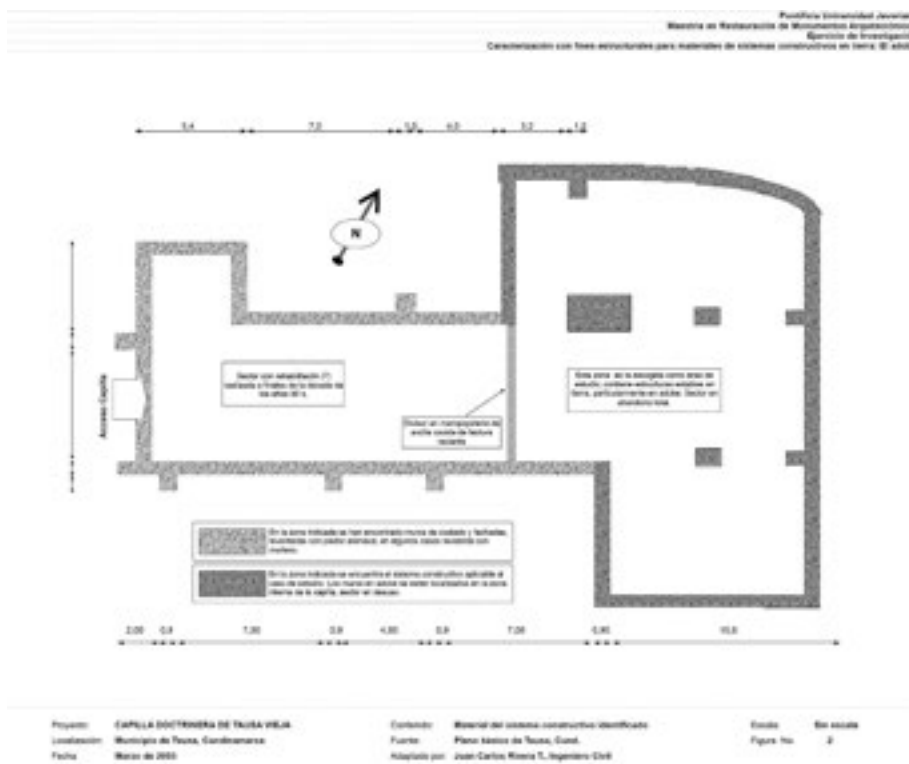


Figura 4:
Capilla doctrinera de Tausa Vieja: Planta tipo y registros del estado actual.
Fotografía:
Juan Carlos Rivera



1,000 gramos. Para la consecución de unidades de adobe, el proceso fue mucho más dispendioso y elaborado, pues al estar confinado en el muro mediante el mortero de pega, tuvieron que implementarse procedimientos para retirar el mortero que lo confinaba hasta lograr que el adobe quedara suelto. El registro de la experiencia adquirida durante la extracción y obtención de muestras y probetas de unidades y fragmentos de adobe y mortero de pega (ver Figura 3), llama la atención sobre el nivel de vulnerabilidad presente al momento de trabajar con materiales deleznable y frágiles tal como estos, que son la materia prima del sistema constructivo en estudio.

Caracterización física en el laboratorio de suelos y geotecnia:

Los ensayos realizados determinaron las características físicas del adobe y mortero de pega de la capilla doctrinera de Tausa Vieja. Se realizaron ensayos de laboratorio que dan a conocer las principales características físicas: composición granulométrica, peso específico, contenido de materia orgánica, contenido de humedad y límites de consistencia. La Figura 5 muestra algunos aspectos de la etapa de caracterización física para adobes a través de la ejecución de diversos ensayos. A diferencia del análisis de suelos o de material inalterado, como es el caso de ensayos

sobre muestras de material que no han sido aún preparados; los materiales utilizados en este proceso de caracterización tienen características que los hacen más particulares, puesto que, por una parte, el material de suelo ya ha sido manipulado, quebrado, separado, mezclado y humedecido antes de dar forma a los adobes, ha sido mezclado y compactado para moldear estas unidades de mampostería y posteriormente, levantar el muro. Y por último, un muro que puede llevar cerca de 150 años o más de haber sido construido, tiene una consolidación y un periodo de exposición a agentes externos como ningún otro material.

Caracterización mecánica en el laboratorio de materiales

Los ensayos de compresión sobre unidades de adobe y fragmentos preparados de mortero de pega y flexión perpendicular al plano horizontal de unidades de adobe se realizaron en el laboratorio de la Pontificia Universidad Javeriana. Los registros gráficos que se presentan en la Figura 6 muestran algunos apartes de los procesos de ensayos de caracterización mecánica realizados durante la fase experimental.

Los ensayos de resistencia mecánica incluyen varias etapas: la selección de la muestra recogida en la etapa de campo, la preparación de la muestra mediante el mejoramiento cuidadoso

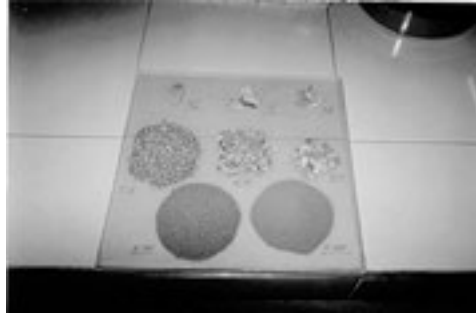


Figura 5:
Capilla doctrinera de Tausa Vieja. Caracterización física de adobes y mortero de pega.
Fotografía:
Juan Carlos Rivera

de las superficies y refrendado de las mismas y finalmente, el ensayo. En esta etapa se prepararon unidades de adobe seleccionadas del lote recogido en el campo y trasladado al laboratorio, y fragmentos representativos de mortero de pega en tierra, correspondientes a la junta horizontal del mampuesto en estudio.

Caracterización química en el laboratorio

Para la caracterización química del adobe, el mortero de pega en tierra y el mortero de revestimiento, se utilizaron los laboratorios y equipos de medida y análisis del Departamento de Química de la Facultad de Ciencias Básicas de la Pontificia Universidad Javeriana. Las secuencias gráficas presentadas, registran los ensayos de caracterización química, y en estos, los procesos adelantados durante la fase experimental, con los cuales se obtuvieron los parámetros químicos para este sistema constructivo.



Análisis cualitativo y cuantitativo de elementos químicos presentes en muestras de materiales estructurales

La determinación de cada uno de los elementos químicos existentes en las muestras del material estructural se realizó por medio del método de espectrofotometría por absorción atómica. Para estos análisis fue necesario preparar patrones de dilución de los componentes químicos más

Figura 6:
Caracterización mecánica, compresión sobre adobes.
Fotografía:
Juan Carlos Rivera

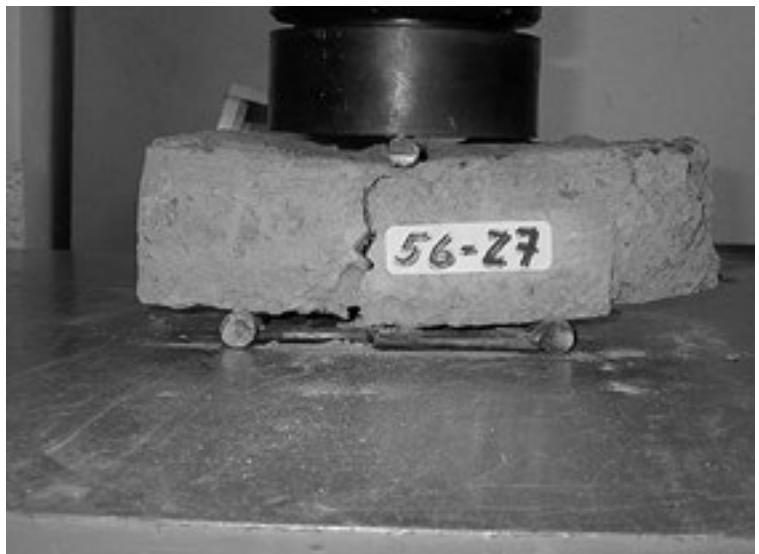




Figura 7:
Caracterización Química:
Contenido de humedad,
materia orgánica y
elementos químicos.

Fotografía:
Juan Carlos Rivera



usuales en este tipo de materiales estructurales, los cuales fueron comparados con fracciones igualmente diluidas de cada una de las muestras analizadas (Figura 7). Los ensayos de compresión sobre muretes de composición (adobe con mortero de pega), con deformación controlada para

la obtención de la curva esfuerzo-deformación, fueron realizados en el Laboratorio de Materiales de la Escuela Colombiana de Ingeniería (ECI). *Caracterización en la Escuela Colombiana de Ingeniería: Ensayos de compresión sobre muretes de composición de adobe con mortero de pega*

Se adoptó el material de adobe utilizado durante la construcción de los muros en escala natural, muros construidos con fines de análisis dinámico. Este material fue fabricado para el Grupo de Investigaciones en Materiales y Estructuras (GRIME) en el municipio de Suesca (Cundinamarca). Desde allí, fue trasladado hasta los patios del Laboratorio de Materiales de la ECI, donde continuó su fraguado por más de cuatro meses. Aunque el formato de la unidad básica del mampuesto utilizado difiere de la unidad básica existente en el caso de estudios anteriores, y en general, del existente en las edificaciones de carácter patrimonial, se busca tener un mampuesto sobre el cual se pueda obtener información para la construcción de curvas de esfuerzo-deformación,

Tabla 2
Resultados de
caracterización física
para adobe en la
capilla doctrinera
de Tausa Vieja.

Fuente:
Juan Carlos Rivera

Capilla doctrinera de Tausa Vieja: Caracterización Física			
Característica Física		Resultados promedio obtenidos	
		Adobe (Unidades)	Mortero de pega (Fragmentos)
Contenido de Humedad		3.3%	3.22%
Contenido de materia organica		4.8%	5.49%
Peso específico		1,77 t/m	1,83t/m
pH		5	5.5
Límites de Consistencia	Límite líquido (LL)	44.0%	32.0%
	Límite Plástico (LP)	25.0%	14.0%
	Índice Plástico (IP)	20.0%	17.0%
Composición granulométrica	Gravas	10.0%	6.0%
	Arenas	18.0%	50.0%
	Finos	72.0%	45.0%
Clasificación del suelo	USC	CL - arcillas inorgánicas de baja plasticidad	
	AASHTO	Suelo Limo Arcilloso - Grupo A-7	



Figura 8:
Caracterización mecánica en la ECI: compresión sobre muretes de adobe.
Fotografía:
 Juan Carlos Rivera

que contribuyan a determinar un módulo elástico experimental de la mampostería en adobe; constante que no se encontró relacionada en estudios de este tipo de material (Figura 8).

Los muretes de prueba se realizaron en formato de tres hiladas de altura, con una unidad de adobe de planta. Tanto las unidades de adobe como el material del mortero de pega y el espesor del mismo fueron las mismas empleadas en la construcción del muro modelo. Durante la construcción de tres muros modelo se realizaron 14 muretes del formato indicado.

FASE ANALÍTICA: RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN

Con la caracterización de los materiales estructurales se da un marco de referencia en cuanto a la calificación y cuantificación de las propiedades más relevantes que de él se pueden deducir. Esta investigación solo es una fracción del estudio de los materiales y comportamiento estructural de las edificaciones patrimoniales en tierra. Por tanto, los resultados aquí registrados, aunque merecen confiabilidad, son una muestra discreta frente a tantos edificios de este carácter que se encuentran distribuidos en todo el territorio colombiano, contruidos con materiales y técnicas similares.

Resultados de la caracterización física

Las propiedades físicas del adobe y su mortero de pega están referidas, en su mayoría, a los ensayos realizados en el laboratorio de suelos. Los resultados se encuentran agrupados en la Tabla 2. En general se puede destacar de esta etapa de caracterización que:

- El contenido de humedad natural es bajo. Es posible que sea debido al manejo de las muestras y probetas empleadas en los ensayos.
- El contenido de materia orgánica es moderadamente superior a los datos indicados en fuentes consultadas y es consistente con el contenido aceptable.
- El análisis de composición granulométrica revela una mayor tendencia a la composición de suelos finos, quedando clasificados los suelos del caso de estudio como CL, arcillas inorgánicas de baja plasticidad.

Se deduce, en general, que existe una correspondencia con el amplio rango de valores encontrados en estudios específicos sobre este material. Sin embargo, debe tener en cuenta que este trabajo toca solo a un caso de estudio y no es apropiado generalizar todo un sistema constructivo, a partir de los resultados obtenidos.

Tabla 3
Resultados de
caracterización
mecánica para adobe
en la capilla doctrinera
de Tausa Vieja.

Fuente:
Juan Carlos Rivera

Capilla doctrinera de Tausa Vieja: Caracterización Mecánica		
Característica mecánica	Resultados promedio obtenidos	
	Adobe(Unidades)	Mortero de pega (Frangmentos)
Resistencia a la compresión simple	3,04 MPa	2,08 MPa
Resistencia a la flexión - Modulo de rotura	0,41 MPa	

Resultados de la caracterización mecánica: Las propiedades mecánicas de este material estructural, están referidas en su mayoría a los ensayos realizados en el laboratorio de materiales. Los resultados obtenidos para la etapa de caracterización mecánica de materiales estructurales para el sistema de muros en tierra, se enmarcan en el rango de valores que está construido con datos de estudios de diferentes autores. Se observa entonces que la capacidad mecánica de este sistema constructivo es relativamente baja.

- Los ensayos de compresión simple sobre unidades de adobe que la resistencia para el material de este caso de estudio se asemejan a los resultados compilados de autores referentes, particularmente, son cercanos a los de los casos de estudio en Bogotá.
- En los ensayos de compresión sobre fragmentos de mortero de pega se obtienen valores por debajo de la resistencia de las probetas de adobe. Estos datos no son comprobables debido a que no se encontraron caracterizadas situaciones de este tipo. Además, estas han de ser revisadas con reserva debido a que, por la forma de extracción de las muestras, no se logró obtener prismas de condiciones similares a las recomendadas en normas para morteros.
- A partir del ensayo de flexión con cargas perpendiculares al plano se determinó el módulo de rotura, que busca medir la capacidad de resistencia del mampuesto para cargas aplicadas que generan flexión en el sistema constructivo. Esta característica muestra, nuevamente, valores muy bajos.

Pese a lo anterior, las características mecánicas, en buena parte, son las que condicionan el desempeño del sistema estructural ante condiciones dinámicas, por lo cual también se advierte que un estudio sobre el mejoramiento de las características mecánicas es deseable. La Tabla 3 agrupa los resultados medios de la caracterización mecánica para el material estructural de la capilla doctrinera de Tausa Vieja.

Resultados de la caracterización química:

En las fuentes de autores referentes consultadas (Cely, 2001); (CIMOC, 2002); (Otazzi, 1998); (Vargas, 1984) no hay ninguna mención que tome en cuenta las propiedades o composición química de los sistemas constructivos en adobe. Surge entonces la duda sobre la necesidad de caracterización de este tipo de propiedades. Sobre las propiedades evaluadas para la caracterización química se destaca que:

- Las distribuciones del contenido de humedad y de materia orgánica son muy homogéneas, lo que indica, para el caso de la humedad, que el conjunto de muestras y en general, todas las áreas de estudio, están bajo el mismo régimen de humedad. Para el caso del contenido de materia orgánica, el resultado revela un valor moderado, es decir que existe poca agregación de materia orgánica ajena al suelo de origen del material con el que se fabricaron las unidades básicas y en últimas, con el que se construyó el sistema de mampuesto.
- De la etapa de obtención del contenido porcentual de elementos químicos se destaca

Tabla 4
Resultados de
caracterización
química para adobe en
la Capilla Doctrinera
de Tausa Vieja.

Fuente:
Juan Carlos Rivera

Resultados consolidados para propiedades evaluadas			
Características estudiada	Número de ensayos	Número de muestras	Contenido promedio
Contenido de humedad	28	28	11.62%
Contenido de materia orgánica	28	28	0.41%
Composición por elementos químicos	Silicio - Si	17	65.90%
	Aluminio - AL	17	15.88%
	Hierro - Fe	17	4.75%
	Calcio - Ca	17	2.55%
	Sodio - Na	17	0.57%
	potasio - k	16	2.83%
	Magnesio - Mg	17	2.10%

que, siendo esta la fracción de material predominante en la composición granulométrica de las muestras estudiadas, el contenido de sílice y aluminio son los de mayor presencia. Los demás elementos químicos analizados (hierro, calcio, sodio, potasio y magnesio) ocupan la fracción restante, junto con otros elementos químicos que comúnmente no se analizan y que en general, tienen menor presencia en la naturaleza.

- Como se indicó, la preexistencia de resultados sobre caracterización química para el adobe no tiene referentes, por tanto, los datos del contenido porcentual de cada elemento químico presentes en el lote de muestras de adobe asumen un patrón aplicable para trabajos futuros que versen sobre el tema. Los datos obtenidos también son útiles como descriptores de composición para un estudio más profundo sobre la interacción de estos con los componentes de materiales y nuevas tecnologías que se implementen para el reforzamiento de este sistema estructural.

En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos de caracterización del adobe en la en la Capilla Doctrinera de Tausa Vieja.

METODOLOGÍA GUÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE EDIFICACIONES EN TIERRA

En gran parte el modelo metodológico desarrollado en este trabajo queda agrupado mediante una guía metodológica diseñada para que muestre la caracterización de un Bien Inmueble de interés Cultural (BIC) cuyo sistema constructivo y estructural básico sea en tierra cruda y particularmente, en adobe. Sin embargo deben poder incluirse, con algunas modificaciones mínimas, otros sistemas constructivos de bienes patrimoniales. La información recopilada debe agruparse en función de la etapa en la cual se obtiene, pues así se da claridad al proceso metodológico que se pretende plasmar en la guía. La guía debe mostrar un proceso lógico, secuencial y cronológico en la recopilación de información y obtención de resultados. Asimismo, permitirá identificar las características tipológicas del sistema constructivo y estructural del edificio, las condiciones existentes de su funcionamiento estructural y

los agentes externos que actúan como causas de posibles efectos sobre el sistema estructural, esto en la fase inicial del trabajo de campo.

La Figura 9 muestra la Ficha Guía de Caracterización de sistemas constructivos en tierra que define los aspectos a considerar en el proceso de obtención de información para el conocimiento del sistema constructivo y estructural de los BIC. Cabe mencionar que al realizar la caracterización de inmuebles de carácter patrimonial consecutivamente, con tendencia hacia una tipología específica, se está consolidando el conocimiento que puede obtenerse de cierto tipo de edificaciones. Con el uso de la metodología propuesta, no sólo se recopila información relativa al material estructural estudiado durante el desarrollo de este trabajo, sino que además se reconoce el sistema constructivo de la edificación, información que resulta relevante para el análisis del diagnóstico del comportamiento y de la situación estructural, así como otros valores de orden técnico que contribuyen en la toma de decisiones para plantear medidas de rehabilitación efectivas, o acciones consistentes con la realidad y el estado estructural del edificio.

CONCLUSIONES

El uso del modelo metodológico aquí propuesto contribuye a conformar una base de datos de caracterización que amplíen el conocimiento de sistemas estructurales que utilicen la tierra como material estructural.

- A partir de la observación de los resultados en las diferentes áreas de caracterización estudiadas, principalmente en la física y mecánica, se establece que es recurrente la alta fragilidad y, consecuentemente, la vulnerabilidad que presenta el sistema.
- Para los sistemas constructivos en tierra cruda, adobe y otras modalidades de estos, presentes en los BIC, particularmente en arquitectura religiosa (capillas doctrineras), es inminente el estudio de procedimientos de rehabilitación que involucren técnicas y materiales que mejoren las condiciones de su comportamiento estructural ante los efectos de deterioro que generalmente los acompañan.
- El estudio de normas para el ensayo de este tipo de materiales, revela que el avance tecnológico en tal sentido está orientado a la investigación de materiales de utilización

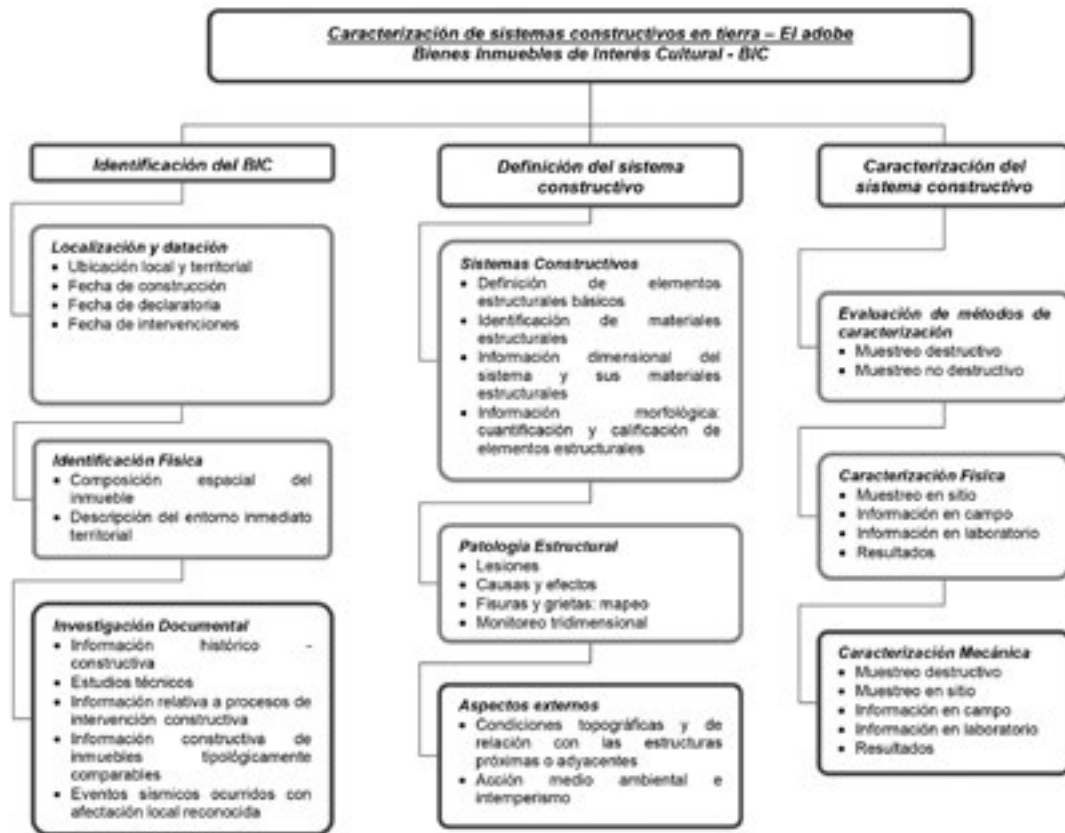


Figura 9:
Ficha guía de
caracterización para
sistemas constructivos
en tierra cruda.

Fuente:
Juan Carlos Rivera

masiva como el caso de unidades de arcilla cocida o bloques de concreto. Entre tanto, la normalización de los materiales básicos de este sistema constructivo no se han realizado profundamente. Se entiende esta situación debido a la poca utilización que como material estructural se le da al adobe actualmente, así como a las demás variables del sistema constructivo en tierra cruda.

- La comparación de los resultados entre los análisis de caracterización y los de estudios de geotecnia dan luces de nuevas investigaciones para normalizar el estudio de sistemas constructivos en tierra, por lo menos en su caracterización física y conservadoramente en algunas de sus propiedades mecánicas. No obstante, se deberá tener presente en cada caso caracterizado, las condiciones del posible suelo origen, en cuanto a las modificaciones en el entorno, situación ésta que no es fácil de obtener.

Según los aspectos que se han tratado en este estudio, se puede dar un concepto sobre el

comportamiento estructural de los sistemas constructivos en tierra así:

- Los materiales y elementos constitutivos del sistema participan tan activamente, como lo hacen los procesos para llevar a cabo el sistema en sí, es decir las fases de fabricación y construcción del mampuesto.
- Los factores externos o del entorno donde se encuentre el BIC construido en adobe, que lo afectan son función de la calidad de la manufactura del sistema, es decir que un adobe fabricado con proporciones adecuadas de sus componentes granulométricos y construido con buena calidad en la mano de obra, donde se hayan cuidado las trabas, los aparejados, espesores de pega y un calafateo homogéneo. En general se puede deducir que son medibles las mismas condiciones que optimizan a un sistema de mampostería, pero guardando las proporciones de resistencia que posee el adobe y su mortero de pega.
- La composición física del adobe está regulada por la presencia de los componentes granulométricos básicos, cuyas cuantías varían

aún entre los mismos elementos del sistema constructivo de un mismo inmueble.

- Siempre están asociados al sistema de mampostería en adobe una serie de agentes de deterioro que indican una tendencia de la debilidad y fragilidad de este mampuesto; razón por la cual en su estudio se debe considerar, además de los aspectos físicos y mecánicos mostrados, el referente a la patología estructural que se presenten en el sistema.
- El estudio de estructuras de este tipo, se debe realizar, mediante el análisis de la evolución del daño; es decir que a partir del momento de aparición del deterioro estructural se pueden comparar las propiedades mecánicas de los materiales estructurales para verificar cual es el nivel de degrado de la estructura y con ello deducir la condición de seguridad que continúe presente o en el caso más desfavorable la pérdida de ésta.

Se pudo concluir que los de los ensayos a compresión sobre muretes para la obtención de Módulos de Elasticidad en el adobe resultados son bajos comparados con el rango inferior de los datos consolidados para estudios agrupados en esta investigación. Lo anterior posiblemente está oca-

sionado, por tratarse de ensayos sobre probetas construidas con adobes jóvenes o de fabricación muy reciente, los cuales fueron cotejados con los resultados encontrados en los artículos compilados de diferentes autores.

Estos resultados, permiten inferir que el periodo de exposición y de consolidación luego de la construcción del mampuesto en adobe es importante para la ganancia de resistencia a la compresión, dado que por tratarse de una gran masa en estado seudo húmedo se continúa de alguna manera un proceso de compactación del material que compone al adobe, así como al mortero de pega que une las unidades básicas de esta mampostería

IMPLICACIONES DEL ESTUDIO

A partir de este trabajo surgen inquietudes tales como cual es el tratamiento de intervención permisible y exigible para los BIC presentes en nuestro territorio.

No se puede olvidar que poco más del 80% del territorio colombiano se encuentra edificado sobre zonas de amenaza sísmica alta e intermedia (ahí se encuentran nuestros monumentos), donde la seguridad estructural de las edificaciones

Figura 10:
Ficha de caracterización de la Capilla doctrinera de Tausa Vieja, Cundinamarca.

Fuente:
Juan Carlos Rivera



Pontificia Universidad Javeriana
Facultad de arquitectura y diseño

Máster en restauración de monumentos arquitectónicos

Estudio de Bienes Inmuebles de Interés Cultural - BIC
Sistemas Constructivos en Tierra - El Adobe

FICHA DE CARACTERIZACIÓN - FIC.BIC

I. Identificación del BIC

I.1 Localización - Detección

Nombre: **CAPILLA DOCTRINERA DE TAUSA VIEJA**
Ubicación: Municipio de Tausa, Cundinamarca
Fecha de construcción: 1.746
Fecha Declaratoria: No registra
Fecha de intervención: 1.985, sector frontal

I.2 Identificación Física

La capilla doctrinera del antiguo asentamiento del municipio de Tausa, ahora llamada de Tausa Vieja, esta compuesta espacialmente por una sola nave longitudinal y cubierta a dos aguas. El inmueble está dividido claramente en dos secciones, el ter. sector hoy en uso y único con cubierta corresponde aproximadamente a 1/3 nave en el sentido longitudinal. El otro sector corresponde a las ruinas de la capilla en lo que era el presbiterio, arco toral, parte de la nave y sacristía. La localización de la capilla, sobre una baja colina permite la exposición de sus estructuras al intemperismo.

I.3 Investigación Documental

* Estudio de suelos restauración ermita municipio de Tausa, Octubre de 2002.

I.3.1 Esquemas del inmueble



2. Sistema Constructivo del BIC

2.1 Elementos estructurales

Los elementos estructurales predominantes en el sistema constructivo permanente de la capilla son: cimientos en occipio de piedra y argamasa, sobrecimientos en tablon de anilla ociosa y muros en mampuesto de adobe con espesor variable entre 0,85 y 0,95 m, con altura hasta 4,75

2.2 Materiales Estructurales

Unidad de mampostería	Adobe, de color amarillo claro
Altura:	8,5 a 10 cms
Largo:	33 cms
Ancho:	15 cms
Mortero de pega	Tierra oscura de apariencia fina
Espesor de la pega	Variable entre 17 y 20 cms
Apariencia	Tubo - Soja

2.3 Patología Estructural

Tipo	Límite	Extensión
FISURAS	Horizontal	del muro superior
	Vertical	del muro superior
	Diagonal	del muro superior
DEFORMACIONES	Horizontal	del muro superior
	Vertical	del muro superior
	Diagonal	del muro superior
MATERIAS	Horizontal	del muro superior
	Vertical	del muro superior
	Diagonal	del muro superior

2.4 Registro Fotográfico



3. Caracterización estructural del BIC

3.1 Caracterización Física

Característica Física	Resultado promedio obtenido		
	Adobe (Unidades)	Módulo de pega (Fragmentos)	
Cobertura de humedad	3,3%	1,0%	
Contenido de materia orgánica	4,3%	1,0%	
Peso específico	1,77 t/m ³	1,81 t/m ³	
gr	0	0,3	
Límites de resistencia	Unión Adobe (U)	44,0%	50,0%
	Unión Adobe (A)	33,0%	14,0%
	Unión Adobe (P)	33,0%	11,0%
Compresión por elementos básicos	Adobe	10,0%	8,0%
	Mortero	10,0%	30,0%
	Fibra	10,0%	45,0%
Caracterización del suelo	USC	Cl. Arcilla (según clasificación de tipo plasticidad)	
	SEPTO	Suelo Lino (según - Soja A-7	

3.1 Caracterización Mecánica

Característica mecánica	Resultado promedio obtenido	
	Adobe (Unidades)	Módulo de pega (Fragmentos)
Resistencia a la compresión simple	1,04 MPa	2,08 MPa
Resistencia a la flexión - Módulo de rotura	0,81 MPa	

3.1 Caracterización Química

Contenido de humedad	Contenido de materia orgánica	Composición por elementos básicos	
		Silicio - Si	Aluminio - Al
11,42%	0,6%	61,0%	15,0%
		Hierro - Fe	4,7%
		Calcio - Ca	3,3%
		Sodio - Na	0,3%
		Potasio - K	0,8%
		Magnesio - Mg	1,1%

Observaciones

Este documento es la consolidación del estudio que caracteriza al sistema constructivo - estructural de la capilla y forman parte del mismo, la información de campo e informes de laboratorio de ensayos realizados.

Información de la Caracterización

Realizado por Juan Carlos Rivera T., Ing. Civil
Fecha Mayo de 2004.

construidas en tierra es inaplazable y más aún la del tipo de edificaciones que nos ocupa, toda vez que en ellos se convoca a los grupos sociales de sus municipios y localidades.

Existe entonces una doble responsabilidad frente a la salvaguarda de los monumentos, ambas de primer orden: una primera, la de preservar la materialidad de la estructura edilicia por contener los valores arquitectónicos e históricos que estas conllevan, y otra primera la de salvaguardar la vida de los ciudadanos que las utilizan.

Frente a esta doble responsabilidad se cuestiona: ¿La metodología actual que se sigue en el estudio y análisis estructural para edificaciones patrimoniales es la acertada? ¿Las técnicas y procedimientos de rehabilitación que se realizan son compatibles con este tipo de sistema constructivo? ¿Se les hace un seguimiento a las intervenciones que se les realizan a las edificaciones patrimoniales?, y en particular, ¿se verifica el nivel de acierto que una u otra técnica de intervención tiene con respecto al sistema constructivo y estructural del bien inmueble en cuestión?

Una sencilla reflexión sobre los cuestionamientos planteados deja ver de manera optimista, cuánto hay por estudiar y profundizar en esta materia para que la actuación respetuosa y acertada sobre bienes patrimoniales sea la que deba ser, con la seguridad de no estar alterando sus valores estéticos y funcionales y de estarle aportando condiciones que mejoren el desempeño integral del conjunto y que cumplan con los preceptos mencionados en el ámbito de su comportamiento estructural.

Referencias

- Bardou, P. (1979). *Arquitecturas de tierra*. Barcelona, España: Editorial Gustavo Gili.
- Bermejo Martínez, F. (1991). *Química analítica general, cuantitativa e instrumental*. Madrid, España: Paraninfo.
- Bowles, J. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*. México: McGraw-Hill.
- Buol, S. W. (1991). *Génesis y clasificación de suelos*. México: Editorial Trillas.
- Burriel, F. (1978). *Química analítica cualitativa*. Madrid, España: Paraninfo.
- Buscaron, F. (1971). *Análisis inorgánico cualitativo sistemático*. Barcelona, España: Ediciones Martínez Roca.
- Cely, R. (2001). *Aportes al estudio estructural de las edificaciones patrimoniales en tierra*. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Cepeda, J. M. (1991). *Química de Suelos*. México: Editorial Trillas.
- CIMOC. (2002). *Centro de investigaciones en materiales y obras civiles – Corporación La Candelaria*. Bogotá, Colombia: Autor.
- Corporación La Candelaria. (2003). *Cartilla para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada*. Bogotá, Colombia: Autor.
- CYTED. (1995). *Programa iberoamericano de ciencia y tecnología para el desarrollo*. Bogotá, Colombia: Habitterra.
- Eyheralde, R. (1955). *La tierra estabilizada como material de construcción. Centro interamericano de la vivienda – CINVA*. Bogotá, Colombia: Servicio de intercambio científico.
- Garavito, F. (1979). *Propiedades químicas de los suelos. República de Colombia. Ministerio de Hacienda y Crédito Público*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección Agrológica.
- González L., M. A. & Tápiales (1996). *Degradación y conservación del patrimonio arquitectónico. Cursos de verano de El Escorial*. Madrid, España: Editorial Complutense.
- Harmer, D. (1976). *Ensayo e inspección de los materiales de ingeniería*. México: Compañía Editorial Continental.
- Hernández, O. (1983). Evaluación de procedimientos para reforzar vivienda de adobe y hacerla resistente ante la acción sísmica. *Anales del Seminario Latinoamericano de Construcciones Sísmo-Resistentes de Tierra*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Heyman, J. (1999). *Estructuras de fábrica: Teoría, historia y restauración*. Madrid, España: Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Instituto Juan de Herrera.
- Instituto Colombiano de Cultura. (1987). *Normas mínimas para la conservación de los bienes culturales*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Cultura.
- - -. (1995). *Bienes inmuebles: Cartilla de Mantenimiento*. Bogotá, Colombia: Casa Gráfica.
- Kolthoff, I. M. (1972). *Análisis químico cuantitativo*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Nigar.
- López, C. (2003). *Recopilación Iglesias – Monumentos Nacionales*. Foro realizado por la

UNESCO. Tenerife, España: Universidad de Laguna.

Mas-Guindal, A. (1996). *La reparación de la estructura*. Madrid, España: Fundación Cultural COAM.

Melli, R. (1998). *Ingeniería estructural de los edificios históricos..* Ciudad de México, México: Fundación ICA.

NSR-98. (1997). *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente. Ley 400 de 1997*. Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Reingeniería Sísmica (AIS).

Ojeda, G. M. (2002). *Comportamiento estructural de construcciones en tierra*. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.

Otazzi P., G. (1998). *Ensayos de simulación sísmica de viviendas de adobe*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Departamento de Ingeniería.

Vargas N., J. (1984). *Resistencia sísmica de la mampostería de adobe*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Departamento de Ingeniería.

