

SPAL MONOGRAFÍAS ARQUEOLOGÍA  
XLVIII

# Adobes & cía.

Estudios multidisciplinarios sobre  
la construcción en tierra desde  
la prehistoria hasta nuestros días

OLIVA RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ  
ARTURO JIMÉNEZ VIERA  
(COORDINADORES)



Editorial Universidad de Sevilla

Adobes & cía.



## COLECCIÓN SPAL MONOGRAFÍAS ARQUEOLOGÍA

### DIRECTOR DE LA COLECCIÓN

Ferrer Albelda, Eduardo

### CONSEJO DE REDACIÓN

Álvarez Martí-Aguilar, Manuel. Universidad de Málaga

Álvarez-Ossorio Rivas, Alfonso. Universidad de Sevilla

Belén Deamos, María. Universidad de Sevilla

Beltrán Fortes, José. Universidad de Sevilla

Ferrer Albelda, Eduardo. Universidad de Sevilla

Garriguet Mata, José Antonio. Universidad de Córdoba

Gavilán Ceballos, Beatriz. Universidad de Huelva

Oria Segura, Mercedes. Universidad de Sevilla

Pereira Delgado, Álvaro. Facultad de Teología San Isidoro. Archidiócesis de Sevilla

Vaquerizo Gil, Desiderio. Universidad de Córdoba

### COMITÉ CIENTÍFICO

Arruda, Ana Margarida. Universidade de Lisboa

Bonnet, Corinne. Universidad de Toulouse

Cardete del Olmo, M.<sup>a</sup> Cruz. Universidad Complutense de Madrid

Celestino Pérez, Sebastián. Instituto de Arqueología de Mérida, CSIC

Chapa Brunet, Teresa. Universidad Complutense de Madrid

Díez de Velasco Abellán, Francisco. Universidad de la Laguna

Domínguez Monedero, Adolfo J. Universidad Autónoma de Madrid

Garbati, Giuseppe. CNR, Italia

Marco Simón, Francisco. Universidad de Zaragoza

Montero Herrero, Santiago C. Universidad Complutense de Madrid

Mora Rodríguez, Gloria. Universidad Autónoma de Madrid

Tortosa Rocamora, Trinidad. Instituto de Arqueología de Mérida, CSIC

Avalado por



Promovido por



Oliva Rodríguez Gutiérrez  
Arturo Jiménez Viera  
(coordinadores)

# Adobes & cía.

Estudios multidisciplinares sobre  
la construcción en tierra desde  
la prehistoria hasta nuestros días

---

SPAL MONOGRAFÍAS ARQUEOLOGÍA

Nº XLVIII

---



Sevilla 2022

Colección: Spal Monografías Arqueología  
Núm.: XLVIII

COMITÉ EDITORIAL:

Araceli López Serena  
(Directora de la Editorial Universidad de Sevilla)  
Elena Leal Abad  
(Subdirectora)

Concepción Barrero Rodríguez  
Rafael Fernández Chacón  
María Gracia García Martín  
María del Pópulo Pablo-Romero Gil-Delgado  
Manuel Padilla Cruz  
Marta Palenque  
María Eugenia Petit-Breuilh Sepúlveda  
José-Leonardo Ruiz Sánchez  
Antonio Tejedor Cabrera

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación, sin permiso escrito de la Editorial Universidad de Sevilla.

Esta publicación es parte de los proyectos de I+D+i: *La construcción en el Valle del Guadalquivir en época romana. Tradición e innovación en las soluciones arquitectónicas y los procesos tecnológicos, económicos y productivos (TradE)* (HAR2015-64392-C4-4-P), *La logística en la ciudad romana. ¿Una economía circular? Circ-E* (PID2020-114349GB-I00), financiados por MCIN/AEI/10.13039/501100011033, y *Estudio, intervención y recuperación de la construcción con tierra en la Baja Andalucía (crudUS)* (US-1381493), financiado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y la Consejería de Transformación Económica, Industria, Conocimiento y Universidades de la Junta de Andalucía, dentro del Programa Operativo FEDER 2014-2020.



FONDO EUROPEO DE  
DESARROLLO REGIONAL  
Una manera de hacer Europa

Unión Europea



Diseño de cubierta, ilustraciones interiores de portadillas y póster:  
María del Mar Camacho Muriel «La Mari».

© Editorial Universidad de Sevilla 2022

c/ Porvenir, 27-41013 Sevilla.

Tlfs.: 954 487 447; 954 487 451; Fax: 954 487 443

Correo electrónico: eus4@us.es

Web: <https://editorial.us.es>

© Oliva Rodríguez Gutiérrez y Arturo Jiménez Viera, coordinadores 2022

© De los textos, los autores 2022

Impreso en papel ecológico

Impreso en España-Printed in Spain

ISBN 978-84-472-2377-0

Depósito Legal: SE 2491-2022

Maquetación: Intergraf

Impresión: Masquelibros

# Índice

Presentación. La construcción con tierra: un laboratorio interdisciplinar	
OLIVA RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ y ARTURO JIMÉNEZ VIERA .....	11
<b>BLOQUE I: CASOS DE ESTUDIO EN YACIMIENTOS ARQUEOLÓGICOS</b>	
Consideraciones sobre las estructuras de adobe y su conservación en el templo de Millones de Años de Tutmosis III	
MYRIAM SECO ÁLVAREZ, JAVIER MARTÍNEZ BABÓN y AGUSTÍN GAMARRA CAMPUZANO .....	17
Adobes para la «Puerta de los Dioses», la construcción de estructuras defensivas en Babilonia a mediados del I milenio a.C.	
ROCÍO DA RIVA .....	27
La construcción con tierra en edificios sagrados y profanos en el mundo colonial fenicio. El santuario de El Carambolo	
ÁLVARO FERNÁNDEZ FLORES y ARACELI RODRÍGUEZ AZOGUE.....	41
«Construyendo Tarteso»: un proyecto multidisciplinar para abordar el conocimiento de Tarteso a través de la arquitectura de tierra	
ESTHER RODRÍGUEZ GONZÁLEZ y SEBASTIÁN CELESTINO PÉREZ .....	59
Arquitectura en tierra de Giribaile (Vilches, Jaén). Los ladrillos conformados en frío del Área 11	
LUIS MARÍA GUTIÉRREZ SOLER, ANTONIO JESÚS ORTIZ VILLAREJO y FRANCISCO ANTONIO CORPAS IGLESIAS .....	79

Primeros avances sobre la construcción en tierra en  
el yacimiento arqueológico de Cerro Macareno  
(La Rinconada, Sevilla)

FRANCISCO JOSÉ GARCÍA FERNÁNDEZ, ANTONIO M. SÁEZ ROMERO y  
LIVIA TIRABASSI..... 91

Tradicón e innovación. Evidencias de uso de la tierra cruda  
en la construcción romana en el Valle del Guadalquivir

OLIVA RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ ..... 115

BLOQUE II: CARACTERIZACIÓN ARQUEOMÉTRICA,  
ENSAYOS TÉCNICOS Y PROTOCOLOS DE  
ACTUACIÓN SOBRE TIERRA CRUDA Y OTROS  
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN ANTIGUA

La conservación de fábricas de tapia. Ensayos y criterios  
de control e intervención

JACINTO CANIVELL, ANA GONZÁLEZ SERRANO y  
REYES RODRÍGUEZ GARCÍA ..... 137

Aspectos estructurales de construcciones de tierra.  
Caracterización e inspección mediante ensayos mecánicos  
y ensayos no destructivos

MARIO SOLÍS MUÑOZ y JOSÉ DANIEL RODRÍGUEZ MARISCAL ..... 163

Evaluación de la resistencia mecánica de morteros  
de tierra cruda estabilizados con gomas obtenidas  
de plantas de la familia *cactaceae*

OLGA MARÍA MEDINA LORENTE y BEGOÑA CARRASCOSA MOLINER..... 177

Metodología práctica para la selección de suelos y fibras  
vegetales en la construcción con adobe y tapia

ARTURO JIMÉNEZ VIERA ..... 187

Caracterización arqueométrica del mortero del teatro  
y del anfiteatro romanos de Mérida

MARÍA ISABEL MOTA LÓPEZ, ANTONIO PIZZO, RAFAEL FORT GONZÁLEZ  
y MÓNICA ÁLVAREZ DE BUERGO ..... 205

Datación de morteros mediante radiocarbono

FRANCISCO JAVIER SANTOS ARÉVALO..... 219

**BLOQUE III: EL PRESENTE DE LA CONSTRUCCIÓN  
EN TIERRA: ARQUITECTURA VERNÁCULA  
Y PROYECTOS EXPERIMENTALES**

El Ecomuseo del río Caicena en Almedinilla: miscelánea de los trabajos de etnoarqueología y restauración de las construcciones de tierra en el poblado ibérico del Cerro de la Cruz (Almedinilla-Córdoba)	231
IGNACIO MUÑIZ JAÉN .....	
La arquitectura vernácula en los entramados patrimoniales	245
ANICETO DELGADO MÉNDEZ .....	
El sistema constructivo de la tapia en los molinos aceiteros históricos de Écija: aproximación descriptiva y gráfica	261
JORGE MOYA MUÑOZ .....	
<i>Jugando con el barro: arqueología experimental en torno a la construcción en tapia y adobe desde época antigua hasta nuestros días</i>	277
OLIVA RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ, FRANCISCO JOSÉ GARCÍA FERNÁNDEZ, ARTURO JIMÉNEZ VIERA, JORGE MOYA MUÑOZ, JACINTO CANIVELL, EDUARDO FERRER ALBELDA, REYES RODRÍGUEZ GARCÍA, JOSÉ LUIS ESCACENA CARRASCO, MIGUEL ÁNGEL TABALES RODRÍGUEZ y ANA GONZÁLEZ SERRANO .....	
Los autores .....	293





Editorial Universidad de Sevilla

Not for distribution or sale.

# La conservación de fábricas de tapia. Ensayos y criterios de control e intervención

Jacinto Canivell\*

Ana González Serrano\*\*

Reyes Rodríguez García\*\*

## 1. INTRODUCCIÓN

El patrimonio cultural construido en tierra está representado por una variada arquitectura en todo el territorio español y especialmente en Andalucía. Las técnicas constructivas que usan la tierra como materia prima, con las que se han levantado cientos de edificaciones, dependen de la zona geográfica y climatología del territorio (tapia, adobe, entramado, pared de mano -cob-, paredes tejidas enlucidas de barro y sus variantes -bahareque, quincha, etc.-; IPCE 2017). Cabe pues contextualizar la temática tanto a nivel territorial como en lo tecnológico, ya que existen numerosos documentos para todas ellas, tales como cartas de recomendaciones y criterios de intervención, pero cada técnica debe emplear una determinada dosificación de materiales, condiciones de ejecución, variantes de diseño y configuraciones constructivas diferentes, por lo que se requieren estudios específicos y particularizados.

Este trabajo se centrará exclusivamente en la técnica de la tapia, empleada en la arquitectura doméstica y militar de nuestro contexto territorial andaluz. La tapia es un tipo de técnica de construcción con la que se construyen muros monolíticos, de cierto espesor, mediante la compactación sucesiva de tierra por tongadas. De esta manera se levantan «tapiadas»<sup>1</sup>, que tanto a lo largo como en altura permiten conformar un muro o lienzo de grandes dimensiones. Son diversas las configuraciones históricas de las tapias en función de la combinación de sus componentes (áridos, cal, etc.), de la disposición de refuerzos que mejoran su comportamiento mecánico, por las que se definen varios formatos publicados desde hace más de dos décadas por Maldonado Ramos y Vela Cossío (2001) (fig. 1) y posteriormente bien analizados por Graciani y Tabales (2008), Proyecto Restapia (2012), Canivell y Graciani (2015).

La variedad de tipos de muros de tapia existentes posibilita establecer una clasificación cronológica siguiendo las pautas establecidas en diferentes

\* Escuela Técnica Superior de Edificación. Universidad de Sevilla

\*\* Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad de Sevilla

1. Se denomina «tapiada» al sólido de muro que se consolida dentro del tapial, es decir, del encofrado conformado para la contención y compactación de las tongadas de tierra. De esta manera se recrece el muro por continuidad y superposición de tapiadas, que generalmente se traban entre sí en sentido vertical (Font Mezquita e Hidalgo 2009).

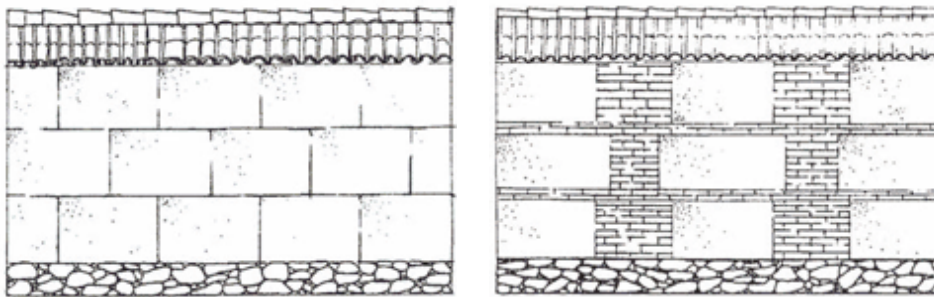


Figura 1. Esquemas gráficos de tipologías de tapias: simple ordinaria (A) y mixta con verdegadas y pilastras de refuerzo con ladrillos (B). Fuente: Maldonado Ramos y Vela Cossío (2001)

momentos históricos. Solo en la provincia de Sevilla, tal como representan Graciani y Tabales (2008), se pueden identificar fábricas mixtas que permiten datar edificaciones según la disposición de las verdegadas (con hiladas de ladrillos) o los refuerzos estructurales en esquinas o alrededor de huecos (con ladrillos y/o piedras naturales) (fig. 2). Estas combinaciones de tipos se han empleado en edificaciones militares y civiles y permiten entender los modos de hacer tradicionales, los usos y los aprovechamientos de los recursos disponibles.

Con objeto de delimitar el ámbito de aplicación e intervención, nos centraremos en las edificaciones militares construidas con tapia, que conforman un grupo singular, muy abundante en gran parte de la Península Ibérica, y perteneciente a la horquilla temporal de los siglos XI al XV, principalmente.

En general, dentro de un mismo ámbito territorial, las particularidades de una serie de fábricas

de tapia de edificaciones defensivas están sujetas a parámetros similares. Si se estudian algunos casos en el área de Andalucía occidental (fig. 3), se identifican muros de gran espesor que se adaptaban de forma favorable a las innovaciones tecnológicas que significaron los denominados encofrados islámicos (fig. 4.A). Estos tapias sustitúan la aguja pasante, que se recuperaba normalmente, por dos medias agujas ancladas a la masa con clavos de madera consiguiendo mantener el costal sobre cada una de ellas y fijar la posición de los tableros que formaban encofrados corridos que mejoraban la producción de la obra. Además, en vez del codal de la tapia doméstica tradicional (fig. 4.B), se colocan puntales dispuestos en el interior del encofrado.

Al ser consideradas estas edificaciones militares como Bienes de Interés Cultural, durante las últimas décadas han sido objeto de numerosas intervenciones. A modo de ejemplo, se resaltan algunas

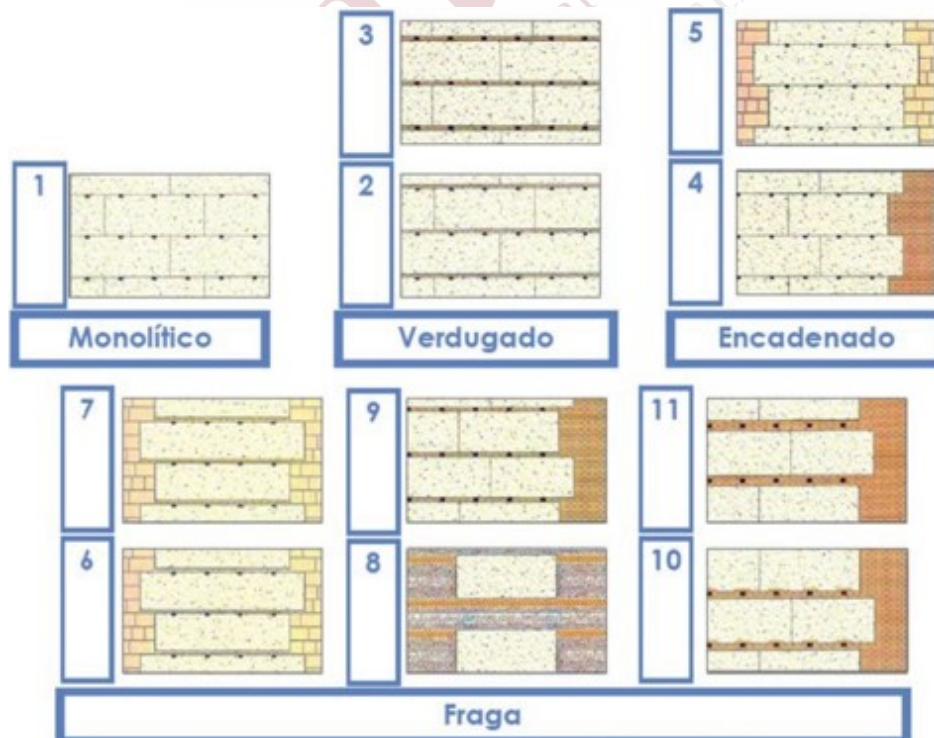


Figura 2. Tipologías históricas de tapias en la provincia de Sevilla, a partir de Graciani y Tabales (2008)



Figura 3. Localizaciones citadas en el texto. 1. Muralla de Niebla (Huelva); 2. Muralla de Sevilla; 3. Alhambra, Murallas del Albaicín (Granada); 4. Muralla de Baena (Córdoba); 5. Torre Bofilla (Bétera, Valencia); 6. Castell Vell, Castillo de Oropesa de Mar (Castellón); 7. Muralla de las Verónicas (Murcia); 8. Castillo de Monteagudo (Murcia); 9. Castillo de Paderne (Portugal); 10. Vivienda de Odemira (Portugal); 11. Alcázar del Rey Don Pedro (Carmona, Sevilla); 12. Murallas del Cerro de San Cristóbal (Almería) (Elaboración propia)

acciones llevadas a cabo para la recuperación y puesta en valor de fortificaciones. Uno de los primeros trabajos contemporáneos de restauración correspondió a la Muralla de Niebla (Huelva) (fig. 3.1) (Guarner 1983), a principios de la década de los 80 del siglo XX y casi simultáneamente en la Muralla de Sevilla (fig. 3.2) (Cabeza Méndez 1993; García-Tapial y Cabeza Méndez 1989). Ambas marcaron las primeras pautas y criterios técnicos, que con el tiempo se han demostrado menos eficaces, pero de los que se sacaron interesantes conclusiones como la de evitar el empleo de materiales incompatibles que, a largo plazo, supusieran daños mayores en el patrimonio. Más recientemente, en la Torre Bofilla (Bétera, Valencia) (fig. 3.5) (Vegas *et al.* 2014) o en el Castillo de Baena (Córdoba) (fig. 3.4) (López Osorio 2012b) se han llevado a cabo otras intervenciones que emplean unos criterios técnicos más contrastados y asentados y demuestran los resultados positivos de

la aplicación práctica de los saberes científico-técnicos desarrollados en las últimas décadas para el caso específico de las tapias. Los criterios arquitectónicos para la intervención en el patrimonio son muy diversos en virtud de la gran casuística, como ha sido discutido ya por diversos autores (Mileto *et al.* 2011; Graciani y Canivell 2014), por lo que no es posible alcanzar un consenso único. Sin embargo, en cuanto a la adecuación de las técnicas de intervención, los estudios previos sobre los procesos patológicos (Canivell *et al.* 2020) y sobre los mismos materiales (Martín del Río *et al.* 2018; Ontiveros Ortega *et al.* 1999; Mota-López *et al.* 2021; Martín del Río *et al.* 2021), han arrojado luz acerca de las soluciones técnicas más compatibles e incluso reversibles para intervenir con seguridad en las fábricas de tapia.

Este trabajo subraya la importancia de realizar estudios previos de recopilación de datos históricos,

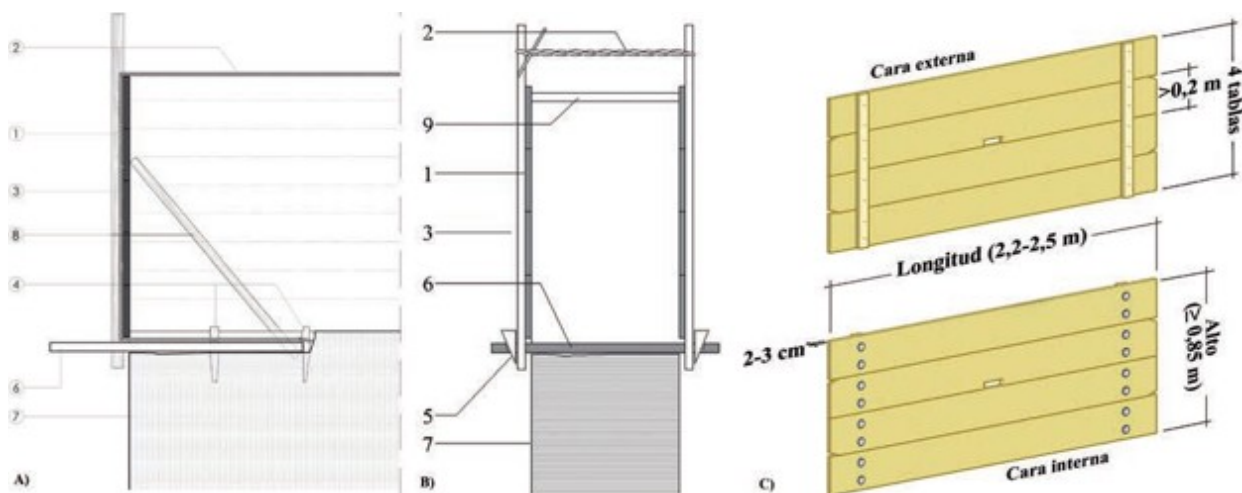


Figura 4. Comparación entre una sección tipo de un muro de tapia militar propuesto por López Osorio (2012a, 30) (A) y otro tradicional (B) tal y como proponen Doat, Hays, Houben, Matuk y Vitoux (1991). Propuesta de tapias (C) por Canivell y Graciani (2015). Referencias: 1. Encofrado; 2. Cuerdas; 3. Costal; 4. Clavos; 5. Cuña; 6. Aguja; 7. Tapia; 8. Puntal; 9. Codal

así como la necesidad de identificar las características artístico-estilísticas y constructivas de la arquitectura de tapia. Se insistirá asimismo en la conveniencia de caracterizar y reconocer la materia prima empleada y los componentes que constituyen la tapia existente, así como de realiza controles y ensayos de estos antes y durante las obras de intervención. Por ello, se ofrece un guion básico y estructurado para la adaptación de las estrategias y enfoques de intervención patrimonial hacia las especificidades de las técnicas de construcción con tierra.

## 2. PROTOCOLO INTEGRAL DE EVALUACIÓN PARA LA CONSERVACIÓN

En el contexto de la conservación, restauración o restitución de los elementos en edificios existentes de tierra, lo importante es que no se apliquen técnicas y/o materiales ajenos que provoquen incompatibilidades con lo preexistente o distorsionen el concepto constructivo o lenguaje arquitectónico o cultural que tenía el original. Para ello se puede, y es necesario, establecer un protocolo básico de protección y conservación con procedimientos experimentados y controles técnicos a lo largo de la ejecución de la intervención.

El proceso de control en la intervención cuenta con diferentes fases a desarrollar que se sintetizan en el siguiente esquema (fig. 5).

Los estudios previos (fase 1) son el punto de partida de cualquier intervención en inmuebles y más si se trata de bienes culturales. Los datos iniciales permiten recabar información suficiente sobre el objeto

de estudio mediante la consulta de diversas fuentes documentales, históricas, archivísticas o legales, así como de muestras *in situ* para la caracterización de los materiales. Es necesario localizar la edificación, realizar una identificación del medio (topografía, emplazamiento, datos urbanísticos) y reconocer aspectos administrativos y de carácter patrimonial, tales como el marco histórico cultural y el económico; además, conocer qué tipo de catalogación patrimonial y nivel de protección se determina para el objeto de estudio, dada la fecha de construcción y posibles intervenciones previas destacables por modificaciones, deterioro o sustitución de elementos constructivos. En consecuencia, se analizan las técnicas constructivas empleadas en paralelo a la implementación de un plan de inspección de la edificación para identificar y analizar lesiones y factores de riesgo, con el objeto de elaborar una completa documentación gráfica (fig. 6) para redactar un informe completo del estado de conservación.

Como resultado del proceso secuencial de acciones a realizar para la conservación de un edificio de tapia, se debe considerar que las construcciones han sido reparadas y/o reutilizadas en cualquier periodo histórico, tal y como hoy en día se procede con la arquitectura contemporánea. De hecho, las técnicas y criterios empleados fueron diseñados para cada tipo de técnica de construcción y adecuados para los materiales empleados. Es también sabido que, para el caso de las construcciones del pasado que han llegado a nuestros días, muchos de los oficios de la construcción asociados se han perdido e incluso la tradición del empleo de sus materiales. Por lo tanto, las nuevas sociedades han tenido que rescatar los procedimientos

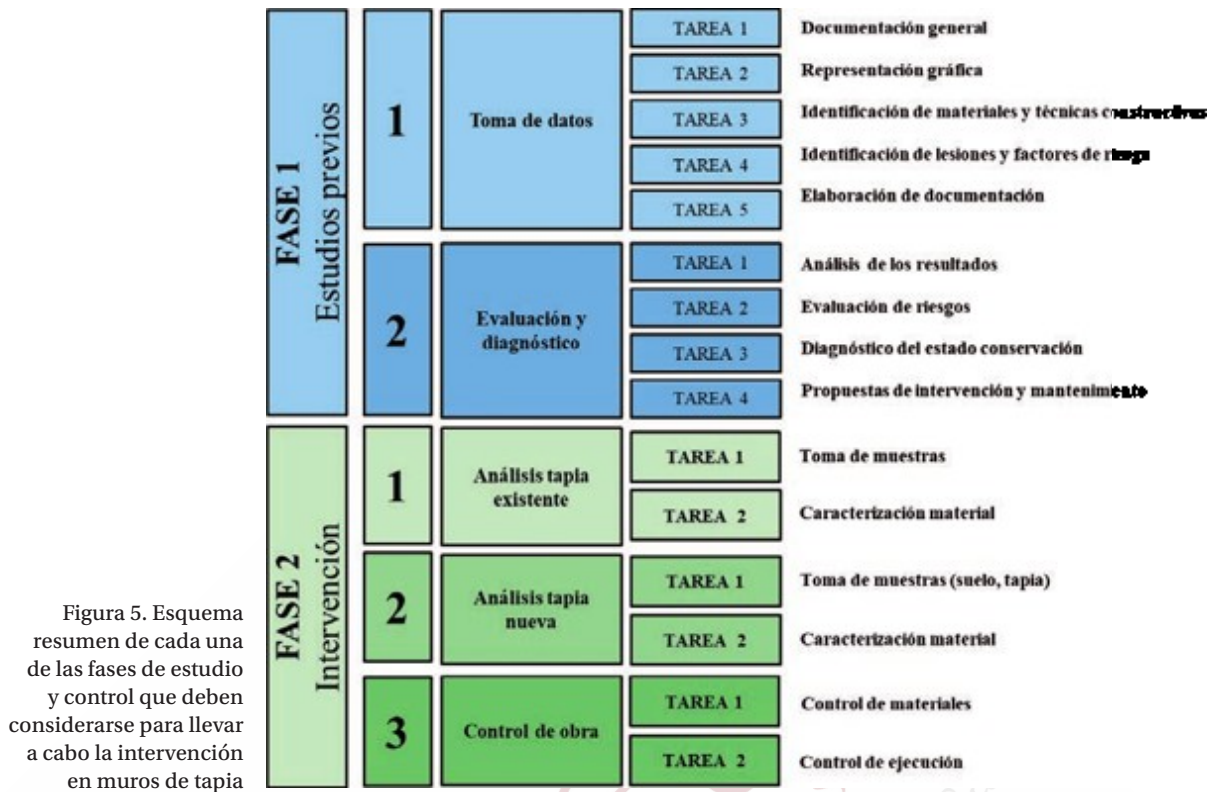


Figura 5. Esquema resumen de cada una de las fases de estudio y control que deben considerarse para llevar a cabo la intervención en muros de tapia

olvidados y aprender de los errores cometidos y, al mismo tiempo, han avanzado en el conocimiento de materiales y técnicas gracias al perfeccionamiento de pruebas o ensayos de caracterización ayudados por la innovación tecnológica. El patrimonio arquitectónico construido con tapia no ha sido una excepción en este fenómeno. Por el contrario, su naturaleza más frágil en condiciones de bajo o nulo mantenimiento, lo han convertido en un objeto con alto riesgo de degradación que necesita criterios acertados a la hora de intervenir en ellos (Garrido-Manrique *et al.* 2019; Richards *et al.* 2020; Canivell *et al.* 2020).

Por ello, creemos importante centrar la atención en los aspectos analíticos y experimentales para la caracterización material de las tapias, que queda encuadrada tanto en la fase 1 de estudios previos como durante la intervención. El proceso de control y caracterización de los materiales requiere su concreción y validación durante la fase de intervención, ya que condiciona, la mayoría de las veces, las acciones y decisiones a tomar. En este caso resulta imprescindible llevar a cabo, mediante las pruebas de campo y ensayos de laboratorio, la evaluación de la calidad, la determinación de propiedades y composición del material de la edificación existente para ajustar el tipo, calidad, composición y cantidad de los nuevos materiales a incorporar para la conservación, restitución o recrecido de las tapias.

Una vez recabados todos los datos históricos, legales, arquitectónicos, constructivos y materiales se procede en una segunda instancia a su análisis particular y transversal con la finalidad de diseñar las mejores estrategias para la conservación del bien patrimonial. Los procesos patológicos, los riesgos detectados y las circunstancias físicas y legales particulares permitirán definir las propuestas finales de intervención, que se desplegarán durante la siguiente fase enfocada en la ejecución material y el control de obra (fig. 5, fase 2).

En el siguiente apartado se exponen sintéticamente las pruebas de campo que se deben realizar a pie de obra y una descripción de los ensayos de laboratorio que permiten la caracterización material y control de la respuesta de la tapia antes (fig. 5, fase 1) y durante del proceso de intervención (fig. 5, fase 2).

### 3. ENSAYOS PARA LA EVALUACIÓN Y CONTROL

Las pruebas básicas que pueden realizarse *in situ* o con materiales cercanos a la obra del propio inmueble permiten caracterizar inicialmente, y a grandes rasgos, los posibles materiales compositivos de las tapias y evaluar la respuesta inmediata frente a la cohesión de la masa o su capacidad de retracción debido a la regulación de sus componentes. En

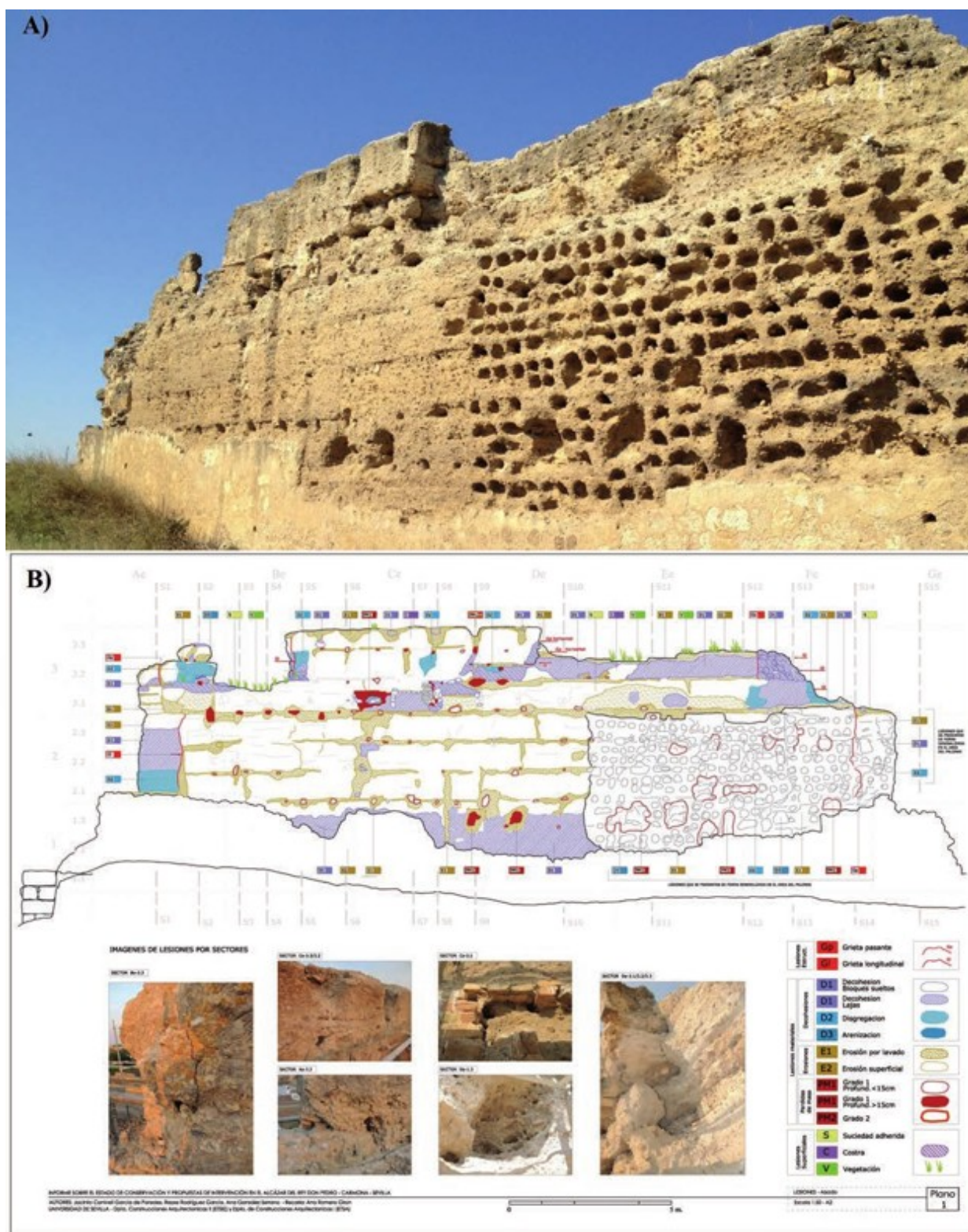


Figura 6. Ejemplo de planimetría de informe pericial del estado de conservación de lienzo de muralla del Alcázar de Rey Don Pedro en Carmona (Sevilla), donde se muestran fotografías generales (A) y toda la sintomatología patológica (B)

cambio, los ensayos de laboratorio son precisos para obtener con mayor fiabilidad la caracterización material tanto de la tapia antigua como de la nueva si

fuera el caso. Para ello, en este apartado se diferencian los ensayos específicos para la identificación químico-mineral de los suelos, como componentes

principales en la dosificación de las tapias, de los ensayos que permiten un análisis físico, mecánico, hídrico y de durabilidad que aportan valores concretos y de referencia para el correcto diseño y control de la intervención.

Cabe destacar en este sentido que en España el marco normativo que pueda servir de referencia o regule este tipo de construcciones está aún en desarrollo. No existen normativas específicas para tapias. La formalización y la redacción de unos principios aceptados a nivel internacional sobre la conservación y restauración del patrimonio cultural están establecidos en textos de recomendaciones redactados por la Unesco. Esto permite adoptar unos principios directores que no tienen carácter obligatorio, pero que suelen influir en las leyes nacionales y declaraciones que plantean principios universales (Ontiveros Ortega 2006). Por todo ello, a continuación se describen brevemente las diferentes pruebas y ensayos de laboratorio que permiten caracterizar las tapias, basándose en acciones empíricas como son las pruebas de campo (*vid.* también Jiménez Viera en el presente volumen) y las normativas de referencia aludidas a morteros y hormigón principalmente, hasta que se pueda contar con una definitiva norma para la tapia.

### 3.1. Pruebas de campo

Las pruebas de campo sirven para evaluar de forma sencilla y rápida la calidad del tipo de suelo a usar en la obra o para constatar las características y respuesta de los componentes de la tierra empleada en la tapia. La primera acción consiste en una inspección visual que permite decidir de dónde se obtienen pequeñas muestras de suelo para, posteriormente, realizar un rápido análisis de caracterización de resultados fácilmente visibles. Para la realización de estas pruebas se analiza la parte más fina de la granulometría, para lo que se eliminan los áridos mayores de 4 mm (arenas gruesas y gravas). En la literatura especializada se propone una gran variedad de pruebas de campo (Martins Neves *et al.* 2009), aunque en esta ocasión se exponen una selección de las pruebas básicas que se consideran más específicas para tapias, de forma sintética y a modo de breve resumen con comentarios.

#### 3.1.1. Identificación de tipos de suelos

Antes que nada, para seleccionar los suelos, se procede a separar la cantidad de tierra (entre 0,5-1 kg)

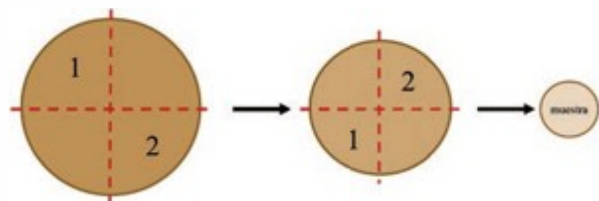


Figura 7. Vista de diferentes tipos de suelos extraídos de canteras cercanas a la ciudad de Sevilla (sup.). Secuencia para un cuarteo de la muestra (inf.)

mediante cuarteo sobre una bandeja o superficie horizontal para obtener las muestras que permitan realizar las pruebas. Tal como ilustra la figura 7, la secuencia consiste en dividir en cuatro partes iguales la muestra inicial, tomar y mezclar las partes opuestas y formar una nueva masa y repetir esta operación hasta alcanzar la cantidad requerida de muestra. De esta forma se pueden realizar pruebas organolépticas para evaluar tanto el olor como el color (que suele ser en general de la gama cromática de los ocre, rojizos o grisáceos) y el brillo que tiene un suelo. También mediante el uso del tacto se puede valorar el mayor contenido de arcillas y finos (si mancha las yemas de los dedos) o de arenas según su rugosidad, que está directamente relacionada con la granulometría y el grado de cohesividad del suelo.

#### 3.1.2. Evaluación de la consistencia y cohesión

Con una porción de muestra pequeña, unos  $\pm 100$  g de masa amasada con agua, se puede evaluar la resistencia seca del suelo y realizar la prueba de la bola. Estos procedimientos permiten analizar la cohesión del suelo, que se trabaja en forma de rollitos, galleta (fig. 8) o bola; se dejan secar al aire para evaluar su resistencia a la rotura. En la tabla 1 se describen los criterios generales de análisis para la interpretación de los resultados de esta prueba.



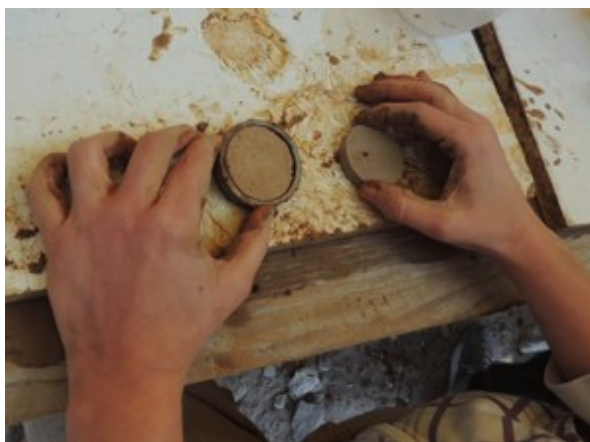


Figura 8. Imagen superior y central: proceso de amasado y preparación de muestras en formato de bolas y galletas. Inferior: prueba de caída de la bola

### 3.1.3. Evaluación de la plasticidad y retención de agua

Mediante la prueba de exudación o golpeo de una porción de masa se analiza la respuesta a la plasticidad y retención de agua que tiene la muestra. Para evaluar la respuesta del suelo hay que amasar esta previamente con las manos. Con esa misma muestra se realizan cintas y rollos finos de aproximadamente 2 cm de largo y 25 mm de diámetro o ancho (fig. 9). A continuación se puede valorar qué longitud de la cinta o del rollo se sostiene en el vacío sin romperse (ideal 80 a 120 mm), acercándolo a un borde de superficie plana. Si supera los 150 mm contiene demasiada agua, y si se parte antes, estaría demasiado seca.

## 3.2. Ensayos de laboratorio

Como punto de partida, hay que distinguir las pruebas que en el laboratorio permiten la identificación de los componentes básicos del suelo mediante sencillos procesos de pesado y decantación de componentes, de los ensayos con procedimientos específicos que suponen la caracterización mediante su análisis físico, químico, mecánico.

Los valores y datos obtenidos en la fase experimental resultan fundamentales a considerar para la ejecución de tapias. Por todo ello, en los siguientes apartados se presentan ordenados los diferentes tipos de pruebas y ensayos de laboratorio, con una breve descripción de conceptos relevantes a considerar para su realización y aplicación de resultados en intervenciones en tapias.

### 3.2.1. Análisis de componentes del suelo

En primera instancia, se muestran procedimientos sencillos que permiten definir la cantidad de agua, aire o residuos orgánicos o solubles que contiene un suelo tomando una pequeña muestra de control (tabla 2). Mediante tareas simples, y con poco instrumental, se puede evaluar y caracterizar rápidamente los componentes de diversos suelos para obtener valores orientativos que permitan realizar una comparación entre muestras de diferentes tipos y ayudar a su selección o descarte.

Una vez seleccionadas las muestras de suelo a ensayar, la caracterización mineralógica y química resulta relevante para cuantificar no solo componentes, sino también para establecer pautas de dosificación de la masa de una tapia de acuerdo con la presencia, en mayor o menor porcentaje, de determinados componentes (e.g. arcillas o carbonatos cálcicos).

### 3.2.2. Análisis mineralógico y químico

A continuación, se detallan los ensayos con los que se caracterizan microscópicamente los suelos, obteniendo datos tanto de su mineralogía como de su composición química (tabla 3). En los suelos que son aptos para tapias, las arcillas están presentes en un porcentaje aproximado que varía entre el 15 y el 25 % de su composición. Es importante conocer el tipo y cantidad de arcilla y de otros minerales, como la calcita, ya que los valores obtenidos permiten ajustar la dosificación final de la masa o brindan datos que, finalmente, pueden ser de referencia en el análisis de la conservación de las tapias, por ejemplo, frente a reacciones o incompatibilidades químicas cuando existen eflorescencias o disgregaciones de masa.

Finalmente, para valorar factores que influyen directamente en las decisiones técnicas durante la ejecución y control de la tapia, es necesario la caracterización del suelo a nivel macroscópico y evaluar la respuesta mecánica y de durabilidad de las muestras o probetas que se preparan con la misma dosificación de la tapia. Cabe sumar, además, la valoración de su comportamiento a la permeabilidad al vapor de agua o su capacidad de absorción o succión de agua por capilaridad y las consecuentes resistencias a la erosión o abrasión que influyen tanto en la conservación de un muro. Para todo ello, en los siguientes apartados se describen los principales ensayos a tener en cuenta para el análisis físico, mecánico e hídrico de las tapias.

### 3.2.3. Análisis físico

Los ensayos que se realizan en laboratorio para la caracterización de los componentes del suelo que se emplea en la tapia consideran parámetros identificativos regidos por normativa específica y según métodos ingenieriles. Por ello el análisis físico de esos componentes contribuye a identificar el tipo y tamaño de los granos, la densidad de la masa y su grado de trabajabilidad (fig. 10). En la tabla 4 se resumen los ensayos y, cuando existe, la norma que sirve de referencia para establecer un procedimiento experimental.

### 3.2.4. Análisis mecánico

Los valores de resistencias a compresión o flexión se definen siguiendo métodos regidos por las normativas aplicadas a elementos constructivos de hormigón. Por eso, en todos los ensayos, para comprobar

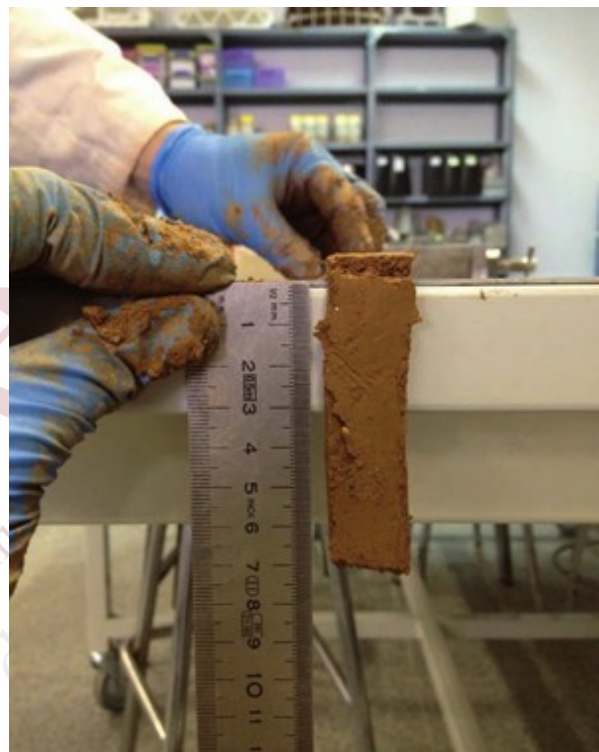


Figura 9. Preparación y amasado de muestras de suelos con diferentes dosificaciones de agua evaluando su exudación. Central: Prueba de la cinta y medición de muestra en zona de corte. Inferior: prueba del rollo



Figura 10. Ensayos de caracterización física de suelos realizados en los laboratorios de ETSIE y ETSA, Universidad de Sevilla. Fila superior: Granulometría. Central: Límite líquido con cuchara de Casagrande. Inferior: Densificación, método Proctor.

y validar valores de resistencias mecánicas es necesario preparar probetas que suelen ser de formato 4x4x16 cm o mayores (10x10x20, 15x15x25 cm) (fig. 11). Como los ensayos de compacidad y resistencia al impacto o índice de rebote son complementarios y no son destructivos, se deben realizar una vez que las probetas están curadas y endurecidas (después de los 28 días). Sobre todo cuando se dispone de una cantidad reducida de probetas, se puede aprovechar las mismas piezas para luego hacer ensayos de compresión (tabla 5). Solo las probetas prismáticas de 4x4x16 cm se pueden aprovechar para hacer inicialmente ensayos de flexión y luego usar las mitades resultantes para evaluar la resistencia a compresión.

### 3.2.5. Análisis hídrico y de durabilidad

Los ensayos para definir la respuesta a la acción del agua sobre las probetas de tapia también siguen métodos regidos por las normativas aplicadas a elementos constructivos pétreos, naturales o artificiales como el hormigón. Por eso, también para este tipo de pruebas tal como se ha descrito para los ensayos mecánicos, es necesario elaborar probetas que se dejan curar, secar y endurecer. Los formatos suelen ser similares también (cúbicos, cilíndricos de dimensiones variables o de formato prismático de 4x4x16 cm) (fig. 12). También se realizan pruebas de respuesta hídrica directamente sobre la superficie de un muro o muestras preparadas para tal fin (fig. 13). Los ensayos no están normalizados, por lo que se realizan más frecuentemente los que se detallan en la tabla 6.

## 4. CRITERIOS DE INTERVENCIÓN

En todo proceso de actuación sobre muros de tapia es crucial analizar y definir los criterios para su correcta conservación e interpretación arquitectónica. A continuación, se ofrecerá una visión global sobre los criterios y técnicas de intervención normalmente empleadas, que se complementarían con las fases previas de pruebas de campo y se llevarían a cabo en paralelo o a continuación de los ensayos de laboratorio. Por ello, se abordarán desde el sentido de la intervención material de las estructuras, sin entrar en otros criterios arquitectónicos generales. Todas las ideas expuestas pretenden, por lo tanto, garantizar la conservación de las estructuras y son susceptibles de aparecer en distintos grados o combinadas, según las estrategias de conservación patrimonial asimiladas.

Para establecer un orden claro entre todos los criterios abordados, se han clasificado en criterios de intervención para la restitución y para la conservación.

### 4.1. Restitución de tapia

Como restitución de la tapia se entiende el procedimiento por el cual se recupera la volumetría original después de haber sufrido pérdidas de masa de diferente calado (fig. 14). Las causas son muy variadas, pudiendo originarse por una erosión física, química, y agravado por la pérdida de cohesión, debido normalmente al exceso de humedad en el muro o a la acción de las sales solubles. En general, las pérdidas de masa no suelen estar originadas por una sola causa, sino por la concatenación de un conjunto. Por lo tanto, establecer la jerarquía de estas es crucial a la hora de plantear la solución técnica más apropiada. Las técnicas descritas a continuación podrán combinarse en caso necesario con otras soluciones preventivas o correctoras con el fin de abarcar todas las causas.

Existen dos maneras generales de aproximarse al problema de la restitución y dependen del grado de pérdida de masa del soporte original, entre otras cuestiones. Así, diferenciamos entre la restitución a dos caras y a una cara, cuyas técnicas y soluciones específicas son totalmente diferentes.

Se puede considerar la aplicación de la técnica a dos caras cuando el volumen perdido de tapia abarca las dos caras del muro, afectando a una o varias hiladas. Esta primera opción, aunque suele involucrar la ejecución de más volumen de tapia, supone un reto técnico más sencillo, ya que se aplican los principios básicos del sistema de los encofrados militares. Por lo tanto, al tratarse de fábricas encofradas por ambas caras lo más usual es emplear un suelo compactado por medios mecánicos o manuales. La tendencia actual en conservación toma como referencia el ritmo de los hilos y de las agujas del paño original (fig. 15). Además, es frecuente establecer una diferencia visual con el paño original, bien por el empleo de una tonalidad distintiva y/o por la generación de una cara de terminación con un mínimo desfase. Como la tapia militar suele distinguirse por su potencia y gran volumen, pues alcanza espesores de más de 1 metro, obliga al diseño expreso de soluciones para la fijación y estabilización del sistema de encofrado. Algunos autores han optado por los diseños que reproducen con más o menos fidelidad el hipotético modelo constructivo medieval, basado en medias agujas, puntales y tensores interiores. Ejemplos podemos encontrar en

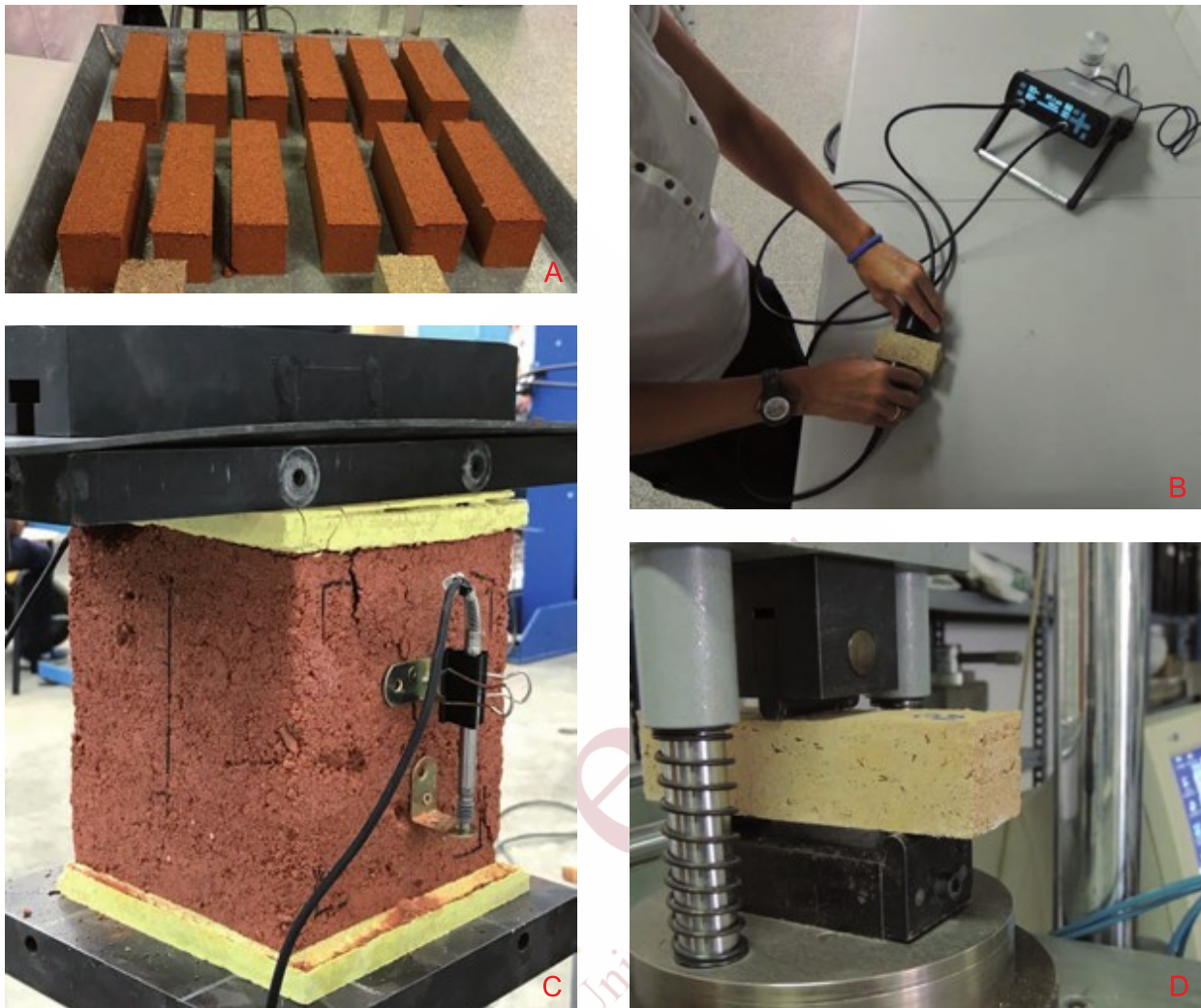


Figura 11. Ensayos de caracterización física de suelos realizados en los laboratorios de ETSIE y ETSA, Universidad de Sevilla. A) probetas curadas de 4x4x16 cm, B) medición de transmisión de ultrasonido, C) ensayo de resistencia a flexión en prensa, D) ensayo de resistencia a compresión (probeta cúbica)



Figura 12. Ensayos realizados en los laboratorios de la Universidad NOVA de Lisboa, Facultad de Ciencias y Tecnología (Gomes, Gonçalves y Faria 2016)

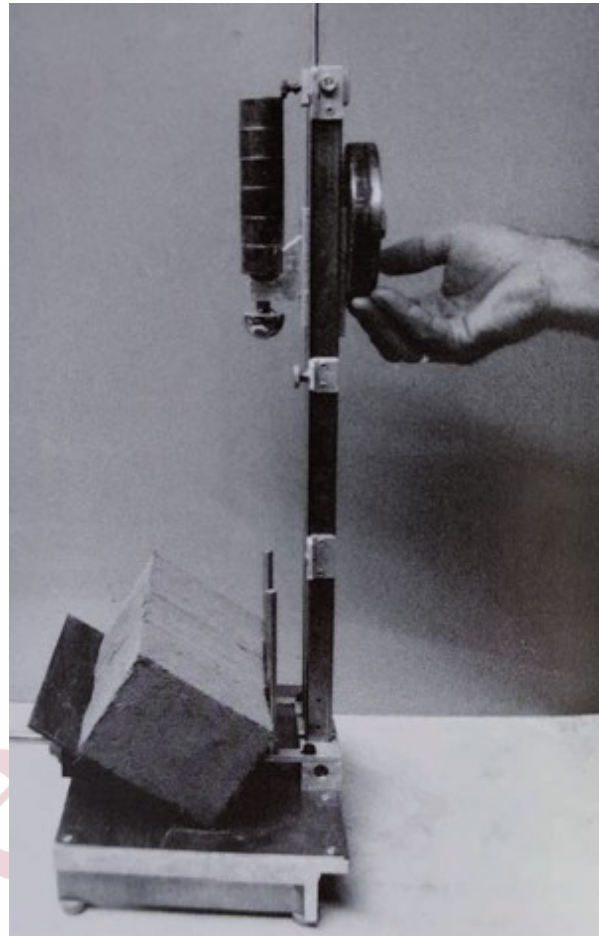
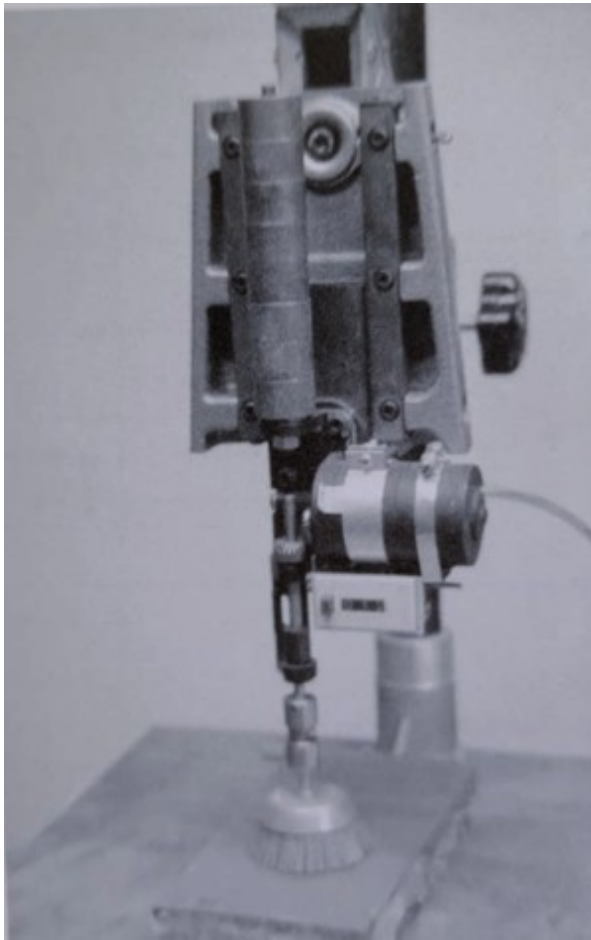


Figura 13. Ensayos de erosión acelerada y desgaste hídrico por goteo realizados en los laboratorios de LEHN en base a normativa NZS 4298:1998 (Minke 2006)

las intervenciones del Castell Vell de Castelló de la Plana o en el Castillo de Oropesa del Mar (fig. 3.6) (Font Mezquita 2012), ambas coordinadas por Fermín Font. Otros planteamientos, aunque menos frecuentes en el ámbito del patrimonio construido, se aproximan a modelos contemporáneos en los que se introducen tecnologías y soluciones modernas, como el uso parcial de los sistemas de encofrado para el hormigón o la compactación con pisones mecánicos.

En cuanto a las agujas, suelen emplearse reproducciones en madera con dimensiones similares (rectangulares, de sección 7x3 cm aproximadamente), que además siguen manteniendo su función de soporte para los tableros del encofrado. Otras veces se han empleado sistemas modernos adaptados de la tecnología de hormigón (Algorri 1994). Aunque tradicionalmente la aguja se cortaba una vez finalizado el muro, existen casos de intervención recientes que han optado por dejar evidencia física al exterior, como en los casos de la Muralla de las

Verónicas (fig. 3.7) o el Castillo de Monteagudo en Murcia (fig. 3.8) (López Martínez 1999) o en el Alcázar de Carmona, en Sevilla (figs. 3.11 y 16).

Desde la perspectiva del material de construcción, se suele emplear el conocido como hormigón de cal que se caracteriza por una granulometría de mayor tamaño y una proporción de cal que puede alcanzar el 20 % (Gurriarán Daza y Sáez Rodríguez 2002; Azuar 2005; Martín del Río *et al.* 2021). Otras veces se opta por reducir la cal empleando la técnica del calicostrado, que genera a la par del cajón una costra al exterior de un mortero rico en cal, quedando la tierra sin estabilizar protegida en el interior del muro. Estas son soluciones coherentes desde un punto de vista constructivo, ya que han sido extensamente documentadas en el patrimonio militar de tapia.

Cuando la tapia ha perdido su volumen por una de las caras obliga a planeamientos de partida más complejos, pues se limita la fijación del sistema de encofrado y se dificulta el apisonado. Normalmente,



Figura 14. Restitución parcial a una cara de los volúmenes perdidos de una torre y un lienzo de la Alcazaba de Reina (Badajoz)

se considera esta técnica cuando se parte de restituciones a partir de 30 cm, pues para espesores menores suelen implicar la aplicación de técnicas más similares a los revestimientos. Asimismo, la tapia trabaja a compresión y fundamentalmente con cargas verticales, por lo que es primordial que tenga una base firme de sustentación para la parte restituida. Por el contrario, como la adherencia y la conexión entre las masas existentes y las nuevas nunca será completa y la resistencia a cortante y flexión de la tapia es reducida (Bui *et al.* 2014; Barquer Sistach 2015), la estabilidad de la restitución a una cara recaerá fundamentalmente en el apoyo horizontal. Sin embargo, es frecuente que las caras erosionadas no presenten superficies apropiadas, por lo que es necesario proceder a la limpieza y tallado de apoyos horizontales (fig. 16A). Para mejorar la adherencia se han empleado conectores de piedra, madera tratada con creosota, varillas de fibra de vidrio o de acero inoxidable, o bien la misma irregularidad de las superficies puede suponer un agarre suficiente (fig. 16B). En ocasiones, el espesor a restituir es reducido y aunque se trate de altura completa de cajones, el apisonado es en la práctica imposible. Tal fue el caso de la Muralla de la Macarena (Sevilla) (fig. 3.2), donde se optó por una fábrica encofrada que fuera coherente con la

apariencia exterior de la tapia, para la que se empleó un vertido de un hormigón de cal ciclópeo en estado plástico sin una compactación dinámica.

En conclusión, vemos que la ejecución de una nueva tapia supone un cierto reto técnico, más aún cuando no se pueden eludir los requerimientos de un programa de actuación en el patrimonio arquitectónico. De hecho, históricamente se ha documentado el empleo de materiales muy diversos –ladrillos cocidos o morteros– para las distintas reparaciones en las cercas de las ciudades (Valor Piechotta 1999). Por este motivo, en lugar de emplear tapia nueva para restituir, es posible adoptar otra aproximación mediante materiales y/o técnicas alternativas. En cualquier caso, e independientemente de la estrategia patrimonial de la intervención, tanto la técnica como los materiales deben ser compatibles con las estructuras existentes, sin detrimento de la integridad física y estructural del conjunto restituido.

La proyección de tierra es una innovación reciente que facilita la puesta en obra de rellenos a una cara en zonas de difícil acceso. Puede ser aplicada por vía húmeda o seca, en función del soporte, y requiere la adaptación de la granulometría del árido empleado y la adición de ciertos aditivos que mejoran la consistencia. Teniendo en cuenta las



Figura 15. Restitución a dos caras en uno de los paños de la Torre del Homenaje del Alcázar del Rey Don Pedro de Carmona (Sevilla)

limitaciones y recomendaciones establecidas en la literatura (Fuentes-García, Valverde-Palacios y Valverde-Espinosa 2015), el resultado es una superficie homogénea de la misma tonalidad de la tapia original, pero con una textura más homogénea (fig. 17). Esta técnica ha sido empleada en el Castillo de Paderne (fig. 3.9) (Beirao 2005), en el Castillo de Monteagudo (Murcia) (López Martínez 1999) o en el Generalife de la Alhambra (fig. 3.3), con resultados preliminares positivos, aunque cuestiones como la adherencia sobre el soporte y su durabilidad quedan por abordarse con mayores garantías.

Otra opción de mayor recorrido consiste en rellenar las cárcavas medianas o pequeñas con materiales

compatibles y que pueden incluso fabricarse expresamente. Sirva el ejemplo de las restituciones con bloques de tapia cúbicos, que son tomados y fijados por medio de un mortero de tierra y cal, como en el caso de la rehabilitación de una vivienda en Odeira (Portugal) (fig. 3.10). También se han usado trozos de machaqueo de una tapia prefabricada que junto a un mortero de cal sirve de relleno de huecos o grietas de envergadura mediana (fig. 18A) o en sustitución de la tapia, lascas de piedra que cohesionan y refuerzan la masa de mortero (fig. 18B). Otras soluciones divergen en la esencia material y constructiva de la tapia, ya que proponen, por ejemplo, muros de piedra o restituciones con estructuras metálicas,



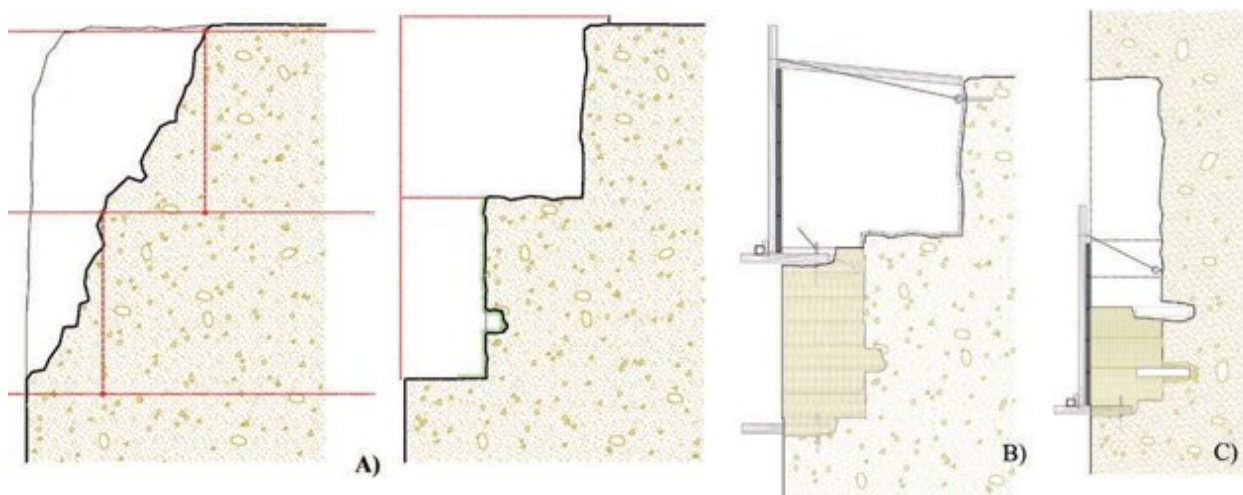


Figura 16. Técnicas de restitución de tapia a una cara. Preparación de las superficies (A), ejecución de los cajones (B) y ejecución de cajones estrechos mediante vertido (C)

como han sido respectivamente las intervenciones en las Murallas del Albaicín (Granada) (fig. 3.3) (López Osorio 2012a) y en las torres de la Muralla del Cerro de San Cristóbal (Almería) (fig. 3.12).

Cuando se considera la restitución por medio de nueva tapia es recomendable adoptar un procedimiento de control de ejecución. Tomando como referencia lo ya expuesto sobre los ensayos y test para las materias primas de la tapia, es preciso que el control sirva para validar la recepción de esas materias (áridos, tierras o conglomerantes) y de los productos elaborados por medio de probetas o ensayos no destructivos complementarios. De esta forma se verifica la calidad de los materiales respecto a sus requerimientos físico-mecánicos y de durabilidad. Pudiendo llegar a necesitar un control estadístico de la tapia (Canivell *et al.* 2020), las verificaciones también deben abarcar el proceso de ejecución y más concretamente el binomio humedad y energía de compactación, que son variables críticas para alcanzar el umbral mínimo de densidad establecido en el proyecto. Se debe, además, controlar la humedad desde el proceso de amasado y no solo en la tapia recién ejecutada, para lo que será necesario tomar muestras aleatorias de las distintas amasadas por cada lote de obra definido. El contenido de humedad puede comprobarse cualitativamente a pie de obra mediante el test de la bola o bien cuantitativamente en laboratorio (AENOR 1993). La energía de compactación es más compleja de cuantificar y verificar en obra, sobre todo cuando la tapia se elabora con medios manuales. En estos casos es el peso y número de golpes del pisón la única referencia cuantificable que podemos referenciar (fig. 19D). El

ensayo nuclear o CPN es bien conocido en las obras civiles por ser un método rápido y fiable para establecer la humedad y adicionalmente conocer la densidad alcanzada. Si bien requiere equipamiento y personal especializados, es un ensayo que debe realizarse inmediatamente después de la compactación de la tongada y que puede combinarse fácilmente en un procedimiento rutinario de control de obra (fig. 19C). Otros parámetros como la altura de la tongada, el orden y secuencia de la compactación, la verificación de estabilidad y solidez del sistema de encofrado o las condiciones climáticas son aspectos complementarios para verificar en las inspecciones sobre el terreno. En lugar de obtener testigos de la tapia ejecutada, es posible elaborar probetas en obra que sequen y endurezcan en laboratorio antes de ser sometidas al ensayo de resistencia a compresión simple (fig. 19B). El número de probetas a ensayar en un control estadístico dependerá del número de lotes y amasadas que se definan y del ritmo de producción de tapias. Finalmente, en caso de un primer rechazo debido a los parámetros antes comentados, se puede verificar el control por medio de ensayos complementarios (fig. 19A), siendo los más empleados el ultrasonido (Rodríguez-Mariscal *et al.* 2021) e índice de rebote (Canivell *et al.* 2018).

#### 4.2. Técnicas de conservación

A grandes rasgos, en este grupo de actuaciones se va a considerar una amplia gama de soluciones cuya finalidad no siempre consiste en recuperar los volúmenes originales, sino también frenar el deterioro existente con la mínima alteración. No obstante,

Figura 17. Restitución a una cara mediante el empleo de la proyección de tierra. Castillo de Paderne (Portugal) (A), Castillo de Monteagudo (Murcia) (B)



Figura 18. Restitución a una cara mediante bloques de machaqueo de tapia (A) y con lajas de piedra y mortero de tierra y cal (B)



también se comentan algunas soluciones a problemas específicos como los derivados de la humedad y de la cristalización de sales. Estas estrategias son más compatibles con posicionamientos patrimoniales en los que prima la mínima intervención y la reversibilidad de las actuaciones.

En un primer término tratamos los procesos de limpieza y consolidación de las superficies a intervenir

que son además recomendables a la hora de aplicar alguna de las técnicas descritas para la restitución (fig. 20A). Aparte de la eliminación de las partículas sueltas, la tapia puede presentar un cierto grado de descohesión debido a diversos factores en los que predomina el exceso de humedad intersticial y el transporte y cristalización de las sales solubles más agresivas (sulfatos).



Figura 19. Ensayo de velocidad de ultrasonidos (A). Ensayo de resistencia a compresión simple (B). Ensayo nuclear o CPN (C). Control de la compactación manual (D, E)

Las claves para la selección de un tratamiento de consolidación son: que no altere la estética ni la resistencia mecánica, que no disminuya la permeabilidad al vapor de agua del muro, que reduzca la absorción de agua por filtración y a su vez la acción erosiva del agua. Son muchas las soluciones estudiadas, tanto orgánicas como inorgánicas, para las construcciones de tierra, destacando el agua de cal (fig. 20D) por su compatibilidad pero bajas prestaciones, o el silicato

de etilo (fig. 20B), que presenta un buen comportamiento general pero solo cementa granulometrías más finas (IPCE 2017). Los silanos-siloxanos, también como hidrofugantes, han dado buenos resultados como consolidantes aplicados en superficie (Stazi *et al.* 2016). Otros componentes de origen orgánico como el nopal o el chitosan (Aguilar *et al.* 2016) se han empleado con éxito en tratamientos superficiales y en masa como estabilizantes. En cuanto a su aplicación,



Figura 20. Limpieza superficial mediante cepillado (A). Tratamiento de consolidación con silicato de etilo (B). Erosión en la zona baja debido a la humedad ascendente y las sales solubles (C). Tratamiento de consolidación con agua de cal (D)

hay que seleccionar el método que proporcione la mayor penetración, por aspersión o brocha, considerando varias capas de aplicación. En cualquier caso, la impregnación solo suele alcanzar varios centímetros, por lo que serán tratamientos temporales y requerirán un mantenimiento.

Se ha demostrado en diversos estudios que la acción expansiva de la cristalización de sales contribuye a la descohesión y arenización superficial de la tapia (Martín del Río *et al.* 2021; Shen *et al.* 2017) y, aunque no suponga un riesgo estructural, implica una alteración estética muy evidente (fig. 20C). Los factores predominantes en este fenómeno son la solubilidad y tipo de sal, las condiciones de temperatura y humedad relativa y el tamaño de los poros del material. Todo ello contribuye a que la evaporación del agua y la cristalización de sales aumenten la presión en los poros y tensionen y rompan internamente el material. Evidentemente, la solución más eficaz estriba en restringir el acceso de agua al muro mediante barreras físicas o drenes, aunque existen otras estrategias que reducen la peligrosidad de ciertas sales solubles. A este respecto, el hidróxido de bario es un tratamiento preventivo que reacciona con los sulfatos del muro creando otras sales de mucha menor solubilidad y peligrosidad. No obstante, es un tratamiento temporal y solo compatible para un tipo específico de sal.

Es frecuente localizar grietas y fisuras en los muros antiguos de tapia, ya que su reducida resistencia a cortante y tracción contribuye a que en zonas mínimamente tensionadas el material se fracture. Actualmente no existe una solución definitiva para estas lesiones que implique la unión y el desempeño mecánico como una sola pieza monolítica. Las estrategias siempre buscan rellenar el vacío, no ya por la unión de las partes, sino para evitar el acceso incontrolado de agua. Lo más frecuente es recurrir a lechadas de cal o arcilla (Silva *et al.* 2018).

Finalmente, el biodeterioro provocado por la acción de plantas o animales se puede afrontar con medidas correctoras o preventivas. Para las primeras, la limpieza manual o mecánica o la aplicación de apósitos suele ser suficiente para eliminar las costras y recuperar parte de la pátina. En el segundo caso, se aplican posteriormente tratamientos herbicidas o fungicidas u otras medidas que eviten el acceso y anidamiento de diversas especies animales invasoras.

## 5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

En este capítulo se ha pretendido mostrar el estado actual de conocimiento en los apartados más técnicos de una intervención sobre una fábrica de tapia. La información que se muestra evidencia cuestiones interesantes que animan a seguir investigando

y aportando soluciones diversas que posibiliten la aplicación de mejores criterios de intervención en este patrimonio que resulta, la mayoría de las veces, vulnerable tanto a factores externos adversos como al propio desconocimiento profesional y técnico para intervenir en él. No obstante, es posible extraer algunos comentarios a modo de reflexiones finales.

La diversidad de tapias y sus distintas soluciones constructivas hacen que cada intervención se deba plantear desde un proceso de estudio previo, tanto de las fuentes de referencia del objeto como desde el conocimiento de la materialidad de cada caso. Las distintas posibilidades de las tierras empleadas hacen que el acercamiento a la dosificación original sea vital para que la intervención sea compatible con el elemento sobre el que se actúa. En este sentido, la información sobre ensayos adecuados y métodos de análisis goza de buena salud y existe una metodología bastante bien desarrollada en base a experiencias empíricas que permiten tener referencias orientadoras para tomar decisiones correctas y potencialmente adecuadas.

Actualmente, las intervenciones que implican actuaciones a nivel superficial se apoyan en las estrategias empleadas en muros construidos con otros materiales diferentes de la tierra. En este sentido cabe hacer una reflexión derivada de la propia naturaleza compleja de los suelos y arcillas que

se encuentren en cada caso. La diversidad tanto de componentes como de dosificaciones hacen recomendable que los tratamientos a emplear se testen previamente. Sería necesario enfocar el desarrollo de la normativa en procedimientos de laboratorio que singularicen las dianas de acción para no emprender acciones de difícil reversibilidad.

Por otra parte, se detecta una dificultad no resuelta en los casos en los que se deba restituir la tapia. Esta recae en la oportunidad de los ensayos de resistencia, comportamiento frente al agua y, consecuentemente, durabilidad del elemento. Las dimensiones de las probetas, incluso el número de ellas, se apoyan en ensayos definidos para otros materiales, lo que hace necesario seguir investigando en este sentido hasta optimizar los diferentes intentos en, al menos, una serie de pautas enfocadas específicamente para la tapia. Una normativa cerrada que no contemple la diversidad de opciones que se encuentran en este sistema constructivo no proporcionará la utilidad que se demanda desde los agentes intervinientes.

De nuevo, la singularidad de estos muros, la diversidad de casos en cuanto a estados materiales de conservación y las distintas sensibilidades a la hora de intervenir, hacen necesario el ajuste a protocolos de actuación que reflejen, en la medida de lo posible, el amplio espectro al que se puede enfrentar cualquier profesional en este ámbito.

Tabla 1. Referencias para la evaluación de consistencia y cohesión del suelo

Resistencia rotura	Interpretación de resultados	Nivel de retracción
Resistente	- <b>Alto contenido de arcilla.</b> Plasticidad. Muestra seca, no mancha	- Alta retracción > 2 mm < 5 mm
Poco resistente	- <b>Contenido elevado de limos o arena.</b> Se marca huella de dedos o superficie de la pieza mancha con polvo de arcilla.	- Baja retracción < 2 mm
Nada resistente	- Muestra se aplasta fácilmente. Se marca fácilmente al hacer presión.	- Sin retracción.

Tabla 2. Referencias para la evaluación de consistencia y cohesión del suelo

<b>Cantidad de agua</b>	- Se pesa la muestra inicial (10 g) y, después de secarla a 100 °C, se vuelve a pesar a la hora para evaluar la cantidad de agua perdida.
<b>Cantidad de aire</b>	Se toma una porción de suelo (20 g) que se sumerge en 25 ml de agua destilada en una pipeta graduada. Se deja reposar y se mide el nivel de suelo. Se aprovecha para analizar decantación de componentes.
<b>Residuos solubles</b>	- Se toma una muestra de suelo (10 g) en un vaso de porcelana en el soporte universal y se calienta con el Mechero de Bunsen hasta que se detecte que ya no hay combustión. Se pesa nuevamente la porción de suelo.

Tabla 3. Tipos de ensayos para la diferenciación de minerales en el suelo

mineralogía	<b>DRX</b>	– Empleando un difractor, se determina la mineralogía global mediante el método de polvo. Se necesita poca cantidad de muestra. – Se emplea para determinar la cantidad aproximada de cada componente mineral, identificando el contenido de arcilla de la muestra y de otros minerales que pueden influir en la calidad.
	<b>ATD/ATG</b>	
química	<b>FRX</b>	Estudio de las emisiones de fluorescencia generadas después de la excitación de una muestra –de 0,6 g mínimo– mediante una fuente de rayos X. Según la respuesta se identifican los componentes químicos.

Tabla 4. Ensayos para la caracterización física de suelos

<b>Ensayo de Granulometría</b>	
Test sencillo del vidrio o sedimentación de suelos finos por decantación. Se utilizan tubos de ensayos con agua destilada para analizar las capas de sedimentación de los tipos de finos y granos del suelo.	UNE 103-102-95. Análisis granulométrico de suelos finos por sedimentación método del densímetro
Análisis granulométrico de suelos por tamizado utilizando tamices normalizados. Es más exacto y permite tener el dato de la proporción de cada tipo y tamaño de granos de la muestra.	UNE 103101:1995. Análisis granulométrico de suelos por tamizado.
<b>Límites de Atterberg</b>	
Límite líquido (Cuchara de Casagrande)	UNE_103104:1993. Suelo no plástico y UNE_103103:1994. Suelo no plástico y una arena limosa
<b>Densidad aparente, real y porosidad</b>	
El método densidad aparente se realiza calculando la diferencia de pesos de la muestra.	UNE-EN 1015-6:1999 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Determinación de la densidad aparente del mortero fresco.
El método densidad real y porosidad se basa en saturación con agua de la muestra a vacío o por inmersión total hasta saturación y diferencia de pesos.	UNE-EN-1936:2007 Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la densidad real y aparente y de la porosidad abierta y total.
Evaluación de la densidad (ensayo Proctor): se recomienda alcanzar el 95 % de la densidad Proctor normal. Depende también de nº de golpes, pisón y nº de capas	Proctor normal UNE 103-500-94 Proctor modificado UNE 103501:1994
<b>Retracción</b>	
Se realiza la toma de datos durante todo el proceso de secado de las muestras o probetas después de su preparación. Seguimiento mínimo durante 28 días para evaluar respuesta.	UNE EN 1015-2:1999. A1:2007 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Toma de muestra total de morteros y preparación de los morteros para ensayo.
Se obtiene el valor medio de la suma de los valores obtenidos en los periodos de medición	Es aceptable entre un 3 a 10 % (Craterre)

Tabla 5. Ensayos para la caracterización mecánica de tapias

<b>Compacidad</b>	
Se mide, en diferentes direcciones, la velocidad de transmisión de ultrasonidos en las probetas preparadas y secas para conocer su grado de compacidad. Cuanto más veloz sea la transmisión de onda más compacto resulta ser el material.	UNE-EN 12504-4:2006 Ensayos de hormigón en estructuras. Determinación de la velocidad de los impulsos ultrasónicos.
<b>Resistencia al impacto o índice de rebote</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se puede medir el índice de rebote sobre una superficie de tapia acabada o probeta con esclerómetro o mediante una pesa tensada con un muelle lanzada contra la superficie del material endurecido.</li> <li>- Permite establecer también la homogeneidad de ejecución.</li> </ul>	UNE-EN 12504-2:2013 Ensayos de hormigón en estructuras. Parte 2: Ensayos no destructivos. Determinación del índice de rebote.
<b>Ultrasonidos y rebote se pueden correlacionar con la resistencia a compresión simple.</b>	
<b>Resistencia a flexión y compresión</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las probetas endurecidas, cuando son irregulares, se preparan previamente refrentando su cara inferior y superior con azufre o con mortero de cemento aluminoso, para garantizar que la carga aplicada se reparte uniformemente por toda la superficie y se someten a carga en una prensa hidráulica.</li> <li>- Según normativa, como mínimo se ensayan 3 probetas de cada tipo de suelo, aunque en diseño de dosificaciones se recomienda aumentar este número para obtener valores contrastados. La misma probeta que permite realizar el ensayo de resistencia a flexión puede aprovecharse para los ensayos de resistencia a compresión.</li> </ul>	UNE-EN 12390-2:2001 Fabricación y curado de probetas para ensayos de resistencia. UNE-EN 1015-11:2000. A1:2007 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido.
- Se toma siempre el dato de valor obtenido de todas las probetas, para valorar valores medios. El rango habitual para una muestra de tapial estaría entre 1 a 3 MPa, sin estabilizar.	

Tabla 6. Ensayos para la caracterización hídrica de tapias

<b>Absorción de agua por capilaridad</b>
Se establecen ciclos de humectación por inmersión de la base de la probeta en agua destilada (máximo 10 mm) estableciendo la toma de datos en ciclos constantes mínimo 1 semana. Se evalúa la capacidad y altura de succión de agua por capilaridad y el grado de afección que puede provocar al reblandecer la pieza.
<b>Erosión por abrasión, acelerada o por caída de agua</b>
Para evaluar la resistencia a la abrasión de una muestra consolidada o secada en estufa, se aplica una fuerza a un cepillo de 6 kg de peso. Se repite la erosión de ida y vuelta al menos 50 veces.
<b>Para evaluar la resistencia a la erosión directa del agua hay dos métodos:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se proyecta, sobre la superficie del muro de tapia, un chorro de agua a presión (0,5-1,5 Kg/cm<sup>2</sup>) a una distancia entre 17,5 y 47 cm en ciclos de media hora durante 2 horas.</li> <li>- Se dejan caer 100 ml en forma de gotas de agua de forma continua desde una altura de 40 cm sobre las probetas de ensayo con una inclinación de 27° de la horizontal.</li> </ul>

## BIBLIOGRAFÍA

- AENOR. 1993. *UNE-EN 103-300:93. Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa.*
- Aguilar, R., Nakamatsu, J., Ramírez, E., Ellegren, M., Ayarza, J., Kim, S., Pando, M.Á. y Ortega-San-Martín, L., 2016. «The potential use of chitosan as a biopolymer additive for enhanced mechanical properties and water resistance of earthen construction», *Construction and Building Materials*, 114 (July), pp. 625-37. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.218.
- Algorri, E., 1994. «Tres soluciones en la restauración del palacio de Toral de Los Guzmanes, León, España», *Informes de la Construcción*, 46 (434), pp. 27-38.

- Azuar, R., 2005. «Las técnicas constructivas en la formación de Al-Andalus», *Arqueología de la arquitectura*, 4, pp. 149–60. doi.org/https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2005.80.
- Barquer Sistach, J., 2015. «Las paredes de tapia desde el punto de vista estructural», *Quaderns d'Estructures*, 52, pp. 39–50.
- Beirao, T., 2005. «Projecto Do Castelo de Paderne», en: Correia, M. (ed.), *Arquitectura de terra em Portugal. Earth Architecture in Portugal / Participação de 54 autores reunidos pela Associação Centro Da Terra*, Lisboa: Argumentum, pp. 213–19.
- Bui, T.-T., Bui, Q.-B., Limam, A. y Maximilien, S., 2014. «Failure of rammed earth walls: from observations to quantifications», *Construction and Building Materials*, 51 (0), pp. 295–302. doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.053.
- Cabeza Méndez, J. M.<sup>a</sup>, 1993. «Restauración de las murallas de Sevilla», en: *Arquitectura y Ciudad II y III*, Madrid: Ministerio de Cultura, pp. 341–48.
- Canivell, J. y Graciani, A., 2015. «Caracterización constructiva de las fábricas de tapia en las fortificaciones almohades del antiguo reino de Sevilla», *Arqueología de La arquitectura* 12, e025. https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2015.003.
- Canivell, J., Martín del Río, J.J., Alejandre, F.J., García-Heras, J. y Jiménez-Aguilar, A., 2018. «Considerations on the physical and mechanical properties of lime-stabilized rammed earth walls and their evaluation by ultrasonic pulse velocity testing», *Construction and Building Materials*, 191 (diciembre), pp. 826–36. doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.09.207.
- Canivell, J., Martín del Río, J.J., Falcón, R.M. y Rubio-Bellido, C., 2020. «Rammed earth construction: a proposal for a statistical quality control in the execution process», *Sustainability* 12 (7), p. 2830. doi.org/10.3390/su12072830.
- Canivell, J., Rodríguez García, R., González Serrano, A. M.<sup>a</sup> y Romero Girón, A., 2020. «Assessment of heritage rammed-earth buildings. The Alcázar of king Don Pedro I (Spain)», *Journal of Architectural Engineering*, 26.2. doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000400.
- Doat, P., Hays, A., Houben, H., Matuk, S. y Vitoux, F., 1991. *Building with Earth*. Vol. I, Paris: The mud village society.
- Font Mezquita, F., 2012. «Intervention in a rammed earth tower at the castle of Oropesa del Mar (Castellón, Spain)», en: Mileto, C., Vegas, F. y Cristini, V. (eds.), *Rammed Earth Conservation*, London: CRC Press, pp. 331–36. doi.org/10.1201/B15164-56.
- Font Mezquita, F. e Hidalgo, P., 2009. *Arquitecturas de Tapia*, Castellón: COAAT de Castellón.
- Fuentes-García, R., Valverde-Palacios, I. y Valverde-Espinosa, I., 2015. «A new procedure to adapt any type of soil for the consolidation and construction of earthen structures: projected earth system», *Materiales de Construcción*, 65 (319). doi.org/10.3989/mc.2015.06614.
- García-Tapial, J. y Cabeza Méndez, J. M.<sup>a</sup>, 1989. «Recuperación de la cerca almohade de la ciudad de Sevilla en el recinto de La Casa de la Moneda», *Archivo Hispalense*, 72 (220), pp. 291–97.
- Garrido-Manrique, J., Gutierrez-Carrillo, M.L. y Molero-Melgarejo, E., 2019. «Risk Character for medieval defensive earthen architecture in Southern Spain», *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 362. doi.org/10.1088/1755-1315/362/1/012078.
- Gomes, M. I., Diaz Gonçalves, T. y Faria, P., 2016. «Hydric behavior of earth materials and the effects of their stabilization with cement or lime: study on repair mortars for historical rammed earth structures», *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28 (7). doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001536.
- Graciani, A. y Canivell, J., 2014. «Revisión de las intervenciones en fábricas de tapia en Andalucía occidental», en: Mileto, F y Vegas, C. (eds.), *Restauración de la tapia en la península ibérica. Criterios, técnicas, resultados, perspectivas*, Valencia: TC Cuadernos, pp. 30–41.
- Graciani, A. y Tabales, M. Á., 2008. «El tapial en el área sevillana. Avance cronotipológico estructural», *Arqueología de la arquitectura*, 5, pp. 135–58. doi.org/10.3989/arq.arqt.2008.93.
- Guarner, I., 1983. «La restauración de la muralla de Niebla», *El Croquis*, 14, pp. 8–9.
- Guigou Fernández, C., 2002. *La tierra como material de construcción*, Tenerife: Colegio Oficial de Arquitectos de Canarias.
- Gurriarán Daza, P. y Sáez Rodríguez, Á.J., 2002. «Tapial o fábricas encofradas en recintos urbanos andalusíes», en: *II Congreso Internacional «La Ciudad En Al-Andalus y El Magreb»*, Granada: Fund. El Legado andalusí, pp. 561–626.
- IPCE. Mileto, C. y Vegas, F. (coords.), 2017. *Proyecto COREMANS: Criterios de intervención en la arquitectura de tierra*, Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.
- López Martínez, F. J., 1999. «Tapias y tapiales», *Loggia: Arquitectura y Restauración*, 8 (abril), pp. 74–89. doi.org/10.4995/loggia.1999.5288.



- López Osorio, J. M., 2012a. «The Nasrid ramparts of the Albaicín (Granada, Spain): An analysis of materials and building techniques», en: Mileto, C., Vegas, F. y Cristini, V. (eds.), *Rammed Earth Conservation*, London: CRC Press, pp. 27–32.
- López Osorio, J. M., 2012b. «Restauración de la torre de Los Secretos. Castillo de Baena (Córdoba)», *Loggia, Arquitectura & Restauración*, 0 (24–25), p. 64. doi.org/10.4995/loggia.2012.2999.
- Maldonado Ramos, L., Vela Cossío, F. y Rivera Gámez, D., 2001. *Curso de construcción con tierra (I). Técnicas y sistemas tradicionales*, Cuadernos del Instituto Juan de Herrera de la Escuela de Arquitectura de Madrid, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Martín del Río, J.J., Canivell, J., Torres-González, M., Mascort-Albea, E.J., Romero-Hernández, R., Alducin-Ochoa, J.M., Alejandro-Sánchez, F.J. y Torres-González, M., 2021. «Analysis of the materials and state of conservation of the medieval rammed earth walls of Seville (Spain)», *Journal of Building Engineering*, 44 (septiembre). doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103381.
- Martín del Río, J. J., Flores-Alés, V., Alejandro-Sánchez, F.J. y Blasco-López, F.J., 2018. «New method for historic rammed-earth wall characterization: the almohade ramparts of Malaga and Seville», *Studies in Conservation*, noviembre, pp. 1–10. doi.org/10.1080/00393630.2018.1544429.
- Martins N., Célia M., Faria, O., Rotondaro, R., Cavallos, P. y Hoffman, M., 2009. *Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra*. Proterra-Cyted. <http://www.redproterra.org>.
- Mileto, C., Vegas, F., García Soriano, L. y Cristini V., 2011. «La restauración de la arquitectura de tapia en la península ibérica. Metodología de catalogación y análisis de casos», *Arché. Publicación del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la UPV*, 6, 7, pp. 309–14. [www.restapia.es/files/33485](http://www.restapia.es/files/33485).
- Minke, G., 2006. *Building with earth: design and technology of a sustainable architecture*, Basel: Birkhäuser.
- Mota López, M.<sup>a</sup> I., Maderuelo Sanz, R., Pastor Valle, J.D., Meneses Rodríguez, J.M. y Romero Casado, A., 2021. «Analytical characterization of the Almohad rammed-earth wall of Cáceres, Spain», *Construction and Building Materials*, 273, 1216763. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121676.
- Ontiveros Ortega, E., (ed.) 2006. *Programa de normalización de estudios previos aplicado a bienes inmuebles*, Sevilla: Consejería de Cultura.
- Ontiveros Ortega, E., Sebastián Pardo, E. y Valverde Espinosa I., 1999. «Deterioration in XI-XIV century Arab ramparts (Granada, Spain)», *Materials and Structures*, 32 (125), pp. 45–51.
- ResTAPIA 2012. *Proyecto de investigación: La restauración de la arquitectura de tapia en la península ibérica. criterios, técnicas, resultados y perspectivas*, Ministerio de Ciencia e Innovación. (BIA 2010-18921. 2012), [www.restapia.es/](http://www.restapia.es/).
- Richards, J., Mayaud, J., Zhan, H., Wu, F., Bailey, R. y Viles, H., 2020. «Modelling the risk of deterioration at earthen heritage sites in drylands», *Earth Surface Processes and Landforms* n/a (n/a). doi.org/10.1002/esp.4887.
- Rodríguez Mariscal, J.D., Canivell, J. y Solís, M., 2021. «Evaluating the performance of sonic and ultrasonic tests for the inspection of rammed earth constructions», *Construction and Building Materials*, 299 (septiembre), 123854. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123854.
- Shen, Y., Chen, W., Kuang, J. y Du, W., 2017. «Effect of salts on earthen materials deterioration after humidity cycling», *Journal of Central South University*, 24 (4), pp. 796–806. doi.org/10.1007/s11771-017-3482-0.
- Silva, R. A., Domínguez-Martínez, O., Oliveira, D.V. y Pereira, E.B., 2018. «Comparison of the performance of hydraulic lime- and clay-based grouts in the repair of rammed earth», *Construction and Building Materials*, 193 (diciembre), pp. 384–94. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.207.
- Stazi, F., Nacci, A., Tittarelli, F., Pasqualini, E. y Munafò, P., 2016. «An experimental study on earth plasters for earthen building protection: the effects of different admixtures and surface treatments», *Journal of Cultural Heritage*, 17 (Sup. C), pp. 27–41. doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2015.07.009.
- Valor Piechotta, M., 1999. *Sevilla Almohade*, Sevilla: Fundación Tres Culturas.
- Vegas, F., Mileto, C. y Cristini, V., 2014. «Constructive features and preservation work of rammed earth architecture: the Islamic tower of Bofilla (Valencia)», *Journal of Architectural Conservation*, 20 (1), pp. 28–42. doi.org/10.1080/13556207.2014.886377.

**Resumen:** Con objeto de delimitar el ámbito de aplicación e intervención en el patrimonio cultural español construido en tierra, y especialmente en tapia, este artículo se centra en las edificaciones militares construidas entre los siglos XI al XV. Se pone de manifiesto la importancia crítica de realizar estudios previos de recopilación de datos históricos y definir características estéticas, artístico-estilísticas y constructivas de la arquitectura de tapia. Igualmente, se remarca la necesidad de caracterización e identificación de la materia prima empleada y los componentes que constituyen la tapia existente, así como de la realización del control y ensayos de estos antes y durante las obras de intervención. Por ello, se ofrece un guion básico y estructurado para establecer las estrategias y enfoques de la intervención patrimonial en el ámbito de la construcción con tierra. Además, se detalla el proceso de control que debería realizarse en todo proceso de intervención, ya que cuenta con diferentes fases a desarrollar, definiendo ejemplos de aplicación de estos criterios.

**Palabras clave:** Conservación patrimonial, construcción en tierra, tapia, caracterización material, control e intervención

**Abstract:** In order to establish the scope of application and intervention in the Spanish earthen cultural heritage, and especially the rammed earth related, this article focuses on military buildings built between the eleventh and fifteenth centuries. The critical importance of carrying out previous studies to collect historical data and define the aesthetic, artistic-stylistic, and constructive characteristics of rammed earth architecture is highlighted. Furthermore, the need for the characterization and identification of the wall materials used and the components that make up the existing rammed earth is also emphasized, as well as the control and testing of these before and during the intervention work. Therefore, a basic and structured guideline is provided to establish strategies and approaches for heritage intervention in the field of earthen construction. In addition, the control process that should be carried out in any intervention process is detailed, as it has different phases to be developed, defining examples of the application of these criteria.

**Key words:** Heritage conservation, earthen construction, rammed earth, material characterization, control, intervention.



Editorial Universidad de Sevilla  
Not for distribution outside

# Los autores

(por orden alfabético)

## **MÓNICA ÁLVAREZ DEL BUERGO BALLESTER**

Mónica Álvarez de Buergo Ballester es licenciada y doctora en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense de Madrid. Tras una estancia en el Servicio Geológico de los Estados Unidos-USGS, comenzó su trayectoria profesional dedicada al estudio de materiales pétreos de construcción, encaminado a la conservación y restauración del patrimonio cultural, en el ámbito de la administración pública. De esta forma, ha estado vinculada al Ministerio de Obras Públicas/Fomento, al Instituto Geológico y Minero-IGME y al Consejo Superior de Investigaciones Científicas-CSIC, donde es científica titular desde hace casi 15 años. Es directora del Laboratorio de Petrofísica del Instituto de Geociencias-IGEO (CSIC-UCM) y forma parte del grupo de investigación *Petrología aplicada a la conservación del patrimonio*, grupo con una fuerte base geológica pero también multidisciplinar. Se ha especializado en técnicas no destructivas y portátiles para el análisis de geomateriales culturales, desarrollando tanto investigación fundamental como aplicada, en forma de asistencia científica técnica a instituciones públicas y privadas, encargadas de la gestión y conservación del patrimonio cultural construido. Ha trabajado en lugares tan emblemáticos como el Palacio Real de Madrid, La Alhambra de Granada y el yacimiento arqueológico de Petra, en Jordania. Participa y dirige tanto proyectos de investigación regionales, nacionales como internacionales, y ha publicado alrededor de 150 artículos científicos.

## **JACINTO CANIVELL**

Jacinto Canivell es doctor arquitecto y profesor en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación de la Universidad de Sevilla. Su investigación en el ámbito de la arquitectura histórica en tierra comenzó en el marco del proyecto BIA-2004-1092 y continuó con el proyecto BIA 2010-18921, dedicado a una *Propuesta de mantenimiento, evaluación y rehabilitación de fábricas históricas de tapia en la provincia de Sevilla, criterios técnicos, resultados y perspectivas*. Actualmente sus intereses se centran en la conservación preventiva del patrimonio edificado, tanto de carácter monumental como arquitectura popular vernácula, así como en el estudio de la arquitectura en tapia como una técnica de construcción sostenible. Como secretario de la Comisión UNE CTN41/SC10 (construcción en tierra) se ha encargado de la sistematización de los protocolos de aplicación en las técnicas de construcción en tierra (tapia, adobes, CEB). Está asimismo especializado en el campo de la energía eficiente y relacionado con ello ha participado en diferentes proyectos europeos.

## **BEGOÑA CARRASCOSA MOLINER**

Begoña Carrascosa Moliner es doctora en Bellas Artes y profesora titular del Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales en la Universitat Politècnica de València. De 1996 a 2000 ha sido directora del Museo de Prehistoria y del Servicio de Investigación Prehistórica de la Diputación

de Valencia. Ha participado y dirigido diferentes proyectos de I+D+i nacionales e internacionales. Es miembro científico y del consejo rector del Instituto de Restauración del Patrimonio (IRP) y del consejo científico del Máster en Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la UPV. Es autora de libros sobre conservación y restauración de materiales arqueológicos y artículos científicos en revistas especializadas en restauración y cooperación al desarrollo. Ha participado con múltiples conferencias y comunicaciones en congresos nacionales e internacionales y ha dirigido un elevado número de tesis doctorales.

### **SEBASTIÁN CELESTINO PÉREZ**

Sebastián Celestino Pérez es investigador científico del Consejo Superior de Investigaciones Científicas e investigador principal de los proyectos *Construyendo Tarteso 2.0. Análisis constructivo, espacial y territorial de un modelo arquitectónico en el valle medio del Guadiana* y *Estudio de la hecatombe animal del yacimiento de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz)*. En el marco de ambos proyectos codirige las excavaciones en el yacimiento arqueológico de Casas del Turuñuelo, reconocido en el año 2018 con el I Premio Nacional de Arqueología y Paleontología de la Fundación Palarq. Es autor de varios trabajos centrados en la investigación de la cultura tartésica, destacando el recientemente publicado *Tarteso y los fenicios de Occidente* (Almuzara, 2020).

### **FRANCISCO A. CORPAS IGLESIAS**

Francisco A. Corpas Iglesias es catedrático en el Área de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica en el Departamento de Ingeniería Química, Ambiental y de los Materiales en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Jaén, enclavada en Linares. Ha dedicado buena parte de sus investigaciones al análisis y caracterización de los desechos y subproductos de la minería y su eventual aplicación posterior en materiales constructivos. Ha sido precisamente su buen conocimiento de diferentes aditivos empleados en edificación lo que le ha llevado a desarrollar colaboraciones interdisciplinarias para la identificación de las propiedades físico-químicas y mecánicas que, en arquitectura antigua, supuso el añadido de diferentes materias. Es el caso de su colaboración en el equipo de investigación del yacimiento ibérico de Giribaile (Vilches, Jaén) para el estudio de las construcciones en tierra.

### **ROCÍO DA RIVA**

Nacida en Madrid, Rocío Da Riva estudió en Madrid, Gante, Erlangen y Würzburg. Obtuvo su doctorado en la Universidad de Würzburg y actualmente es catedrática en el Departamento de Historia y Arqueología de la Universidad de Barcelona. Su especialidad es el Próximo Oriente Antiguo, en particular la Babilonia del I milenio a.C. Ha trabajado en las colecciones cuneiformes de museos en Europa, Norteamérica y Oriente Medio: British Museum, Vorderasiatisches Museum de Berlín, Musée du Louvre, University of Pennsylvania Museum, Yale Babylonian Collection, *İstanbul Arkeoloji Müzeleri*, entre otros. Da Riva ha estudiado y editado numerosos textos cuneiformes, incluido el corpus de las inscripciones reales neobabilónicas. Sus principales intereses de investigación son las fuentes económicas y administrativas y la historia política, así como los textos rituales y líricos relacionados con los dioses y los templos de Babilonia, publicando numerosos libros y artículos sobre estos temas. Del mismo modo, ha dado conferencias y seminarios en las principales universidades y centros de investigación de todo el mundo, ha sido profesora invitada en la Venice International University y ha impartido cursos como investigadora visitante en varias instituciones internacionales (Universität Wien, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Università Ca' Foscari di Venezia, etc.). Da Riva dirige las excavaciones arqueológicas en el yacimiento de Sela, en Jordania.

### **ANICETO DELGADO MÉNDEZ**

Aniceto Delgado Méndez es doctor en Antropología Social por la Universidad de Sevilla y Máster Universitario en Arquitectura y Patrimonio Histórico (2007) por la misma Universidad. Actualmente trabaja en el Centro de Documentación y Estudios del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico de la Junta de Andalucía. Además de su labor investigadora, el autor ha formado parte de la Comisión Andaluza de Etnología, así como, actualmente, del Comité de Redacción y Seguimiento del Plan Nacional de Arquitectura Tradicional, elaborado por el Ministerio de Cultura. También es miembro del Comité Científico de la revista *Traditional Architecture*, del Consejo Editorial de la *Revista Andaluza de Antropología* y del Consejo Asesor y Científico de la *Revista de Estudios Etnográficos Etnicex*. Ha colaborado en el *Atlas del Patrimonio Inmaterial*

*de Andalucía*, en el proyecto Ambrosía, y es parte del equipo investigador de dos proyectos del Plan Estatal de I+D+i, relacionados con la gestión pública del patrimonio etnológico (HUM-07377) y el Patrimonio Cultural Inmaterial. Junto a las labores desarrolladas en el Centro de Documentación y Estudios del IAPH, colabora en otras acciones relacionadas con la investigación, la intervención, la comunicación y la formación en patrimonio cultural, como la dedicada a los museos etnográficos de Extremadura, merecedora del Premio de Investigación «Matías Ramón Martínez y Martínez» de la Asamblea de Extremadura.

### **JOSÉ LUIS ESCACENA CARRASCO**

José Luis Escacena Carrasco es catedrático de Prehistoria de la Universidad de Sevilla, donde ejerce su labor docente e investigadora en el Departamento de Prehistoria y Arqueología. Está especializado en Prehistoria Reciente y Protohistoria de la península ibérica, en sus relaciones con las culturas del mundo atlántico y con las civilizaciones mediterráneas. Ha trabajado en numerosas líneas de investigación desde el Neolítico a la Edad del Hierro, y especialmente en el mundo tartésico y fenicio. Puede considerarse pionero de la introducción en España de la Arqueología Evolutiva, materia que imparte en la Universidad de Sevilla y que consiste básicamente en aplicar los principios epistemológicos de la teoría darwinista a la evolución cultural. En la última década ha emprendido también diversos estudios sobre simbolismo y arqueoastronomía.

### **ÁLVARO FERNÁNDEZ FLORES**

Álvaro Fernández Flores es arqueólogo y en su desarrollo profesional ha simultaneado la arqueología de gestión con la investigación, centrando su actividad en la prehistoria y protohistoria andaluzas. Las excavaciones de los yacimientos protohistóricos de El Carambolo, la necrópolis de la Angorrilla y el poblado de Alcalá del Río le han llevado a ocuparse de la problemática de Tarteso y la colonización fenicia desde diversos enfoques, abordándolos desde los aspectos culturales a los rituales funerarios, pasando por los domésticos. Las investigaciones del autor se han llevado a cabo en el marco de distintos proyectos de investigación de las universidades de Sevilla y Málaga. En la actualidad colabora en el proyecto de investigación *Tarteso Olvidado (en los museos)*, de la Universidad de Sevilla.

### **EDUARDO FERRER ALBELDA**

Eduardo Ferrer Albelda, licenciado en Geografía e Historia (1988) y doctor en Historia (1995) por la Universidad de Sevilla, es catedrático de Arqueología en dicha universidad. Su tesis doctoral se tituló *Los púnicos en Iberia. Análisis historiográfico y arqueológico de la presencia púnica en el sur de la Península Ibérica*, y esta ha sido una de sus líneas prioritarias de investigación. En ella también se pueden encuadrar los proyectos de Investigación *Estrimnides* (HAR2015-68310-P) y *Tarteso olvidado (en los museos)* (PGC2018-097131-B-I00), de los que es investigador principal. Así mismo, otros estudios tratan sobre el poblamiento en el Bajo Guadalquivir durante el I milenio a.C. y sobre geografía antigua. Ha participado también en proyectos internacionales en Utica (Túnez) y Dubai (EAU).

### **RAFAEL FORT GONZÁLEZ**

Rafael Fort González es licenciado en Geología (1979) y doctor en Geología Económica (1985), ambos por la Universidad Complutense de Madrid. En 1987 se incorporó al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) en el Instituto de Geología Económica, centro mixto CSIC- UCM y actualmente desarrolla sus actividades en el Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), siendo el coordinador del Grupo de Investigación de Petrología aplicada a la Conservación del Patrimonio. Su actividad se centra en la caracterización y conservación de materiales pétreos del patrimonio (piedra, ladrillos, morteros, etc.), los factores, causas y mecanismos de deterioro de materiales geológicos, y la durabilidad de los materiales ante ambientes agresivos (movilización de sales, contaminación atmosférica, etc.). En sus investigaciones valora la eficacia, idoneidad y durabilidad de tratamientos de conservación: limpieza, consolidación y protección de materiales del patrimonio. Lleva a cabo monitorización microclimática, así como análisis para la identificación de la procedencia de materiales de canteras históricas. Asimismo, ha implementado técnicas no destructivas y ha impulsado iniciativas para la difusión del patrimonio como las Rutas GeoMonumentales. Ha participado y/o dirigido los estudios previos para la restauración de más de 125 monumentos emblemáticos, tanto nacionales como internacionales. Es autor de cerca de 250 artículos de investigación. Es miembro académico de 87 cursos de postgrado de diferentes universidades españolas y de cursos en el extranjero, así como director de 10 tesis doctorales.

### AGUSTÍN GAMARRA CAMPUZANO

Agustín Gamarra Campuzano es conservador-restaurador de arqueología, especialista en estructuras constructivas. Licenciado en Bellas Artes por la Universidad de Barcelona (coleg. 1710), es CEO de la empresa Gamarra&García (GAMIGAR), fundada en 1995. Ha trabajado en España (Cataluña, Castilla y León, Murcia, Alicante, Asturias y Galicia), Sudán (Djebel Barkal, Karima) y Egipto (Meidum, Sharuna, Luxor y El Cairo). Participa y desarrolla proyectos de conservación-restauración y planes directores para la puesta en valor y la adecuación para la visita de yacimientos arqueológicos, edificios y conjuntos monumentales del patrimonio histórico. Ha colaborado en proyectos para museos, organismos gubernamentales, ayuntamientos y diferentes fundaciones privadas entre las que destacan las Fundaciones Aga Khan, Botín, Abertis, Elsa Peretti, Clos y Godia, entre otras. Asimismo, ha participado en seminarios, conferencias e impartido cursos monográficos de restauración para varias entidades docentes como la Escuela Superior de Restauración de Bienes Culturales de la Generalitat de Catalunya, la Universidad Autónoma de Madrid, la Facultad de BB.AA. de la Universidad de Barcelona, el Departamento de Urbanismo del Ayuntamiento de Barcelona y de Patrimonio Arqueológico de la Generalitat de Catalunya, la Universidad de Granada, la Universidad Internacional Menéndez Pelayo (UIMP), el Museo Arqueológico de Sevilla, el Museo de Badalona y el Museo Egipcio de Barcelona, El Born CCM y el MUHBA, todo ellos en Barcelona.

### FRANCISCO JOSÉ GARCÍA FERNÁNDEZ

Francisco José García Fernández es profesor titular del Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Sevilla. Se licenció en Geografía e Historia en 1998 y se doctoró en 2004 en la misma universidad, cursando posteriormente el Máster en Ciudad y Arquitectura sostenibles (2013). Perteneció al Grupo de Investigación «De la Turdetania a la Bética» (HUM-152) y ha participado en numerosos proyectos de carácter nacional e internacional coordinados tanto desde la propia Universidad de Sevilla como por otras instituciones. Asimismo, ha realizado estancias en diferentes universidades y centros de investigación (Escuela de Historia y Arqueología en Roma, DAI Berlín, Universität Postdam, Universidade de Lisboa, Istituto Politecnico de Milano). Por un lado, se ha formado como experto en arqueología protohistórica

de la península ibérica, especialmente en las comunidades de finales de la Edad del Hierro y su tránsito a la romanización, tanto desde el punto de vista de las fuentes escritas como de la arqueología. En este último caso ha centrado su atención en aspectos como el poblamiento, el urbanismo y la arquitectura, la producción cerámica o las pautas de consumo, a partir del estudio de los contextos domésticos, sin dejar de lado los procesos identitarios que se esconden detrás de estas manifestaciones. Por otro lado, ha desarrollado gran parte de su actividad docente como profesor de gestión de proyectos patrimoniales en varios títulos de postgrado de la Universidad de Sevilla y de otras instituciones, colaborando en el diseño de proyectos de puesta en valor y musealización de restos arqueológicos. Fruto de todo ello es una nutrida nómina de publicaciones, artículos científicos, libros, capítulos de libro, así como una activa presencia en encuentros científicos.

### ANA M.<sup>a</sup> GONZÁLEZ SERRANO

Doctora arquitecta por la Universidad de Sevilla desde 2016 con una tesis dedicada a *Revocos de tierra cruda. Especificaciones técnicas para el empleo de morteros preparados de arcilla en la construcción*. Imparte docencia en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura desde el año 1996, tanto en asignaturas de grado como en máster, en torno al conocimiento de materiales, productos y sistemas constructivos para la peritación, reparación, rehabilitación e intervención ecoeficiente en edificios. Ha participado en la elaboración de informes judiciales y técnicos, diferentes proyectos y contratos de investigación, así como en congresos y publicaciones científicas relacionadas con esta temática, a nivel nacional e internacional. Sus temas de investigación se centran en la tecnología de los materiales y los sistemas constructivos, destinado todo ello a la caracterización, restauración, mantenimiento y sostenibilidad de las construcciones. Ha insistido especialmente en el estudio de materiales naturales dentro de la arquitectura vernácula andaluza y en el establecimiento de los protocolos de ajuste de ensayos para optimizar el conocimiento de estos en la obra construida, en la rehabilitación y la tutela del patrimonio edificado. Es miembro fundador de TERRAND (Asociación sevillana de construcción con tierra cruda) y del Comité de AENOR AEN/CTN 41/SC 10, donde colabora en

tareas de normalización de sistemas constructivos con recursos naturales.

### **LUIS M. GUTIÉRREZ SOLER**

Luis María Gutiérrez Soler es catedrático de universidad del Área de Arqueología y miembro del Instituto Universitario de Investigación en Arqueología Ibérica de la Universidad de Jaén. Viene desarrollando una línea de trabajo específica centrada en la investigación de la ciudad protohistórica de Girdaile (Vilches, Jaén) desde principios de los años noventa. Destaca su interés por la implementación de muestreos, de carácter experimental, en el ámbito de la prospección arqueológica intensiva. Se interesa por el desarrollo de una arqueología horizontal, en comunidad, que fomente la participación ciudadana como parte de un proyecto colectivo abierto, público y social.

### **ARTURO JIMÉNEZ VIERA**

Arturo Jiménez Viera es arquitecto por la Universidad de Sevilla, especializado en bioconstrucción y construcción con tierra. Actualmente es miembro de la *Asociación Taph Taph. Bioconstrucción, Arquitectura y Paisaje holístico* y miembro del grupo de investigación Arquitectura, Patrimonio y Ecología (HUM1008), de la Universidad de Sevilla. Desde hace varios años trabaja como docente en formaciones teórico-prácticas sobre construcción con tierra, y ha sido y es coordinador en España de Proyectos Erasmus Plus dedicados a materias de bioconstrucción, transición ecológica, formación profesional y apoyo social. Actualmente ejerce además su labor como arquitecto en la creación de proyectos de edificación y el uso de materiales naturales locales, compaginando estas tareas con la investigación en el ámbito de las metodologías en la selección de suelos para la construcción con tierra y las labores de consultoría técnica y apoyo a otros profesionales e investigadores.

### **JAVIER MARTÍNEZ BABÓN**

Javier Martínez Babón se licenció en Historia en la Universidad Autónoma de Barcelona (1986), obtuvo el *Magister Artium* en la *Eberhard-Karls Universität* de Tubinga (1992) y se doctoró *cum laude* en Historia por la UAB (1995). Fue profesor asociado en la UAB entre los años 1995 y 1999. Ha realizado numerosos cursos y seminarios en colaboración con distintas instituciones, entre las que cabe citar

la Universidad de Girona y la Ramón Llull de Barcelona. Actualmente es docente en el Museo Egipcio de Barcelona y en Arqueonet (Barcelona). En el marco de sus trabajos de campo destacan sus participaciones en las tumbas de Padineith (2002-2003) y Mentuemhat (2005-2008), proyectos del Instituto de Egiptología de la Universidad de Tubinga en la necrópolis tebana, dirigidos por el doctor Farouk Gomaa. Desde el año 2008 y hasta la actualidad forma parte de la misión arqueológica encargada de excavar y poner en valor el templo de Millones de Años de Tutmosis III, en la orilla occidental de Luxor, proyecto de la Universidad de Sevilla y del Ministerio de Turismo y Antigüedades egipcio bajo la dirección de la doctora Myriam Seco Álvarez. Ha publicado libros y numerosos artículos sobre aspectos de la historia del Egipto faraónico, entre los que destacan el ejército y el armamento. Tres de sus obras más representativas son: *Faraones guerreros. Historia militar de Egipto desde la dinastía I hasta la XXVI* (Sant Feliu de Guíxols, 2007); *Los hicsos y su conquista de Egipto* (Sabadell, 2015) y, junto a la doctora Seco Álvarez, *Tutankhamón en España. Howard Carter, el duque de Alba y las conferencias de Madrid* (Sevilla, 2017). Con este último libro obtuvieron el premio Manuel Alvar de Estudios Humanísticos.

### **OLGA M.ª MEDINA LORENTE**

Olga M.ª Medina Lorente es Licenciada en Bellas Artes y Máster en Conservación y Restauración de esculturas y materiales arqueológicos por la Universidad Politécnica de Valencia. Ha participado en proyectos competitivos de I+D+i desarrollados en Ecuador y Guatemala. Asimismo, ha realizado y colaborado en cursos de formación en conservación y restauración de materiales arqueológicos a nivel nacional e internacional. También es coautora de varias publicaciones y libros relacionados con dicha especialidad. Actualmente es doctoranda en la Universidad Politécnica de Valencia en el programa de postgrado en *Conservación y restauración de bienes culturales* con una tesis dedicada a la *Investigación de tratamientos de conservación y restauración mediante recursos naturales para el descubrimiento y puesta en valor de una estructura piramidal preincaica en Ecuador*, bajo la dirección de la profesora Begoña Carrascosa Moliner.

### **M.ª ISABEL MOTA LÓPEZ**

M.ª Isabel Mota López es licenciada en Ciencias Geológicas y doctora en Procesos y Recursos Geológicos

por la Universidad Complutense de Madrid. Desde el año 2000 forma parte del Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de Construcción (INTRMAC), perteneciente a la Junta de Extremadura. Sus actuaciones profesionales están ligadas a los diferentes materiales de construcción, como especialista en la caracterización petrográfica y petrofísica de materiales en el estudio de bienes inmuebles y rocas industriales. Sus principales líneas de investigación se centran en los geomateriales, el patrimonio arquitectónico, las técnicas de auscultación no destructiva y semidestructiva, las nuevas tecnologías de materiales, la sostenibilidad y el medioambiente. Ha sido investigadora en más de 25 proyectos de I+D+i de diferentes temáticas, en convocatorias regionales, nacionales y europeas. Es miembro del grupo de investigación INTRMAC de la Junta de Extremadura (RNM027). Tiene en su haber más de 30 publicaciones científicas y divulgativas en revistas nacionales e internacionales. Es miembro de los siguientes Grupos: Comité de Laboratorios y Centros Tecnológicos S/5 Piedra Natural, Grupo de Trabajo de Laboratorios de Piedra Natural (GTLPN), Red CONSTRUROCK (Red científico-técnica vinculada a la piedra natural y su relación con el Patrimonio Histórico-Monumental) y del Grupo de Trabajo de Patrimonio dependiente de la PTEC.

### **JORGE MOYA MUÑOZ**

Jorge Moya Muñoz es arquitecto por la Universidad de Granada, Máster en Arquitectura y Patrimonio Histórico por la Universidad de Sevilla en colaboración con el IAPH y el Patronato de la Alhambra, y Máster en Peritación y Reparación de Edificios por la Universidad de Sevilla. En la actualidad disfruta de una beca FPI en el Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica de la ETSA de Sevilla vinculado al proyecto I+D+i TUTSOSMOD. Miembro del grupo de investigación HUM 799 «Estrategias de Conocimiento Patrimonial» de la Universidad de Sevilla. Ha formado parte del equipo técnico de los proyectos europeos Erasmus + relacionados con la construcción con tierra: HELPS (Humanity Earth Life Population Solidarity) y de BION (Building Impact Zero Network). Coordinador de las Jornadas Patrimoniales de Arquitectura Construida en Tierra de Oria. Recibió uno de los premios Terra Ibérica en el año 2019.

### **IGNACIO MUÑIZ JAÉN**

Ignacio Muñoz Jaén es licenciado en Geografía e Historia, especialidad en Arqueología, con formación

en ecoturismo, desarrollo rural y didáctica del patrimonio. Es arqueólogo municipal y director del Museo Histórico de Almedinilla-Ecomuseo del río Caicena desde 1994 en la localidad de Almedinilla (Córdoba).

### **MARÍA DEL MAR MURIEL (LA MARI MURIEL)**

La Mari Muriel es artista plástica criada en Sevilla, formada en la especialidad de pintura y grabado en la Facultad de Bellas Artes, escenografía en el Centro Andaluz de Teatro y alfarería en la Escuela de Artes. Pinta, ilustra y diseña y, más recientemente, ha comenzado con producción cerámica. Su obra se expresa en distintos formatos y soportes, desde los muros y puertas al papel, cerámica, seda, madera... Se identifica con el movimiento feminista y uno de los objetivos que persigue al ilustrar es la transformación social, el debate y el pensamiento crítico a través del arte. Su obra es colorista, de trazos fuertes, orgánica y el Sur es parte de su identidad como mujer andaluza y artista.

### **ANTONIO JESÚS ORTIZ VILLAREJO**

Antonio Jesús Ortiz Villarejo es doctor en Arqueología Espacial por la Universidad de Jaén, habiendo realizado su tesis doctoral sobre el yacimiento arqueológico de Giribaile (Vilches, Jaén). Posee una amplia trayectoria de más de una década como arqueólogo profesional y en la actualidad ha iniciado su propia línea de investigación basada en la aplicación de las distintas técnicas de Teledetección Remota (análisis de imágenes satelitales, LiDAR, y fotogrametría aérea) aplicadas al estudio del paisaje histórico y restos arqueológicos.

### **ANTONIO PIZZO**

Antonio Pizzo es doctor por la Universidad Autónoma de Madrid. Es científico titular del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y actualmente director de la Escuela Española de Historia y Arqueología en Roma (EEHAR-CSIC). Ha participado y dirigido numerosas excavaciones arqueológicas (e.g. teatro y anfiteatro de Mérida, *Contribuita Iulia Ugultunia*, Arco di Iano en Roma) y diferentes proyectos de investigación. De entre estos últimos, financiados por el Plan Estatal I+D+i, destacan los dedicados al análisis técnico de la arquitectura romana de la Lusitania. Es especialista en los campos disciplinares de la Arqueología de la Arquitectura y



la Arqueología de la Construcción, sobre lo que ha publicado monografías y artículos en diferentes revistas especializadas. Entre ellas destaca la dedicada a Las técnicas constructivas de la arquitectura pública de *Augusta Emerita* (2010), y dos volúmenes dedicados a los procesos de transmisión de conocimientos teóricos y técnicos en arquitectura. Es uno de los promotores y editores de la serie *Arqueología de la Construcción* publicada en *Anejos de Archivo Español de Arqueología*.

### ARACELI RODRÍGUEZ AZOGUE

Araceli Rodríguez Azogue es licenciada en Geografía e Historia con especialidad en Prehistoria y Arqueología por la Universidad de Sevilla, Máster en Espacio expositivo y Museografía creativa por la Universidad Politécnica de Cataluña en 2010 y cofundadora de la empresa Arqueología y Gestión S.L. Ejerce como profesional desde el año 1997, llevando a cabo diversas actividades en el campo del patrimonio histórico arqueológico, entre las que destacan las tres campañas de excavaciones realizadas entre los años 2002-2005 en el yacimiento de El Carambolo (Cáceres, Sevilla) y la excavación de la necrópolis tartésica del yacimiento de la Angorrilla (Alcalá del Río, Sevilla). A lo largo de su carrera profesional ha prestado especial dedicación a la arqueología de la arquitectura con numerosas intervenciones en este campo. Desde el año 2014 dirige un proyecto de investigación arqueológica en el yacimiento Nuraghe Candelargiu, en el término de San Giovanni Suergiu, Sulcis Iglesias, Cerdeña (Italia).

### REYES RODRÍGUEZ GARCÍA

Reyes Rodríguez García es doctora en Química. Es profesora en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas I y responsable del Laboratorio de Construcción de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Sevilla. Pertenece al grupo del PAIDI *Estrategias de conocimiento patrimonial* (HUM 799). Su principal línea de investigación se basa en el análisis de materiales naturales y derivados, su caracterización aplicada a las técnicas y revestimientos en la construcción tradicional y el establecimiento de protocolos para optimizar el conocimiento de ellos, tanto en construcción como en trabajos de rehabilitación. Ha dirigido tres tesis doctorales y más de una veintena de trabajos académicos de fin de estudios. Es miembro fundador de la asociación TERRAND. Su actividad científica de los últimos años se refleja en numerosas publicaciones

en revistas especializadas, capítulos en obras colectivas y participación en congresos y reuniones, así como la participación, como investigadora, en tres proyectos competitivos de I+D+i, así como tres contratos técnicos.

### ESTHER RODRÍGUEZ GONZÁLEZ

Esther Rodríguez González es investigadora postdoctoral Juan de la Cierva –incorporación en el Instituto de Arqueología de Mérida (CSIC-Junta de Extremadura). Como miembro del equipo de investigación del proyecto nacional *Construyendo Tarteso 2.0. Análisis constructivo, espacial y territorial de un modelo arquitectónico en el valle medio del Guadiana*, codirige las excavaciones arqueológicas desarrolladas en el yacimiento de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz). Es autora de diferentes trabajos de investigación en torno al estudio de la cultura tartésica en el valle medio del Guadiana, entre los que cabe destacar la monografía *El poblamiento del valle medio del Guadiana durante la I Edad del Hierro* (CSIC, 2018). Compagina la labor investigadora con la divulgación, siendo Investigadora Principal del proyecto de la FECYT *Tarteso en Comunidad*. Fruto de esta labor es la publicación del volumen *Arqueología y Procomún. Guía para el desarrollo de procesos de ciencia comunitaria en el rural* (IAM-CSIC, 2020).

### OLIVA RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ

Oliva Rodríguez Gutiérrez es doctora en Geografía e Historia, especialidad en Arqueología por la Universidad Autónoma de Madrid. Desarrolló su etapa posdoctoral en la Università di Roma «La Sapienza» y la Escuela Española de Historia y Arqueología en Roma-CSIC, en el marco del proyecto de investigación en la ciudad de *Tusculum* (Lazio, Italia). En 2015 se incorporó al Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Sevilla, donde es catedrática de Arqueología desde 2021. Se integra en el Grupo de investigación del PAIDI *Historiografía y Patrimonio andaluz* (HUM-402). En los últimos años ha dirigido proyectos de investigación competitivos del Plan Estatal de I+D+i dedicados a cuestiones relacionadas con las técnicas edilicias y los materiales constructivos en las ciudades romanas del valle del Guadalquivir, prestando especial atención a su vertiente económica y organizativa. Fruto de estas investigaciones han sido numerosos trabajos científicos en diferentes obras colectivas y revistas especializadas, así como experiencias didácticas y prácticas vinculadas con el uso de los materiales de

construcción en época antigua. Actualmente dirige el proyecto *Circ-E. Logistics in the ancient city*, también del Plan Estatal, donde aborda, junto con un equipo netamente interdisciplinar, diferentes aspectos relativos a la logística de las ciudades antiguas en clave de economía circular, teniendo, como laboratorio principal de referencia el yacimiento arqueológico de *Baelo Claudia* (Tarifa, Cádiz).

### **JOSÉ DANIEL RODRÍGUEZ MARISCAL**

José Daniel Rodríguez Mariscal es doctor en Ingeniería con una tesis dedicada al análisis experimental del comportamiento mecánico de la tierra como material de construcción. Es actualmente profesor sustituto interino en el Departamento de Mecánica de medios continuos y Teoría de estructuras de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla. Sus intereses científicos y académicos se centran en el comportamiento mecánico de sólidos, las metodologías experimentales para la obtención de propiedades mecánicas, las energías renovables y la cooperación internacional. Vinculado con la construcción con adobes y tapia participa, desde hace siete años, en diferentes proyectos, publicaciones científicas y eventos de difusión en esta materia. Asimismo, ha colaborado activamente con la asociación TAPH-TAPH. *Bioconstrucción, Arquitectura y Paisaje holístico* en la promoción y desarrollo del interés social por la autoconstrucción y las prácticas de construcción tradicional. En la actualidad participa en una línea de investigación dedicada a la caracterización mecánica de la tierra como material constructivo por medio de técnicas no destructivas.

### **F. JAVIER SANTOS ARÉVALO**

F. Javier Santos Arévalo es doctor en Física, especializado en la técnica de datación por radiocarbono mediante Espectrometría de Masas con Acelerador. Como responsable del Servicio de Datación del Centro Nacional de Aceleradores (Universidad de Sevilla, CSIC, Junta de Andalucía), coordina la comunicación con los usuarios y es la persona de contacto para el asesoramiento acerca del servicio. Además, es el responsable de llevar a cabo las medidas por AMS y del análisis posterior de los datos, realizando los informes de datación con los resultados obtenidos. Desde el año 2007 en que se inauguró el servicio, se han obtenido más de 4800 dataciones para un gran número de usuarios de todo tipo. Una parte importante de su trabajo es la divulgación de la técnica de datación, en su base y en los aspectos prácticos, algo que considera

fundamental para que los usuarios puedan utilizar convenientemente esta herramienta. Así, ha participado en una decena de congresos o seminarios organizados para este fin, además de impartido diversas charlas a alumnos de grado y máster.

### **ANTONIO M. SÁEZ ROMERO**

Antonio M. Sáez Romero es profesor ayudante doctor en el Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Sevilla y miembro del Grupo del PAIDI *De la Turdetania a la Bética* (HUM 152). A lo largo de las dos últimas décadas ha desarrollado numerosos trabajos de campo y estudios de materiales centrados fundamentalmente en la arqueología de la producción, tomando como principal caso de estudio la Bahía de Cádiz en el I milenio a.C. Estos intereses motivaron su tesis doctoral *Alfares y saladeros de Gadir. Una aproximación a la economía conservera de la Bahía de Cádiz en época púnica y tardopúnica (siglos VI-I a.C.)* (2014), además de un buen número de artículos y monografías. Desde aproximaciones tipológicas, tecnológicas, arqueométricas y experimentales ha indagado acerca del importante papel de la fabricación y comercialización de salazones de pescado, la pesca, la manufactura cerámica y el rol histórico de estos factores en el desarrollo de la región a lo largo del I milenio a.C. Asimismo, destaca la participación en proyectos arqueológicos en el exterior desarrollados en Italia, Gibraltar y Marruecos, así como la dirección en Grecia del *Corinth Punic Amphora Building Project* (desde 2014, US-ASC-SA-BSA), del Proyecto Ergasteria (FEDER US, 2020-2022) y del GREPURE Project (2020-2022, US-FBBVA), así como la colaboración con el CAS-IAPH en el estudio de la dinámica portuaria y comercial del área de La Caleta (Cádiz) en la Antigüedad.

### **MYRIAM SECO ÁLVAREZ**

Myriam Seco Álvarez es profesora asociada en el Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Sevilla. Licenciada en Historia con la especialidad de Historia Antigua y Medieval (1990) y doctora en Historia (1995) por la misma universidad. Desarrolló una estancia de investigación en el Instituto de Egiptología de la Universidad de Tubinga entre los años 1992 y 1994. Actualmente, en colaboración con el Ministerio de Antigüedades Egipto, dirige las excavaciones del templo de Milleones de Años de Tutmosis III en Luxor. Ha trabajado con el Instituto Arqueológico Alemán en la necrópolis de Dahshur, con el Centro de Estudios Alejandrinos en el yacimiento de Qait Bay en Alejandría, con

el Instituto de Arqueología Náutica en el yacimiento de Sadana Island en el Mar Rojo y en el proyecto de excavación del Templo Funerario de Amenophis III en Luxor, entre otros. También ha dirigido las excavaciones de un pecio fenicio en Tiro (Líbano). Fue coordinadora de la exposición *120 Años de Arqueología española en Egipto*, inaugurada en el Museo de El Cairo en 2009. Participó en el rodaje de la película, en formato IMAX, *El misterio del Nilo*. Es autora de varios libros y ha escrito numerosos artículos en revistas especializadas. Es académica correspondiente en Egipto de la Real Academia de Bellas Artes Santa Isabel de Hungría de Sevilla.

### **MARIO SOLÍS MUÑIZ**

Mario Solís es profesor titular en el Departamento de Mecánica de medios continuos y Teoría de estructuras en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla. Su labor investigadora y de transferencia de conocimiento abarca, entre otras líneas de trabajo, la caracterización experimental y el estudio numérico del comportamiento de materiales y estructuras. Sus investigaciones relacionadas con la construcción y arquitectura con tierra se iniciaron hace diez años a raíz de su implicación en actividades y proyectos de cooperación al desarrollo. En este tiempo ha publicado diferentes trabajos científicos, ha dirigido distintos trabajos académicos y ha sido el investigador principal de tres proyectos de investigación relacionados con la construcción con adobe y tapia. Como resultado de todo ello, las aportaciones científicas se han centrado en la obtención de valores de resistencia y leyes de comportamiento de estos materiales, el análisis de diversos aspectos metodológicos asociados con la determinación de estas propiedades mediante distintos tipos de ensayos mecánicos, la aplicación de modelos matemáticos para la simulación de su comportamiento mecánico-estructural y la aplicación y desarrollo de herramientas y técnicas para la inspección de construcciones de tierra mediante ensayos no destructivos basados en la determinación de velocidades de propagación de ondas elásticas.

### **MIGUEL ÁNGEL TABALES RODRÍGUEZ**

Miguel Ángel Tabales Rodríguez es catedrático de Historia de la Construcción y Arqueología de la

Arquitectura en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas 2 de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación en la Universidad de Sevilla. Dirige el proyecto de investigación Arqueológica del Real Alcázar de Sevilla desde 1997. Sus principales líneas de investigación se centran en la Arqueología de la Arquitectura, tema sobre el que ha escrito numerosas publicaciones. La construcción medieval y la arqueología del período islámico son el hilo argumental en el que se insertan la mayor parte de sus investigaciones y proyectos. Destacan los estudios en apoyo a la rehabilitación de edificios emblemáticos como el Alcázar de Sevilla, Catedral de Sevilla, Conventos del Carmen, San Clemente, Santa Clara y Santa María de Jesús en Sevilla, Palacios de Conde de Ibarra, Castillos de Jimena de la Frontera o San Romualdo en San Fernando, Hospital de las Cinco Llagas de Sevilla, etc.

### **LIVIA TIRABASSI**

Livia Tirabassi es actualmente doctoranda en la Ghent Universitaet y en la Università di Verona, donde está llevando a cabo un estudio titulado *Modelización del poblamiento agrario y minero de época púnica en el Mediterráneo occidental: estudio comparado entre Cerdeña y Andalucía*. Es investigadora asociada del ISPC-CNR, con el que colabora en varios proyectos en Cerdeña, Líbano y Túnez, además de formar parte del consejo editorial de la Colección de Estudios Fenicios. Ha sido responsable del proyecto de prospección sistemática del yacimiento fenicio-púnico de Pani Loriga (Santadi, Cerdeña). Colabora con la Cátedra de Arqueología griega de la Ghent Universitaet en el proyecto arqueológico en el yacimiento de Thorikos (Grecia) y con el Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Sevilla en el Cerro Macareno (Sevilla).

A lo largo de estos años ha adquirido experiencia en la metodología y el procesamiento de modelos digitales tridimensionales, así como en la gestión y el procesamiento de datos mediante SIG. En 2021 coordinó la 15ª edición de la conferencia internacional ArcheoFOSS, dedicada a nuevas tecnologías en arqueología. Sus principales intereses científicos son el urbanismo, la topografía y la arqueología del paisaje del área fenicio-púnica mediterránea en el primer milenio a.C.



**Colección Spal Monografías Arqueología**  
Editorial Universidad de Sevilla

Esta obra es fruto de la colaboración interdisciplinaria entre especialistas de diferentes ámbitos, que confluyen en su interés por la arquitectura en tierra y otros materiales de construcción asociados, empleados en la Antigüedad y en época histórica. Los arqueólogos e historiadores son los encargados de caracterizar las arquitecturas en tierra para comprender aspectos tan diferentes como la logística de las obras o el abastecimiento de materiales que, en último término, informan de las estructuras socioeconómicas. Unos instrumentos fundamentales para dicha caracterización son hoy también las aproximaciones analíticas y arqueométricas que aportan especialistas desde la física, la química, la ingeniería o la arquitectura, entre otras disciplinas. No falta una última aproximación, absolutamente necesaria en el panorama actual de la vuelta a formas más sostenibles de construcción, a los principios de la arquitectura vernácula, a sus valores patrimoniales y a las experiencias que, desde la reconstrucción práctica de las técnicas, permiten hacer de la construcción en tierra cruda una solución plenamente vigente. La aportación de antropólogos, arquitectos y arqueólogos recupera estos materiales y técnicas en las tareas de nueva edificación pero, sobre todo, en las intervenciones en bienes patrimoniales.

