



Escuela Técnica Superior de
Ingeniería de Edificación

EL ENCOFRADO: ORIGEN DE TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS ROMANAS E ISLÁMICAS

ESTUDIO SOBRE EL USO DEL OPUS CAEMENTICIUM Y EL TAPIAL ISLÁMICO EN SEVILLA.
ANÁLISIS COMPARATIVO E HIPÓTESIS CONSTRUCTIVAS

PROYECTO FIN DE GRADO
2021-2022
Septiembre 2022

Tutora: Pilar Civantos Nieto
Alumna: M^ª Eugenia González Sánchez

“Lo importante es no dejar de hacerse preguntas.
La curiosidad tiene su propia razón de existir”

Albert Einstein, Revista LIFE 1.955

Al leer de manera casi casual esta frase del tan genial científico sentí la obligación de compartirla en el Proyecto Fin de Grado.

Para una persona con curiosidad, las preguntas son la mejor de las aliadas en el crecimiento intelectual, sensorial y cognitivo.

Las preguntas pueden tener o no respuestas al momento, e incluso quedar en un limbo incierto y atemporal. Simplemente es más interesante cuestionarse, interrogarse e incluso interpelarse sobre las dudas que nos asaltan que encontrar una solución concreta.

En ese proceso de búsqueda es donde aprendemos más, tanto de lo que se pretende conocer como de lo que no era objeto de nuestra curiosidad.

¡Sigamos haciéndonos preguntas!

AGRADECIMIENTOS

A Alfonso y Eugenia, mis padres, por sembrar en mí la inquietud y el interés por el crecimiento intelectual, como uno de los mejores legados que podían ofrecerme.

Sus ejemplos de esfuerzo y superación a través del trabajo constante e incluso a veces sin tregua, siempre han sido para mí un referente a imitar y el motivo para continuar aun cuando las circunstancias son imprevistas y adversas.

Espero que la ilusión por seguir aprendiendo intelectual y personalmente muestre que es el inconfundible reflejo de sus vidas¹.

¹ Esta dedicatoria a mis padres fue escrita el día antes del fallecimiento de mi madre, 17 de julio de 2022. Descansen juntos y en paz para siempre.

Resumen

La conservación y mantenimiento de los edificios son algunas de las competencias que pueden ejercer los profesionales Graduados en Edificación. Estos son campos de trabajo especiales, interesantes y versátiles, donde se combinan la formación adquirida y el estudio constante y actualizado sobre métodos, sistemas y/o tecnologías constructivas que se precisan para mantener las adecuadas condiciones estabilidad, seguridad y ornato en un determinado inmueble.

La dedicación profesional a la conservación y restauración de edificaciones requiere poseer conocimientos sobre la ejecución de las obras, los procedimientos constructivos y las posibles patologías o daños que se pueden producir durante el transcurso del paso del tiempo y del uso al que se destine. Así mismo, en Restauración existe una extensa área de trabajo relacionada con la puesta en valor y sobre todo con la conservación de edificaciones que conforman el patrimonio histórico.

Englobado en este ámbito, se presenta una novedosa investigación sobre la importancia del ENCOFRADO, como pieza auxiliar y necesaria para la puesta en obra de masas en estado plástico. Estos moldes han permitido el crecimiento constructivo y desarrollo edificatorio desde la antigüedad. Sin embargo y a pesar de su relevada importancia, han sido inadvertidos en las descripciones de procedimientos constructivos de culturas pasadas.

El presente Proyecto Fin de Grado aborda el estudio y análisis histórico-técnico sobre el opus caementicium y el tapial islámico que fueron técnicas constructivas que precisaron del encofrado para su desarrollo y evolución. Su empleo fue masivo durante las épocas de mayor expansión de la cultura romana e islámica en los territorios que conquistaron como fue Sevilla.

Actual y afortunadamente tanto en la ciudad como en algunas localidades próximas del Aljarafe sevillano existen suficientes evidencias arquitectónicas y edificaciones de ambas culturas, donde se ha desarrollado la experiencia de enfrentarse in situ a la observación de las huellas de los encofrados en distintos elementos constructivos.

La finalidad de este proyecto de investigación es ofrecer una apuesta técnica y reflexiva sobre como el uso de simples elementos de moldeo (encofrados) originaron la difusión y sistematización de procesos constructivos y como la indagación de sus improntas permitirá obtener nuevos datos para su mejor conocimiento y conservación.

Palabras Clave:

Conservación, Restauración, Investigación, Encofrado, Técnicas constructivas.

Abstract

The conservation and maintenance of buildings are some of the skills that professional Building Graduates can exercise. These are special, interesting and versatile fields of work, where the training acquired and the constant and up-to-date study of construction methods, systems and/or technologies that are required to maintain the appropriate stability, safety and adornment conditions in a given property are combined.

Professional dedication to the conservation and restoration of buildings requires having knowledge about the execution of works, construction procedures and possible pathologies or damage that may occur during the passage of time and the use to which it is intended. Likewise, in Restoration there is an extensive area of work related to the enhancement and, above all, the conservation of buildings that make up the historical heritage.

Included in this area, a new research is presented on the importance of FORMWORK, as an auxiliary and necessary piece for the installation of masses in a plastic state. These molds have allowed constructive growth and building development since ancient times. However, despite their importance, they have been unnoticed in the descriptions of construction procedures of past cultures.

This Final Degree Project deals with the historical-technical study and analysis of the opus caementicium and the Islamic mud wall, which were construction techniques that required formwork for their development and evolution. Its use was massive during the periods of greatest expansion of Roman and Islamic culture in the territories they conquered, such as Seville.

Currently and fortunately both in the city and in some nearby towns in Seville's Aljarafe there is sufficient architectural evidence and buildings of both cultures, where the experience of facing in situ the observation of the traces of the formwork in different construction elements has been developed.

The purpose of this research project is to offer a technical and thoughtful approach to how the use of simple molding elements (formwork) originated the dissemination and systematization of construction processes and how the investigation of their imprints will allow obtaining new data for better knowledge and conservation.

Keywords:

Conservation, Restoration, Research, Formwork, Construction techniques.

ÍNDICE

1. Introducción.....	7
2. Justificación.....	10
3. Objetivos.....	11
4. Estado de la cuestión	12
5. Metodología.....	14
6. El origen y antecedentes históricos del encofrado en la Antigüedad y su uso como técnica constructiva.....	17
6.1.- EMPLECTON	19
6.2.- OPUS CAEMENTICIUM	20
6.3.- TAPIAL	23
7. La sistematización en la construcción romana, el <i>Opus Caementicium</i>	26
7.1.- DEFINICIÓN	26
7.2.- TIPOLOGÍAS SEGÚN SU PUESTA EN OBRA	30
7.3.- TIPOS DE ENCOFRADOS EMPLEADOS	32
7.4.- MEDIOS AUXILIARES O ANDAMIOS.....	38
7.5.- USOS.....	42
a) CIMENTACIÓN	42
b) FÁBRICAS MURARIAS	44
c) ELEMENTOS DE CUBRICIÓN	45
7.6.- EVOLUCIÓN	50
8. Resurgimiento y difusión de la construcción en tierra, el <i>tapial islámico</i> . ..	52
8.1.- DEFINICIÓN	52
8.2. TIPOLOGÍAS	64
8.3. PUESTA EN OBRA.....	66
8.4. MEDIOS AUXILIARES O ANDAMIOS.....	71
8.5. USOS.....	72
a) DOMÉSTICO.....	72
b) CIVIL Y MILITAR.....	73
8.6. EVOLUCIÓN	74
9. Estudio sobre el uso de técnicas constructivas encofradas romanas e islámicas en Sevilla	78
9.1. EL OPUS CAEMENTICIUM EN ITÁLICA	79
9.2. EL TAPIAL EN EL ÁREA DE <i>ISBILYA</i> Y AL -XARAF.....	110

10. Análisis comparativo	119
10.1.- CONDICIONANTES SOCIO-HISTÓRICOS.....	119
10.2.- ANÁLISIS MATERIAL	125
10.3.- ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	135
10.4.- ANÁLISIS CONSTRUCTIVO	141
11. Conclusiones y líneas futuras de investigación	145
11.1.- CONCLUSIONES	145
11.2.- LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN	151
12. Bibliografía y fuentes de información.....	154
13. Anexos	164
13.1.- ESTUDIO SOBRE EL USO DEL <i>OPUS CAEMENTICIUM</i> EN LA CIUDAD ROMANA DE <i>ITÁLICA</i> .	164
13.2.- ESTUDIO SOBRE EL USO DEL <i>TAPIAL ISLÁMICO</i> EN RECINTOS AMURALLADOS DE SEVILLA, SANLÚCAR LA MAYOR Y SAN JUAN DE AZNALFARACHE	177
13.3.- HIPÓTESIS DEL ENCOFRADO DE MUROS JUNTO AL TEATRO ROMANO DE <i>ITÁLICA</i>	185

1. Introducción

Con la inquietud y curiosidad por seguir en constante formación y crecimiento profesional, se produce el regreso a la Universidad para cursar el Grado en Edificación. Esta nueva oportunidad ha permitido seguir avanzando en el conocimiento, entre otros y en concreto, sobre Rehabilitación, Restauración y Conservación del Patrimonio Arquitectónico.

En la disciplina de la Arquitectura, la construcción es el vínculo entre el diseño y su realidad física. Descubrir o saber cómo se ejecutan los elementos constructivos nos acerca al conocimiento de su finalidad y cuando la patología, el deterioro o el daño se sobrevienen en una edificación, es cuando toda la sabiduría es poca para subsanar.

Supone un reto apasionante detectar causas y posibles soluciones a efectos internos o externos a los que las edificaciones se exponen y éste es otro nexo de unión con la tutora de este Proyecto Fin de Grado, Pilar Civantos Nieto. Comparte la necesidad de indagación por seguir creciendo en el conocimiento técnico, histórico y humanista. Por lo que este proyecto es una oportunidad para seguir investigando bajo su profesionalidad y amplia experiencia, quedando inmensamente agradecida por toda su entrega y ayuda.

La motivación personal se acrecentó hace años mientras cursaba el Máster Universitario en Arqueología de la Universidad de Sevilla (2.010-2012) y donde nace el vínculo con Pilar. Aquella experiencia permitió potenciar la capacidad para trabajar en equipos multidisciplinares, de sorprenderse ante evidencias o hallazgos casuales y comprender que el estudio, la indagación y la investigación de culturas y civilizaciones pasadas son una inagotable fuente de información. La lectura adecuada de las huellas del pasado que todavía están presentes en los vestigios, yacimientos y por supuesto en edificaciones, nos pueden ofrecer respuestas a dudas o preguntas del presente.

La investigación y reconstrucción del pasado a través del conocimiento de las técnicas o sistemas constructivos, materiales, equipos y medios auxiliares, permite ser aplicado también al campo de la construcción contemporánea, sujeta a numerosas variables sociales, económicas, medioambientales e incluso políticas, pero en definitiva con la finalidad de ser proyectadas al futuro. El conocimiento siempre es la mejor herramienta que los profesionales disponen para poder diagnosticar y detectar patologías en las edificaciones y así poder conseguir corregir o implementar las medidas correctoras o paliativas necesarias.

EL ENCONFRADO: ORIGEN DE TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS ROMANAS E ISLÁMICAS pretende ser un avance hacia el conocimiento más profundo de estos moldes empleados desde tiempos remotos. Concretamente desde la antigüedad a la edad media, determinándose su empleo en la zona de estudio, Sevilla y su entorno próximo donde existen huellas del uso de técnicas constructivas encofradas.

Los encofrados como medios auxiliares generalmente han pasado desapercibidos en el proceso constructivo, tanto es así que, en la inmersión en fuentes documentales del pasado, apenas tienen mención o más bien inexistentes. Sin embargo, se apuesta por su estudio como una nueva vía de información sobre técnicas constructivas pasadas que forman parte de nuestro patrimonio heredado. Se pretende demostrar que el encofrado, como elemento de moldeo, contribuyó al nacimiento, desarrollo y sistematización de técnicas constructivas que a su vez permitieron el crecimiento edilicio de culturas tan importantes como la romana y la islámica.

Se inicia este Proyecto Fin de Grado con el estudio sobre el origen y antecedentes del encofrado, y su uso como técnica constructiva. El encofrado se convirtió en necesario e imprescindible para el desarrollo de técnicas constructivas como el *emplecton*, *opus caementicium* y el *tapial islámico*. Sin los encofrados estas técnicas de construcción no hubieran alcanzado ni la forma, ni la solidez necesaria, mientras los materiales compositivos endurecían o se acoplaban. De manera casi inadvertida contribuyeron al uso generalizado de materiales como el mortero de cal o la argamasa apisonada, a la planificación de tareas de puesta en obra y en consecuencia a la sistematización de los procesos constructivos, generándose un método o técnica.

Señalada su relevancia, sin la intención de robar protagonismo y motivada por la pretensión de avanzar en el conocimiento más profundo de los encofrados, el estudio tratará sobre dos sistemas constructivos, el *opus caementicium* y el *tapial islámico*. Se centra la atención en ellos porque fueron muy utilizados y difundidos durante las épocas de mayor desarrollo, crecimiento y expansión de la cultura romana y la islámica en los territorios conquistado como fue la Península Ibérica. Cada uno de ellos serán definidos constructivamente, se determinarán tipologías, puesta en obra, y medios auxiliares, sus usos y la evolución alcanzada.

La importancia que estos sistemas constructivos alcanzaron en cada una de las culturas referidas, lleva al estudio sobre el uso de los encofrados en Sevilla y su entorno. La ciudad romana, *Hispalis*, o la islámica, *Isbilya*, supuso un referente estratégico para ambas civilizaciones debido a sus características geográficas. Su enclave junto a la margen izquierda de un río navegable y la posibilidad de comunicación terrestre con otras zonas de gran riqueza natural (agrícola y minera), fueron motivaciones suficientes para que éstos e incluso sus predecesores (fenicios, tartesos, turdetanos) consideraran esta zona privilegiada para el comercio interior y exterior. Debido a ello, la ciudad se convierte en una posición atractiva para ser ocupada, asentarse y convertirla en la colonia romana (s. I a.C.) o en capital del al-Andalus (s. XI d.C.).

La indagación sobre el uso del encofrado en Sevilla y su entorno se apoya empíricamente en el estudio sobre sus huellas e improntas (apartado 9 y anexos del proyecto). Afortunadamente en Sevilla se conservan numerosas evidencias arquitectónicas y arqueológicas de esas épocas y culturas.

Los datos de campo, mediciones, fotografías, croquis e ilustraciones se realizan sobre paramentos y restos de edificaciones existentes en la ciudad hispalense y su entorno inmediato. En la Sevilla romana, *Hispalis*, se ha estudiado la cercana ciudad residencial romana de *Itálica* y para la Sevilla islámica, *Isbilya*, los restos amurallados ubicados en la propia ciudad, Muralla de la Macarena y Jardines del Valle, así como los que pertenecieron al distrito islámico del Aljarafe (*al-Xarafa*), con cabecera en San Juan de Aznalfarache y la destacable alquería de Sanlúcar la Mayor.

Para proseguir ampliando el conocimiento sobre encofrados romanos e islámicos en Sevilla, se realiza la parte analítica del proyecto comparando aspectos y condicionantes socio-históricos composición material, estructural y constructiva. La reflexión a través de la comparativa nos lleva a la confrontación en aspectos comunes y divergentes. Es necesario comprender cómo se desarrollaron y conocer cómo se construyeron. Sólo así se llegará a propuestas de conservación y protección acertadas.

En definitiva, con este Proyecto Fin de Grado se espera resolver ciertos interrogantes que se pueden plantear como:

- ¿Qué civilización o pueblo comienza a emplear los encofrados por primera vez?
- ¿Qué convierte su uso en necesario para el desarrollo de la arquitectura y forma de construir en culturas del pasado?
- ¿Cómo se extiende el empleo de técnicas constructivas encofradas?
- ¿El uso del encofrado intervino en la sistematización de procesos constructivos?
- Constructivamente ¿Qué propiedades y posibilidades ofrecía su uso?

Y al mismo tiempo, colocar a estas simples hormas o formas en piezas que también contribuyan a ampliar el estudio sobre técnicas constructivas antiguas e incluso que en futuras investigaciones, los encofrados sean advertidos como una fuente más de datos a considerar para la conservación del patrimonio.

Aunque como ya se advirtió, *Lo importante es no dejar de hacerse preguntas.*

2. Justificación

La formación de Grado en Edificación en la Universidad de Sevilla precisa de un proyecto final que, entre otras cuestiones, debe ser un reflejo del conocimiento adquirido, mostrando que el futuro profesional gestionará y controlará todos aquellos procesos que conlleva la construcción y ejecución de los edificios, el consecuente mantenimiento, así como su posible rehabilitación.

Es precisamente en el campo de la rehabilitación, restauración y conservación de edificaciones donde se engloba el presente Proyecto Fin de Grado. Especialmente se centra en la conservación del patrimonio inmueble heredado del pasado a través de la generación de vías de investigación sobre los sistemas, métodos o técnicas constructivas donde aún existe desconocimiento.

Además, teniendo en cuenta el marco legal relativo al Patrimonio Histórico de la Comunidad Autónoma de Andalucía (Ley 14/2007, de 26 de noviembre, del Patrimonio Histórico de Andalucía, «BOJA» núm. 248, de 19 de diciembre de 2007), y concretamente en su TÍTULO II. Conservación y Restauración, Artículo 22. Requisitos del proyecto de conservación, donde se indica que:

“1. Los proyectos de conservación, que responderán a criterios multidisciplinares, se ajustarán al contenido que reglamentariamente se determine, incluyendo, como mínimo, el estudio del bien y sus valores culturales, la diagnosis de su estado, la descripción de la metodología a utilizar, la propuesta de actuación desde el punto de vista teórico, técnico y económico y la incidencia sobre los valores protegidos, así como un programa de mantenimiento.

2. Los proyectos de conservación irán suscritos por personal técnico competente en cada una de las materias.”

Luego se advierte que la formación, el estudio y la capacidad para integrarse en equipos multidisciplinares son recursos necesarios para la participación en proyectos de conservación de bienes inmuebles pertenecientes al Patrimonio Histórico, y donde evidentemente el Graduado en Edificación también es personal técnico competente y cualificado.

El tema elegido EL ENCOFRADO: ORIGEN DE TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS ROMANAS E ISLÁMICAS está relacionado con la Conservación y Restauración del Patrimonio Histórico. Pretende crear una llamada de atención novedosa e innovadora, al menos desde la mirada de un profesional eminentemente técnico pues desde la óptica humanista, la Historia, la Arqueología o la Antropología, se han realizado numerosos estudios, tesis doctorales y publicaciones que muestran o describen someramente los elementos o sistemas constructivos romanos e islámicos. Sin embargo, la lectura que el profesional de la edificación puede hacer al respecto, asegura otra visión enfocada a la realidad constructiva y de la conservación que otros profesionales ajenos a esta disciplina no advierten.

Es por lo que el tema elegido se considera que cumple con los requisitos y expectativas de un proyecto fin del grado en edificación.

3. Objetivos

El Trabajo fin de grado que se presenta pretende demostrar que el encofrado fue un elemento de moldeado que contribuyó al nacimiento, desarrollo y sistematización de técnicas constructivas y que a su vez éstas permitieron el crecimiento edilicio de culturas tan importantes como la romana y la islámica.

Afortunadamente en nuestro país e incluso en nuestro entorno próximo, como Sevilla, se conservan numerosas evidencias arquitectónicas y arqueológicas de esas épocas y culturas pasadas, lo que supone poder investigar *in situ* y directamente sobre las huellas e improntas de los encofrados.

Este es el principal objetivo, pero es evidente que de manera indirecta se generan una serie de objetivos específicos que son:

- Demostrar la versatilidad que el profesional graduado en edificación posee para indagar e investigar sobre materias nuevas, diversas e innovadoras.
- Aunque es un trabajo individual, este tipo de estudios permite intercambiar conocimientos de otras disciplinas siendo necesario adquirir o mejorar la capacidad de trabajo en equipos multidisciplinares. El confrontar ideas, dudas, interrogantes con otros profesionales es fundamental para obtener la finalidad perseguida.
- Capacidad de razonamiento crítico que permita la comunicación con expertos en otras áreas con el objetivo de enriquecimiento profesional y personal. La diversidad de opiniones y el compartir información de otros campos, ciencias o técnicas supone enriquecer los resultados que se obtengan.
- Mostrar la capacidad que el profesional técnico posee para organizar, planificar y gestionar un trabajo de su competencia.
- Disponibilidad para ampliar conocimientos diversos y dispares para ser enfocados a un objetivo profesional.
- Saber aplicar los conocimientos adquiridos y la gestión de la información mediante la elaboración de argumentos que permitan proporcionar soluciones o alternativas dentro del área de la arquitectura y la construcción.

4. Estado de la cuestión

La elección del tema de este proyecto fin de grado tiene como principal motivación, investigar y aportar datos actualizados sobre los simples moldes o contenedores (encofrados) que permitieron generar técnicas constructivas que revolucionaron la construcción de culturas como la romana o la islámica.

Debe matizarse que las referencias específicas a los encofrados utilizados en la arquitectura antigua y medieval son escasas. Los numerosos autores que han investigado sobre la ejecución de elementos constructivos de esas épocas, normalmente se han centrado en éstos para comprender la expansión y desarrollo arquitectónico de las culturas que los emplearon.

Sin embargo, apenas han prestado atención a los elementos contenedores que utilizaban para ejecutarlos. Muestra de ello es la falta o escasez de iconografía o documentos antiguos que detallen los componentes o disposición de los encontrados. Esta afirmación se fundamenta en la existencia de documentación gráfica, escrita o escultórica sobre andamios, oficios, transporte de materiales y herramientas empleadas en la Antigüedad. Pero respecto a las formas, hormas o moldes que eran necesarios, no son ni siquiera mencionados en la joya que supone “Los diez libros de Arquitectura” de Vitruvio.

Quizás esta sea una de las causas que impulsa a centrar el estudio en los materiales y en las técnicas constructivas que necesitaban de un contenedor para conseguir consistencia. Al profundizar en ese conocimiento de éstas, se comprendan las razones que motivaron los cambios en la forma de construir en el pasado.

Durante el estudio de la documentación escrita e iconográfica se advierte que los autores que más relacionan técnicas constructivas de la Antigüedad son eruditos en la materia y poseían visiones técnicas e historicistas. Pero algunos realizaron sus investigaciones entre finales del siglo XVII y principios del XIX, como Choisy, Viollet-le-Duc y Guadet. Por supuesto que hay otros grandes referentes especializados en arquitectura antigua más contemporáneos, como es el caso de Jean-Pierre Adam. Arquitecto y arqueólogo francés que en su obra “La construcción Romana. Materiales y Técnicas” actualiza investigaciones de A. Choisy (1873), G. Giovannoni (1925) y J. Crema (1959), entre otros; enriqueciendo la documentación y el conocimiento sobre arquitectura y técnicas constructivas.

Especial mención merecen las investigaciones plasmadas en brillantes tesis doctorales como la de Jacinto Canivell (“Metodología de diagnóstico y caracterización de fábricas históricas de tapias”. Universidad de Sevilla, 2011) y la de Francisco Javier López Martínez (“Tapiaría en las fortificaciones medievales de la región de Murcia”. Universidad Politécnica de Valencia, 2003).

En ambas tesis se indaga escrupulosamente sobre el tapial en zonas de España donde la técnica no

ha desaparecido y todavía hay gran cantidad de edificaciones patrimoniales que son objeto de conservación y mantenimiento.

Por último y como finalidad personal está la continuación en la investigación iniciada en el Trabajo Fin de Master con enfoque arqueológico, pero que ahora será impulsada desde el punto de vista técnico, constructivo y arquitectónico.

La cuestión es seguir aportando nuevas interpretaciones, datos e hipótesis que enriquezca el conocimiento de un sencillo elemento auxiliar como es el encofrado y sobre técnicas constructivas romanas e islámicas.

5. Metodología

La propuesta metodológica se divide en tres bloques claramente diferenciados:

- FASE DOCUMENTAL: CONSIDERACIONES GENERALES, HISTÓRICAS Y TÉCNICAS

Hasta que se inicia la investigación, el camino recorrido ha precisado como base un estudio de documentación bastante extenso que ha sido enfocado fundamentalmente sobre determinados autores especializados en arquitectura, historia, ingeniería civil, etc.

Ha sido necesario para ello estructurar diversas áreas de conocimiento históricos y técnicos:

- Se comienza buscando datos generales sobre antecedentes históricos que permiten ubicar el origen del uso del encofrado. Ello deriva en el estudio de ciertas técnicas constructivas ancestrales y de la antigüedad que necesitaron de un molde u horma para ser ejecutadas. Es así cómo se determina que el *opus caementicium* y el *tapial* fueron sistemas constructivos que consiguieron el crecimiento, desarrollo y expansión de la cultura romana e islámica respectivamente en los territorios conquistados.
- Seguidamente se indaga en esos métodos de construcción que emplearon encofrados. Profundizando de forma gradual y documentalmente en ellos se establecerán una serie de consideraciones conceptuales relativas al uso, definición, tipologías, puesta en obra, medios auxiliares y evolución alcanzada. Esta es el área técnica de esta fase documental que es primordial para el análisis comparativo y las posibles hipótesis constructivas.
- Conocido los datos más generales, es necesario establecer un escenario de estudio más concreto poder realizar la investigación *in situ*. Se determina realizar el estudio documental sobre la ciudad de Sevilla y una determinada parte del Aljarafe ya que es sobradamente conocida la existencia de restos, evidencias y edificaciones de ambas culturas. Para ello, además de biografía específica también han sido consultados los Anuarios Arqueológico de Andalucía² desde el año s 1.996 al 2.008³.

Esta fase de la investigación permitirá despejar ciertos interrogantes que se han planteado y sobre

² Enlace visitado el día 11/04/2022 <https://www.juntadeandalucia.es/organismos/culturaypatrimoniohistorico/areas/bienes-culturales/actividades-arqueologicas/anuario-arqueologico.html>. "El Anuario Arqueológico de Andalucía es una publicación de la Secretaría General de Patrimonio Cultural que deriva de la regulación normativa que obliga a publicar⁹ todas las actividades arqueológicas que se realizan en la Comunidad Autónoma. Lleva publicándose, por tanto, desde el año 1985 con dos modificaciones en su historia. La primera en el año 1996 en que se empezó a editar en formato digital además de la clásica edición en papel. La segunda en el año 2003 en el que se abandonó la edición en papel para hacerla exclusivamente en digital."

³ El "boom inmobiliario" de los años 2.000 al 2.008 trajo consigo un aceleramiento por la ocupación de solares en todas las ciudades de nuestra geografía. Gracias a la ordenación del territorio y a la protección del patrimonio, las medidas cautelares y las intervenciones preventivas de urgencia o puntuales, se convirtieron en actuaciones que han posibilitado la documentación y estudio de restos arqueológicos conocidos, supuestamente existentes y/o descubiertos por primera vez. Es evidente que la frenética actividad en el sector de la construcción durante esos años, propició también un enriquecimiento de la documentación arqueológica y por tanto del conocimiento patrimonial de nuestro subsuelo.

todo ampliar el conocimiento histórico y técnico sobre el encofrado, como elemento auxiliar que sigue actualmente ofreciendo respuestas sobre las técnicas constructivas en estudio.

- FASE DE CAMPO: ESTUDIO SOBRE EL *OPUS CAEMENTICIUM* Y EL *TAPIAL ISLÁMICO* EN SEVILLA

Una vez establecidos los parámetros generales de ambas técnicas, se acotará la investigación realizando un estudio “in situ” sobre el uso del encofrado en un espacio geográfico determinado el área de Sevilla y su entorno.

La determinación geográfica no corresponderá a la división política, administrativa o territorial que pudiera tener la ciudad en la época romana o en la islámica. Más bien responde a la importancia que adquirió *Hispalis* o *Isbilya* durante las épocas de mayor esplendor y desarrollo de estos pueblos y cómo afectó también esta relevancia en su alrededor más inmediato. En base a ello se decide elegir la ciudad residencial romana de Itálica y los restos amurallados de Sevilla (Muralla de la Macarena y Jardines del Valle) y de lo que fue el distrito islámico del Aljarafe con cabecera en San Juan de Aznalfarache y la destacable alquería de Sanlúcar la Mayor. Pero también, la elección viene motivada porque son aún el testimonio directo, accesible y conservado del empleo de estos sistemas constructivos.

El trabajo de campo consistirá en un estudio visual, fotográfico y métrico de las huellas de los encofrados empleados en numerosos elementos constructivos existentes en los enclaves seleccionados.

La lectura de las marcas e improntas de los cajones u hormas son la muestra imborrable de que, en el área geográfica elegida, siguen actualmente proporcionando datos valiosos.

La observación *in situ* será reflejada por cada una de las técnicas, *opus caementicium* y *tapiál islámico*, en el apartado 9 de este proyecto. Se describirán cada edificación o resto edificatorio y se señalarán las apreciaciones obtenidas del trabajo de campo y de la reflexión.

Por último, en el apartado 13. Anexos, se aportan una serie de fichas que recogen los datos obtenidos. Cada ficha indica los siguientes campos:

- Gráficos: Se insertará una imagen fotográfica de cada elemento constructivo estudiado por cada edificación y una representación gráfica tridimensional de las piezas del encofrado según el material empleado como molde (madera, sillares o ladrillos).
- Conceptuales: Indicarán el tipo *opus caementicium* según su puesta en obra y encofrado. Así como el tipo de *tapiál* según la composición material y el tipo de zócalo o pie de aguja.
- Numéricos: Recogerán los valores obtenidos de la medición *in situ* de las piezas y/o de las huellas de los encofrados.

La información proporcionada por este estudio permitirá el descarte de valores muy dispares y la consideración de la repetición de otros, para establecer un módulo de tamaño más empleado de los encofrados y en los distintos elementos constructivos que los emplearon en su ejecución y puesta en obra.

- FASE ANALÍTICA:

Alcanzado este nivel en la investigación, la comparativa entre ambas técnicas constructivas se establecerán en base a cuatro premisas: Condicionantes socio-históricos y Análisis material, estructural y constructivo.

Abarcando estos aspectos fundamentales, la comparación entre el *opus caementicium* y el *tapial islámico* generará nexos de unión y claras divergencias. Ambas fueron técnicas constructivas utilizadas por motivos de desarrollo y expansión de estos pueblos en territorio seleccionado, con las particularidades materiales propias del área donde se emplearon y en general reproducidas conceptualmente al igual que en otros espacios geográficos.

El análisis comparativo pretende confrontar los procesos de ejecución de elementos constructivos realizados con estos sistemas romanos e islámicos para despertar el interés por estandarización en el uso de encofrados, como fruto del aprovechamiento de los recursos adaptados a la sistematización, que ya habían alcanzado estas técnicas con anterioridad a su empleo en el área elegida.

Quisiera significar que tanto en la observación *in situ* de las edificaciones como el posterior análisis entre técnicas constructivas, ha sido imprescindible el diálogo con otros profesionales contemporáneos del sector de construcción de amplia experiencia, como Diego Rus. Con la ayuda de su experiencia en obra, se ha arrojado practicidad y claridad a las hipótesis que se le planteaba.

Todo el desarrollo metodológico posee una última fase que está implícita y que generalmente no se indica, las conclusiones. Sin duda es la fase reflexiva y demostrativa donde se podrá discernir si se ha obtenido la finalidad buscada e incluso si es posible seguir avanzando en ampliar en conocimientos con futuras investigaciones.

6. El origen y antecedentes históricos del encofrado en la Antigüedad y su uso como técnica constructiva.

Situar el origen aproximado del encofrado en la Antigüedad ha supuesto indagar en las tradiciones o costumbres constructivas que empleaban masas o mezcla de materiales dispuestos en un estado plástico o fluido y que, por tanto, precisaban de un molde adecuado para garantizar el proceso de endurecimiento. Pero el uso de estos métodos constructivos no es espontáneo o causal, responden a un proceso de evolución de las comunidades más primitivas hacia el sedentarismo y la necesidad de construir sus espacios habitacionales.

El origen del encofrado en la Antigüedad está íntimamente relacionado con el empleo de materiales plásticos, que estos moldes iban a contener. Gracias a estas estructuras efímeras y auxiliares, las materias compositivas de un elemento constructivo podían alcanzar forma, estabilidad y solidez mientras endurecían. Podría considerarse que son tan antiguos como el empleo de la arcilla, los morteros o la argamasa, pero evidentemente ligados a una determinada puesta en obra entre elementos contenedores (tablas de madera, sillares de piedra o ladrillo) con la finalidad de obtener un elemento constructivo (cimiento, muro, bóveda, etc.).

Realmente el uso de hormas y de ciertos materiales en la construcción antigua, será una de las primeras manifestaciones de la sistematización de los procesos constructivos de la ejecución “in situ” de algunos elementos de la edificación y de la ingeniería civil.

Con la intención de poder fijar una fecha determinada en el uso de los encofrados en la Historia, es necesario relacionarlo con las técnicas constructivas y con los materiales (la argamasa compactada y el mortero mezclado alternado con capas de fragmentos de piedras, cerámicas o áridos de ciertas granulometrías) que comienzan a emplearse de manera sistemática.

Habrá que remontarse al Neolítico⁴ para encontrar los primeros muros de la arquitectura doméstica ejecutados mediante adobe (arcilla endurecida al sol) o con barro apisonado mezclado con paja o hierbas y sin encofrar. Yacimientos relativos a este periodo histórico, situados en el Próximo Oriente tales como Akarçay Tepe en Turquía y Chagar Baçar y Tel Halula⁵ en Siria, son los testimonios más fehacientes de la existencia de estos tipos de construcción. Otro ejemplo donde se demuestra que la tierra comienza a convertirse en un material fundamental para construir, por ser fácilmente

⁴ Calama (1998:154-155) “Ya antes del Neolítico, hacia el 5.000 a.C., el hombre debía habitar entre muros, aunque los primeros datos que se tienen de viviendas con muros de fábrica, proceden de Mesopotamia, 4000 a.C. probablemente construidas de tapial sin encofrado y con los muros reforzados por pilastras. Se mezclaba con paja, hierba y otros productos para así obtener mayor consistencia, favorecer la evaporación del agua de la mezcla y evitar los agrietamientos.

⁵ Enlace web visitado 18/02/2012 <http://sappo.uab.cat/> “Los materiales de construcción son el adobe, las piedras y originalmente la madera, aunque en este último caso su conservación es muy reducida. Las piedras tienen un abundante uso para las hiladas inferiores o para los cimientos de las casas. El material basara la construcción es, no obstante, la tierra principalmente en forma de adobe, aunque también se han documentado algún tapial.”

localizable en el entorno y porque agilizaba el proceso edificatorio. En las fábricas murarias fueron construidas mediante la superposición de sucesivas capas de arcilla a modo de hiladas, prensadas y secadas al sol.



Imagen 1: Vistas generales del yacimiento en Akarçay Tepe en Turquía (Foto del enlace <https://www.bing.com/images/search?view>).

Entre las técnicas constructivas de la Antigüedad que emplearon encofrados, se destacan por poseer entidad propia: el *emplecton*, el *opus caementicium* y el *tapial*.

Todas ellas coinciden en que son métodos constructivos utilizados en la ejecución de fábricas murarias donde bien entre maderas, grandes sillares o ladrillos, se vertían por tongadas la mezcla de arcilla compactada (el *tapial*) o se alternaban capas de mortero de cal con la de fragmentos pétreos o cerámicos (el *emplecton*, el *opus caementicium*). Cuando estas capas se endurecían tras el proceso de fraguado se obtenía un material resistente, monolítico y duradero con características similares a una piedra natural. Tal sería la compacidad que estos muros adquirirían que en los casos en que el molde fuera recuperable, como en la técnica del *tapial*, o en los que se convertían en perdidos o permanentes como en el *emplecton* o el *opus caementicium*, la estabilidad de la fábrica estaba garantizada.

Se tratará de ubicar los motivos, causas y necesidades que pudieron originar el uso primigenio de encofrados, que sin lugar a dudas estaban ligados al empleo de las técnicas constructivas que precisaron de ellos para su puesta en obra. Para ello se describen cada una de las técnicas constructivas

citadas desde que se conoce documentalmente su empleo y en aquellas culturas donde fueron utilizadas, lo que arrojará datos sobre el uso de los distintos tipos de moldes u hormas que emplearon.

6.1.- EMPLECTON

Entre el siglo VII al VI a.C., Grecia vivió un momento de expansión territorial, impulsada por el crecimiento de la población y las limitaciones geográficas de una tierra montañosa, donde el espacio para el cultivo estaba muy limitado. Esto provocó la fundación de colonias exteriores al territorio griego y con recursos materiales distintos a los que normalmente empleaban.

La conjugación de diversos factores, geográficos, políticos y sociales en un determinado periodo histórico debió ser el origen de uso y difusión de una novedosa técnica constructiva.

La técnica griega se denominaba *emplecton*⁶, consistía en la ejecución de un muro de tres hojas (sillar+relleno+sillar), donde las caras exteriores se ejecutaban con sillares o mampostería y el núcleo se rellenaba con una argamasa compuesta por arcilla y restos de piedras de cantera utilizada en el relleno interior de muros de mampostería en seco.

Será entonces cuando comienza a extenderse su uso, impulsados por la necesidad de crecimiento rápido y el aprovechamiento de los recursos materiales a su alcance.



Imagen 2: Detalle de un muro realizado con la técnica de *emplecton* en la ciudad de Velia (Turquía). (Foto de A. Acocella⁷).

⁶ Calama (1998:159) "Los griegos tenían otra forma de edificar el muro, *el emplecton*, en el que sólo se pulimentaba el frente exterior y el resto se dejaba como salía de cantera, para ello había que asentar las piezas en argamasa de cal¹⁷². A pesar de este muro apareció en Grecia en el siglo VII a.C., se desarrolló ampliamente en el siglo VI a.C. está formado por dos hojas de mampostería en seco y el hueco central se llena con una mezcla de arcilla y desechos de piedra de cantera."

⁷ Imagen obtenida de la web <http://www.architetturadi pietra.it/wp/?p=483>, visitada el día 20/10/2011.

Otro factor que pudo influir en el uso del *emplecton*, fue la experimentación que habían adquirido los griegos en su propio territorio ejecutando construcciones en piedra unidas mediante grapas metálicas. Habían observado que estos muros totalmente pétreos eran demasiado rígidos, sufriendo fracturas o fisuraciones ante los seísmos. Sin embargo, los muros ejecutados con tres hojas y cuyo núcleo se encontraba relleno con argamasa, aportaba flexibilidad, estabilidad y mejoraba la deformación de estos elementos ante semejante ataque de la naturaleza.

Con esta técnica, los griegos no sólo consiguieron imprimir agilidad al proceso constructivo y abaratar los costes, sino que también mejoraron el comportamiento mecánico de sus fábricas murarias. El *emplecton* les ofrecía grandes ventajas, tanto económicas como estructurales y por tanto difundirán y generalizarán su uso en su territorio y colonias.

6.2.- OPUS CAEMENTICIUM

Desde la fundación de Roma en siglo VIII a.C. (año 753) y hasta finales del siglo V a.C., esta civilización estuvo influenciada por la cultura etrusca. Arquitectónica y artísticamente, los romanos durante este periodo construyeron la mayoría de las edificaciones de entidad (palacios, templos, fortificaciones) con “*enormes bloques de piedra, labrados o en bruto*” (Choisy 1999:9), aparejados en seco, método heredado del citado pueblo. Del que también aprendieron “la preocupación por las infraestructuras, el recubrimiento de los muros, el uso de las cubiertas de tejas y madera y, lo que resulta más decisivo, una actitud favorable hacia el uso de los elementos arqueados” (Marín 2000:127).

Con la creación de la República en el siglo V a.C. comienza un periodo de conquistas y expansión por el Mediterráneo que lleva al pueblo romano a sufrir múltiples influencias externas en todos los aspectos. Destacan las influencias griegas⁸, que llenaron la arquitectura romana de proporcionalidad, orden, modulación y decoración insertada de manera magistral en los elementos constructivos. Así como en el uso de otros materiales distintos a la piedra, como el mortero o el anteriormente citado *emplecton*. Este sistema constructivo será el precursor del hormigón romano, *opus caementicium*⁹, cuyo uso se inicia a finales siglo III a.C.¹⁰. Es entonces cuando los romanos comienzan a cambiar sus métodos constructivos, continuando y perfeccionando la técnica griega¹¹. Probablemente “guiados por

⁸ Alejandre (1998:89) “Si bien Roma conquistó a Grecia a nivel militar y territorial, Grecia conquistó a los romanos por su arquitectura”.

⁹ Calama (1998:160) “..., tal vez el muro más interesante, por las repercusiones posteriores, sea el opus caementicium. Los constructores romanos tomaron el emplecton clásico de los griegos...”

¹⁰ Adam (2002:83) “Los vestigios arqueológicos confirmados por los textos, permiten afirmar que el opus caementicium o mampostería amalgamada con mortero de cal, se utilizaba al menos a finales del siglo III a.C.; el templo de la *Magna Mater* en el Palatino¹²⁹, consagrado en el 204 a.C., constituye su primer hito auténtico.”

¹¹ Herrero (1998:146). “Los romanos, continuadores de la tecnología griega, emplean también con frecuencia los sillares labrados e incluso mampuestos y a partir del siglo II a.C., con la apreciable ventaja de los cementos y cales naturales pueden y usan con profusión, el opus caementicium en sustitución de la tradición griega heredada de los sillares labrados, por otro lado, más costosos y lentos de ejecutar”.

su espíritu práctico y un gusto innato por la sencillez, intentaron aprovechar mejor sus recursos” (Choisy 1999:10) sustituyeron el uso generalizado de sillares por el empleo del *opus caementicium*.

Este sistema constructivo consistía en la preparación y vertido de capas de mortero de cal o argamasa que se alternaban con capas de fragmentos pétreos o cerámicas previamente recogidos, generalmente procedentes del acarreo. Una vez endurecido, se obtenía un material monolítico y artificial de características y propiedades (consistencia, dureza y resistencia) similares a la piedra natural.

El *opus caementicium* era un sistema sencillo relativamente ordenado donde las capas de mortero de cal y fragmentos se intercalan secuencialmente.



Imagen 3: Muro relleno de *opus caementicium* en la Tumba de Cecilia Metella en Roma (Foto de A. Acocella¹²).

Las posibilidades que ofrecía el *opus caementicium*¹³ eran:

- Método constructivo simple: No requería de mano de obra especializada¹⁴.
- Moldeable: Al ejecutarse con materiales plásticos podrían ajustarse a las necesidades del diseño.
- Construcción más económica y sostenible: Consegúan el aprovechamiento de materiales fragmentados o de desecho de residuos inertes.

¹² Imagen obtenida de la web <http://www.architetturadipietra.it/wp/?p=483>, visitada el día 20/10/2011.

¹³ Corzo en Manzano (2000:41). “Aparte de las peculiaridades del trazado, el teatro de Cádiz ofrece un testimonio muy antiguo de la aplicación del *opus caementicium* a la arquitectura. Esta técnica permite levantar los edificios sin la necesidad de los complejos y caros procedimientos de la cantería tradicional, y ofrece una rapidez de ejecución muy superior. La arquitectura romana obtuvo de esta técnica sus resultados más impresionantes, que aún hoy siguen despertando la misma admiración.”

¹⁴ Adam (2002: 83). “Mano de obra que fue rápidamente destinada a la tarea de la preparación de los materiales de construcción, y sobre todo a la extracción de la piedra y a la talla de los mórtillos, tareas que no reclamaban más que un poco de aprendizaje. Del mismo modo, la puesta en obra de estos materiales podía ser efectuada por un gran número de braceros poco cualificados, bajo la dirección de un capataz.”

- Adaptabilidad a sus necesidades y recursos: Fácilmente ejecutable en cualquier región del territorio ocupado o a ocupar.
- Monolitismo: El *opus caementicium* una vez fraguado o endurecido, se comportaba como un material uniforme, sin juntas, de gran resistencia y durabilidad.
- Rapidez de ejecución: Preparada la forma, los materiales a emplear y los medios auxiliares necesarios, sólo se precisaba ejecutar *in situ* y una vez endurecido permitía continuar con la ejecución de forma sistemática y programada.
- Versatilidad: Podría utilizarse para ejecutar cualquier elemento constructivo (macizos de cimentación, muros, arcos, bóvedas, cúpulas) y con la adición de puzolana se conseguía aumentar la resistencia, aligerar el peso propio y fraguar en presencia o contacto de agua. Ampliando su uso a cualquier tipo de terreno y potenciando el desarrollo de su ingeniería civil
- Estandarización: El sistema les sirve como tipo, modelo, norma, patrón o referencia.

El *opus caementicium* supondrá una revolución en la construcción romana, acorde con el periodo de expansión debido a las numerosas victorias militares e invasivas por el mediterráneo¹⁵ y potenciado por el cambio que se produce tras el fin de la República (siglo I a.C.) y la instauración de la época imperial.

El gobierno se convierte en un estado totalitario que para mantener sus colonias y ciudades precisaban crear una organización compleja y similar en todo el gran territorio que ocupaban y ocuparían. Por eso y bajo el concepto de *Romanización*, ya iniciado en la época republicana, difundirían su forma de vida y gobierno. Esto suponía tener que proporcionar a todo su territorio, las infraestructuras, (acueductos, termas, cloacas) y la planificación edilicia y urbanística que además les permitirá de manera propagandista manifestar su autoridad en sus foros, circos, anfiteatros.

En consecuencia, el empleo sistemático del encofrado en la civilización romana queda unido al uso generalizado de esta técnica constructiva que necesitaba del empleo de entibaciones o moldes donde contener las sucesivas y alternas capas de material plástico y fragmentos varios.

La construcción en *opus caementicium* de cualquier elemento constructivo y en cualquier parte del imperio, les hará únicos y originales¹⁶ en la Historia de la Arquitectura.

¹⁵ Adam (2002:83). "Resulta interesante observar que el modo de construcción utilizada, que ya no es la piedra de la talla de sillar –todavía en uso pero reservada para las partes nobles de la arquitectura– sino una considerable cantidad de pequeños fragmentos de piedra tallados someramente, va a desarrollarse en el momento que Italia, con las campañas victoriosas contra los cartagineses (al final de la 2ª y 3ª Guerras Púnicas), contra los griegos (victoria de Filipo V en el 197 a.C., ante Antíocós III en el 190, nuevamente ante los macedonios en el 146) y contra España (victoria de Numancia en el 133 a.C.), va a beneficiarse de un abundante aporte de mano de obra servil".

¹⁶ Choisy (1999:2-3). "En efecto, en las ruinas de los monumentos que se remontan a las mejores épocas del arte romano nos muestran disposiciones constructivas originales difíciles de encontrar, siquiera esbozadas, en edificios de otros periodos."

6.3.- TAPIAL

La técnica de la tabilla¹⁷ es la construcción de fábricas de tierra o argamasa ejecutadas *in situ* donde mediante el empleo de un encofrado recuperable y reutilizable denominado tapial y la operación de apisonado de capas sucesivas de la masa, se consigue un tramo de muro o cajón.

Los precedentes de esta técnica se encuentran en los muros de las construcciones domésticas ejecutados mediante barro apisonado, ya empleados en el Neolítico. Aunque no existen fuentes documentales escritas o iconográficas que atestigüen este hecho, podría considerarse que probablemente es la más primigenia de las técnicas constructivas anteriormente citadas, que precisaron de encofrado.

El primer documento escrito relativo al uso del tapial, es del escritor romano Marco Terencio Varón (116-27 a.C.)¹⁸ en su tratado sobre agricultura “Res Rustica”. Enumera los posibles tipos de cercas para una propiedad rural siendo estos muros de piedra, ladrillos, adobes y de tierra mezclada con gravas en el interior de un encofrado como en Hispania y Tarento.

Existe una cita muy conocida sobre la técnica del tapial atribuida a Plinio el viejo (23-79 d. C.), en su libro XXXV de su obra “HISTORIA NATURAL” donde se refiere a unas torres muy antiguas y fortísimas realizadas con tierra empleando encofrados y existentes en África e Hispania.

¿Qué diré de la tierra? ¿Por ventura, en África, y en Hispania no se hacen paredes de tierra, a las cuales llaman formáceas, porque rodeadas con la forma que han de tener, con dos tablas por entre ambos lados, se hinchen y embuten más verdaderamente que se componen y duran larguísimos tiempos contra las lluvias, los vientos y fuegos, más firmes que cualquier cimiento? Hasta ahora se ven en Hispania las atalayas de Aníbal y torres de tierra puestas sobre las alturas de los montes. Plinio (1999: 1103).

Quizás este testimonio de Plinio sobre esta técnica encofrada¹⁹ demuestra que, al menos su uso en la Península Ibérica y en África, es anterior a la época prerromana. Aunque ninguna de las fuentes anteriormente citadas arroja dato alguno sobre procedencia u origen de esta técnica encofrada, sólo hacen referencia a los lugares donde se había observado su uso.

¹⁷ Gurriarán (2000:110). “Es menester aclarar que el concepto de tapial hace referencia a un procedimiento constructivo y no a un material. Las fábricas encofradas o tapias son aquellas que se realizan mediante el uso de encofrado de madera denominado tapial, recuperable y de fácil manipulación, dentro del cual se vierte y se apisona el material en capas sucesivas hasta colmatar la totalidad del cajón, momento en el que se desmonta éste para proceder a la repetición de la misma operación en el tramo siguiente de muro.”

¹⁸ Enlace web visitado 19/02/2012 <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/v/varron.htm> “(Reate actual Rieti 116-27 a.J.C.) Erudito, escritor y poeta satírico latino. La formación literaria y filosófica que recibió le permitió adquirir una vasta cultura y una diversidad de intereses que han llevado a considerarle el primer gran enciclopedista latino. Su obra ejerció gran influencia antes y después de la fundación del Imperio romano y en épocas posteriores. Es autor de 74 obras que abarcan una amplia gama de asuntos: escritos gramaticales, enciclopédicos, histórico-literarios, histórico-geográficos, retóricos y jurídicos, además de sátiras, poemas, oraciones y cartas. La única obra que se conserva completa es *Sobre la agricultura*, un tratado en tres libros, escrito ya en su vejez.

¹⁹ Calama (1998:155). “Las primeras noticias que se tiene del tapial con encofrado las encontramos en los escritos de Caius Plinio, escritor latino del siglo I que hace referencia al tapial ibérico, que se hacía amasando el barro en unos cajones desmontables.”

En búsqueda de datos que corroborasen las fuentes clásicas llegamos a Francisco Javier Castillo Pascual autor de “La Técnica del Tapial en la construcción tradicional de la provincia de Albacete”. Donde expresa que el origen de esta técnica es impreciso, matizando que los restos de muros de tierra hallados en excavaciones de época prerromana pudieran haber sido ejecutados bien con tierra moldeada o bien mediante el uso de encofrados²⁰. Luego la falta de una acertada caracterización de estas fábricas de tierra en relación a su método de ejecución, nos devuelve al punto de partida.

Sin embargo, de lo que si se tiene constancia es que en la Hispania romana la técnica del encofrado tuvo su origen en otro sistema constructivo empleado en el sur Península Ibérica, las fábricas de tapial²¹. En definitiva, los datos arrojan que el uso de la técnica del tapial si tuvo una localización precisa, la Península Ibérica y algunas zonas del norte de África, llegada seguramente a través del Mediterráneo desde el Oriente próximo.

El Tapial es un sistema sencillo en método que precisó del diseño de un artilugio que lograría estandarizar la construcción de fábricas murarias de tierra arcillosa o barro. Supondrá un avance trascendental en la construcción antigua ejecutada en tierra.

Gracias a un molde ideado para ser contener materias en estado plástico y permitir el apisonado, se podrían levantar muros más compactos y en consecuencia más consistentes frente a las agresiones atmosféricas. Además, al ser desmontable, recuperado y reutilizado, se conseguía construir más eficientemente y generar un método de ejecución de elementos murales.

El desarrollo tecnológico de la puesta en obra, también originó la evolución en los materiales a emplear. Donde la introducción de la cal como aglomerante, la diversidad de conglomerantes (áridos de varias granulometrías y restos cerámicos triturados) y las adiciones (carbón y cenizas) permitirían construir muros con diferentes características físicas y mecánicas.

El tapial como sistema constructivo pondrá de manifiesto la evolución y desarrollo tecnológico de las culturas que lo emplearon, pues supone un paso²² adelante y avanzado en la construcción de los muros de tierra.

²⁰ Castillo (2003:9). “Los orígenes y procedencia de la técnica resultan difíciles de precisar, a pesar de las referencias a la existencia de esta técnica en algunos informes arqueológicos. Si bien la presencia de restos de muros de tierra es evidente en asentamientos de épocas prerromanas, en la mayoría de los casos resulta arriesgado identificar la técnica constructiva, que bien pudiera ser un modelado o un moldeado con encofrados específicos.”.

²¹ Corzo en Manzano (2000:42). “Los ingenieros militares, según recuerda Plinio, también aprendieron la técnica de construcción con encofrados en el Sur de la Península Ibérica, donde se obtenían muros de barro apisonado más resistentes que los de piedra, es decir, la construcción del “tapial”, que ha seguido siendo tradicional en toda Andalucía hasta nuestros días.”

²² López (2003:28): “Pero la invención de un encofrado capaz de conformar una gran pieza *in situ* supone, desde el punto de vista constructivo, un paso trascendental sólo pensable en la sedentarización, ...”. “Esta evolución, dictada por el sentido común, llevaría, en algún momento y localización, a la tapiería como un estadio constructivo más avanzado: la tierra compactada y un molde, pero no un molde cualquiera y, desde luego, no un molde trivial.”

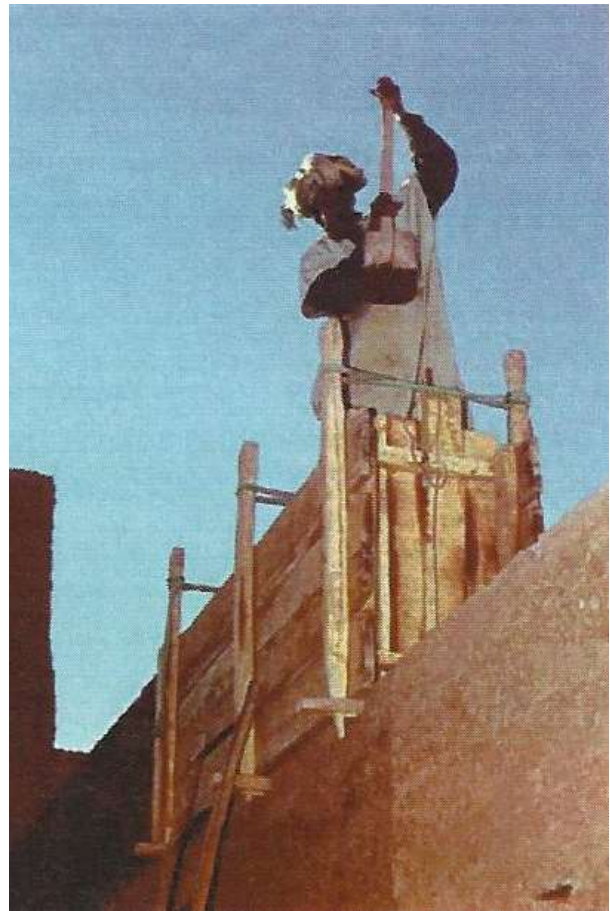


Imagen.4: Detalle de construcción de tapial. (Imagen de Michel Lebrun: L'architecture de terrea u Maroc)²³

El encofrado fue un elemento auxiliar de primer orden para que estos sistemas constructivos alcanzasen la relevancia que adquirieron. Debido a que permitieron construir de manera más rápida, eficiente y económica, edificaciones de carácter doméstico, civil y militar.

Sin el empleo de estos moldes, ninguna de estas técnicas habría evolucionado e incluso no habría sido posible su desarrollo tecnológico y con ello la sistematización de los procesos constructivos como en los casos del *opus caementicium* y el *tapial*.

La sistematización del empleo de estas técnicas constructivas tuvo motivaciones y necesidades varias. Dependiendo éstas de multiplicidad y/o simultaneidad de factores diversos como geográficos, históricos, culturales, políticos e incluso sociales.

²³ Imagen en López (2003:28).

7. La sistematización en la construcción romana, el *Opus Caementicium*.

7.1.- DEFINICIÓN

Entre los autores consultados y con la intención de determinar una definición sobre esta técnica romana, se resalta la empleada por Ignacio González Tascón en el capítulo “La Ingeniería Romana” publicado en “Historia de las técnicas constructivas en España,” que, de forma explícita, expresa acertadamente la composición y puesta en obra del *opus caementicium*:

Era un producto compuesto, formado en su mayor parte por guijarros y áridos de diferentes tamaños, y también trozos cerámicos de ánforas y ladrillos, que se colocaban como una pequeña capa o tongada en la obra entre los encofrados preparados al efecto. Después se añadía el aglomerante, una de cal que se fabricaba quemando piedra de caliza en hornos especiales llamados fornax calcaria y que posteriormente se molía y apagaba con agua (González 2000:45-46).

El citado autor en un solo párrafo es capaz de explicar este procedimiento constructivo, donde destaca de manera sutil, la necesidad del empleo del encofrado para su ejecución. Motivo o razón que manifiesta, el nexo entre los materiales que definían esta técnica y el uso necesario de un molde para su puesta en obra.

Del mismo modo y para determinar la composición del *opus caementicium*, se ha recurrido a otro destacado autor, Jean-Pierre Adam que en el capítulo 2. “Los materiales de construcción” en el apartado dedicado a “La cal, los morteros” en su obra “La Construcción Romana. Materiales y Técnicas”, define la composición de este sistema como:

El resultado, cualquiera que fuera el método de la puesta en obra, era una concreción con aspecto de hormigón, en la que se distinguen tres elementos:

- 1. El aglomerante, en forma de cal, mezclado con su conglomerante antes de la puesta en obra y que constituye el mortero.*
- 2. Los cascajos, mampuestos o fragmentos cerámicos introducidos en el mortero en el momento de la construcción.*
- 3. Los paramentos, constituidos por materiales correctamente enderezados, que podían recibir un enlucido epidérmico. (Adam 2002:82).*

Luego a nivel compositivo el *opus caementicium* es un sistema constructivo definido por una mezcla o amalgama de fragmentos o mampuesto y mortero de cal, dispuestos por capas y que precisaban de un elemento contenedor para que se produjera el endurecimiento de las masas plásticas y sólidas.

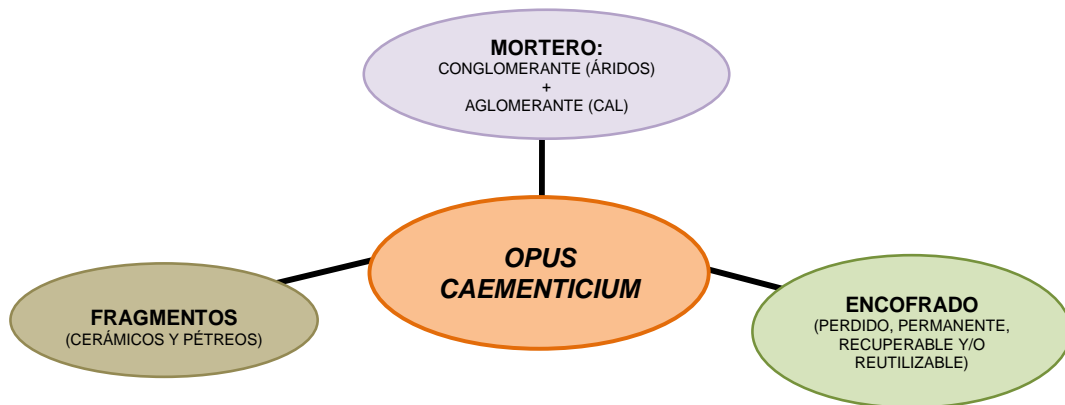


Figura.1: Esquema gráfico de la composición del *opus caementicium*.

Hay quienes entienden y se refieren al *opus caementicium*, como el “hormigón romano”, es decir como un material que forma parte del relleno interior de distintos tipos elementos constructivos.

Sabemos que el hormigón tradicional, es la mezcla en proporción determinada de cemento (aglomerante), áridos de distintas granulometrías (arenas y gravas) y agua. Ello conforma una amalgama que tras el proceso de fraguado se obtiene un material monolítico, compacto y con elevada resistencia a la compresión. Sin embargo, el *opus caementicium* no es una mezcla, es un producto. Constructivamente es el resultado de la unión de diferentes materiales dispuestos por tongadas horizontales alternas de fragmentos y mortero de cal de espesores comprendidas entre 10 a 15 cm que precisan de un molde para contener las masas mientras endurecían

En definitiva, el *opus caementicium* no puede ser considerado únicamente como un material tal y como puede ser un hormigón tradicional. Era un sistema constructivo ejecutado *in situ* que podría someterse a un proceso de compactación mecánica o no y que también precisaban de un elemento contenedor para endurecer, que es el encofrado.

Entre los componentes materiales del *opus caementicium*, el “mortero de cal”. Éste se obtiene de la mezcla en determinadas proporciones de conglomerantes (áridos), aglomerante (cal) y agua que permite obtener un material útil para la unión o enlace de otros como piedra, guijarros, ladrillos, etc. El mortero es, por tanto, el ligante que la capa de fragmentos del *opus caementicium*, necesitaba para obtener un material de construcción de características físicas y mecánicas similares a la piedra natural.

Sería acertado exponer que la calidad del mortero romano de cal determinará en gran medida la calidad del *opus caementicium*, no obviándose que su puesta en obra es tan determinante como la calidad de los materiales empleados en su ejecución.

La fabricación de los morteros romanos desde la antigüedad ha motivado admiración²⁴ por numerosos motivos, ya que son de una extremada calidad. Las proporciones de sus componentes, según las indicaciones dadas por Vitruvio, determinan que la cantidad de cal permanece constante (un volumen de cal), mientras que la adición en volumen de los distintos tipos de áridos (arena de cantera, de río, puzolana) y del aporte de agua (entre el 15% al 20%) son variables.

cal	áridos	agua
1 volumen de cal	3 volúmenes de arena de cantera (Vitruvio II, V, 5)	15 a 20%
1 volumen de cal	2 volúmenes de arena de río (Vitruvio II, V, 6)	15 a 20%
1 volumen de cal	2 volúmenes de arena de río 1 volumen de tejoleta (Vitruvio II, V, 7)	15 a 20%
1 volumen de cal	2 volúmenes de puzolana (Vitruvio V, XII, 8-9, obras marítimas)	15 a 20%

Imagen 5: Tabla de las principales composiciones de los morteros antiguos según Adam (2002:77).

Esto pone de manifiesto que la fabricación de los morteros romanos sigue una fórmula más o menos constante y en cierto modo regulada. Probablemente conseguida como fruto de la experimentación propia y la necesidad pragmática de conseguir un material capaz de ser ejecutado con la similar calidad en cualquier parte de su territorio.

¿Por qué varían los volúmenes áridos y agua en la fabricación de los morteros romanos?

Es probable que los constructores romanos observaran que determinados áridos o adiciones a la masa del mortero les confería distintas propiedades físicas y mecánicas. Por lo que, en función de la ubicación, tanto geográfica como del elemento constructivo a ejecutar emplearían un determinado tipo de conglomerante. El ejemplo más característico es la adición de puzolana que mejoraba las condiciones hidráulicas, mecánicas y resistentes del mortero de cal. Esto origina que emplearan esta adición en obra civil (puentes, acueductos) y en aquellas edificaciones (termas) e infraestructuras (cloacas, cisternas) donde la presencia de agua estaba asegurada.

²⁴ Adam (2002:77). "La preparación de los morteros romanos siempre fue objeto de una gran admiración a menudo teñida con una reputación de secreto técnico nunca revelado. ... Sin embargo, existían las prescripciones y Vitruvio, que sigue siendo nuestra principal fuente, es extremadamente explícito. Por otra parte, sus precisiones son la revelación de un secreto celosamente guardado por los constructores romanos, y los análisis han demostrado ampliamente que las recomendaciones del autor de los *Diez Libros de Arquitectura* correspondían a una realidad práctica ampliamente aplicada."

Respecto al volumen de agua a aportar a un mortero romano, era lógico que existiera una proporción variable en el volumen. La adición de agua a la masa de un mortero, entre otros factores, le confiere docilidad. Y la proporción que es necesaria para realizar la mezcla de los aglomerantes y los conglomerantes, depende de ciertas variables como:

- Ubicación geográfica. El clima, altitud y humedad ambiental, afecta a la cantidad de agua²⁵ a portar a la mezcla.
- Tipo de elemento constructivo: Un mortero a emplear en un elemento de cimentación no precisa del mismo aporte de agua o humedad que el mortero empleado en juntas de un muro de mampostería.
- Humedad relativa de los conglomerantes: Si los áridos poseen cierta humedad intrínseca, es evidente que afectarán a la proporción del volumen de agua necesario a aportar.
- Amasado de la mezcla: La adición de agua era realizada por los operarios a criterio propio para conseguir una mezcla homogénea, mediante el empleo de útiles que provocaban el aplastamiento de los distintos componentes²⁶.



Imagen 6: Detalle de operario preparando el mortero de cal o argamasa. (Imagen 163 en Adam (2002:79)).

²⁵ Adam (2002:78). “La proporción de agua para hacer mezcla¹¹⁴ se establece en función del clima –y, por ende, del porcentaje de evaporación– y del uso; un mortero destinado a los cimientos o al relleno estará menos húmedo porque será menos ventilado que un mortero de juntas o de enlucido. De la misma manera, la dosificación de la arena y su granulometría, es decir, la finura de su tamizado, variarán según se trate de un mortero de unión o de suelo mezclado con cascotes gruesos, o de un mortero de enlucido hecho con arena fina.”

²⁶ Adam (2002:79). “Para fabricar el mortero, el albañil añade agua poco a poco y mezcla pacientemente el aglomerante con los conglomerados, ayudándose con una azadón de mango muy largo (3,50 m aproximadamente), llamado batidora¹¹⁶ a causa del movimiento de aplastamiento que se ejerce con la hoja de la herramienta para eliminar los grumos y hacer que penetre la arena en la masa plástica de cal; ésta es la razón por la cual la hoja forma un ángulo en relación al mango, mientras que la draga, que realiza el movimiento en la fosa de apagado, es un azadón cuyo hierro forma un ángulo recto respecto del largo mango. Esta operación se llama mezclado o amasado¹¹⁷ y ha de prolongarse hasta que la mezcla tenga una apariencia perfectamente homogénea y no se vea ningún grumo de cal.”

7.2.- TIPOLOGÍAS SEGÚN SU PUESTA EN OBRA

Se distinguen dos tipos de *opus caementicium* según su método de ejecución²⁷: Apisonado y sin apisonar.

- APISONADO O POR COMPRESIÓN

El proceso del *opus caementicium* por compresión consistía en el vertido de una capa de 10 a 15 cm de mortero de cal y sobre esta se extendía la capa de fragmentos de piedra, guijarros, cerámica o áridos de granulometría variable comprendida entre 8 a 10 cm, muy similar a una fábrica ordinaria de mampuestos, hasta alcanzar el mismo espesor de la capa de mortero. Seguidamente se realizaba un apisonado enérgico de manera que el mortero se mezclara entre los huecos o intersticios de la capa de mampuestos o cascotes.

Tras la desaparición del encofrado (Imagen 6) de un cimiento romano, se observa la homogeneidad y compacidad en las capas de mortero y fragmentos, siendo solamente posible gracias al proceso de apisonado.

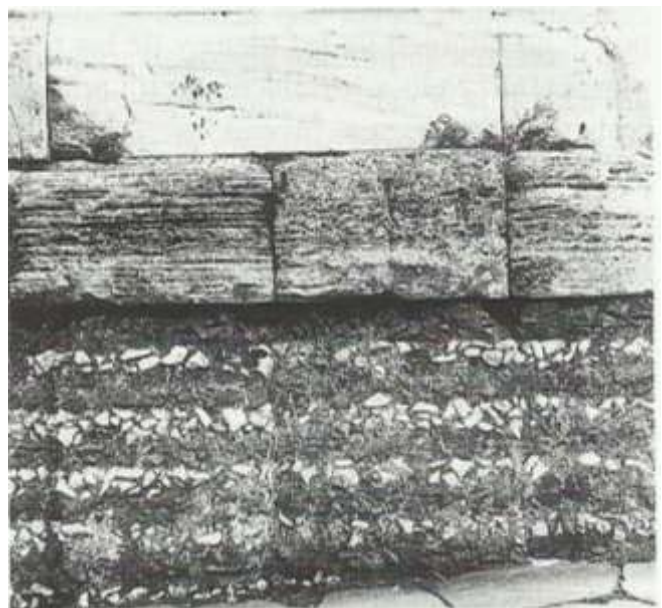


Imagen 6: Detalle del basamento bajo el Arco de Tito, construido por Domiciano después del 81, realizado en *opus caementicium* (Imagen 241 de JPA (2002:116)).

Existía una variante en este proceso constructivo realizado en el caso del relleno interior de los muros de grandes sillares, donde se vertían polvo del corte de éstos para volver a apisonar más enérgicamente, consiguiendo que el mortero terminara de rellenar los huecos y con el polvo impidiera que se pegara “a los pies de los obreros” (Choisy 1999:12).

El origen del empleo de esta técnica constructiva encofrada comienza a utilizarse hacia el siglo III a.C. en cimentaciones entibadas con madera a modo de encofrado perdido, extendiéndose su uso a la ejecución de muros con encofrado permanente de sillares en torno al siglo II a.C.

²⁷ Choisy (1999:17). “si había que hormigonar un recinto muy resistente, que no precisaba entibación, aprovechan las ventajas del hormigón apisonado; en caso contrario, usaban hormigón sin apisonar”.

- SIN APISONAR

En el *opus caementicium* sin apisonar la diferencia estribaba en que no se realiza la operación de compactación, únicamente se procedía a la disposición sucesiva de las capas alternas de mortero de cal y fragmentos.

La propia superposición de las capas, conforman el núcleo de hormigón de los muros, donde por el propio peso de los materiales se origina la mezcla entre los mismos.

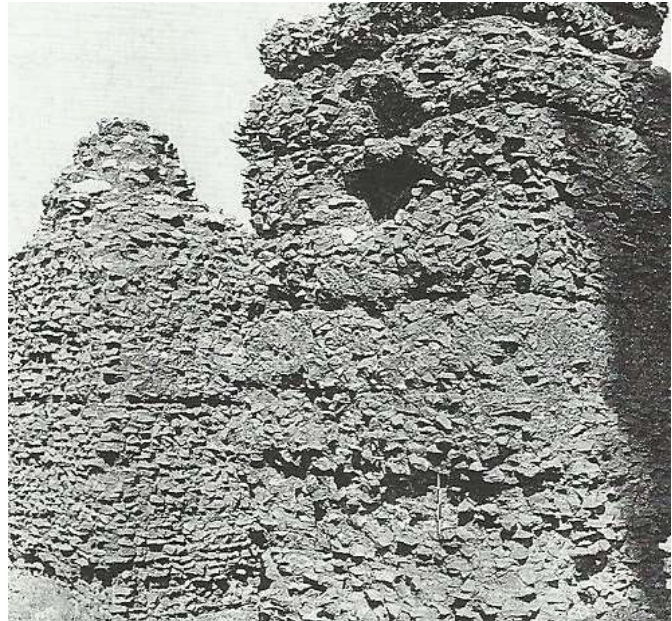


Imagen.7: Macizo de opus caementicium realizado sin apisonar en dos mausoleos de la Vía Appia, donde los paramentos exteriores o modo de encofrado permanente han desaparecido. (Imagen171 de JPA (2002:81)).

La desaparición del encofrado (Imagen 7) de estos paramentos ejecutados con *opus caementicium* sin apisonar permite comprobar con claridad la puesta en obra de este sistema constructivo. Se observa que existen capas alternas de mortero y de fragmentos, dispuestos de manera más o menos ordenada, dada la horizontalidad que se aprecia y que probablemente su encofrado permanente, ya desaparecido, debieron ser sillares ya que puede determinarse a simple vista que existen tramos de altura constante de los macizos de *caementicium*. En este sistema sin apisonar se observa horizontalidad y compacidad, como en el apisonado, debido la puesta en obra consistente en la simple superposición de capas que, por el efecto del propio peso y el fraguado del mortero de cal, conseguía obtener un material bastante monolítico.

El *opus caementicium* sin apisonar es un sistema constructivo más asimilable a la ejecución de una fábrica de mampuestos, aunque siempre contenido en un horma o molde variable. Su uso se inicia en la ejecución de muros ejecutados con encofrado permanente de sillares hacia el siglo II a.C. Y su evolución en el tiempo y en el uso de distintos tipos de moldes permanentes o recuperables (ladrillos, madera, etc) permitirá ejecutar de otros elementos constructivos como arcos, bóvedas y cúpulas.

7.3.- TIPOS DE ENCOFRADOS EMPLEADOS

Partiendo de la anterior premisa, pueden distinguirse diferentes tipos de encofrado utilizado en las obras romanas ejecutadas a base de *opus caementicium*, tales como:

- ENCOFRADOS PERDIDOS O PERMANENTE PARA OPUS CAEMENTICIUM APISONADO.

Cuando se ejecutaba el *opus caementicium* por compresión era necesario poseer una superficie contenedora suficientemente resistente a los esfuerzos que se originaban durante la operación de apisonado. Esto limitó su empleo a la ejecución de cimientos y/o muros de paramentos exteriores realizados con grandes sillares, considerándose que las paredes de la zanja de cimentación entibada o las hojas exteriores de sillares de estos muros se comportarían como encofrados perdidos o permanentes respectivamente.

El encofrado perdido en las cimentaciones, a modo de entibación del terreno, ofrecería una serie de ventajas:

- Contención del terreno que ofrecía baja consistencia.
- Obtención de un perfil uniforme de la excavación²⁸.
- Cimentación con formas regulares, lo que permitirían también estandarizar el corte de las piezas de encofrado y el ahorro de materiales.

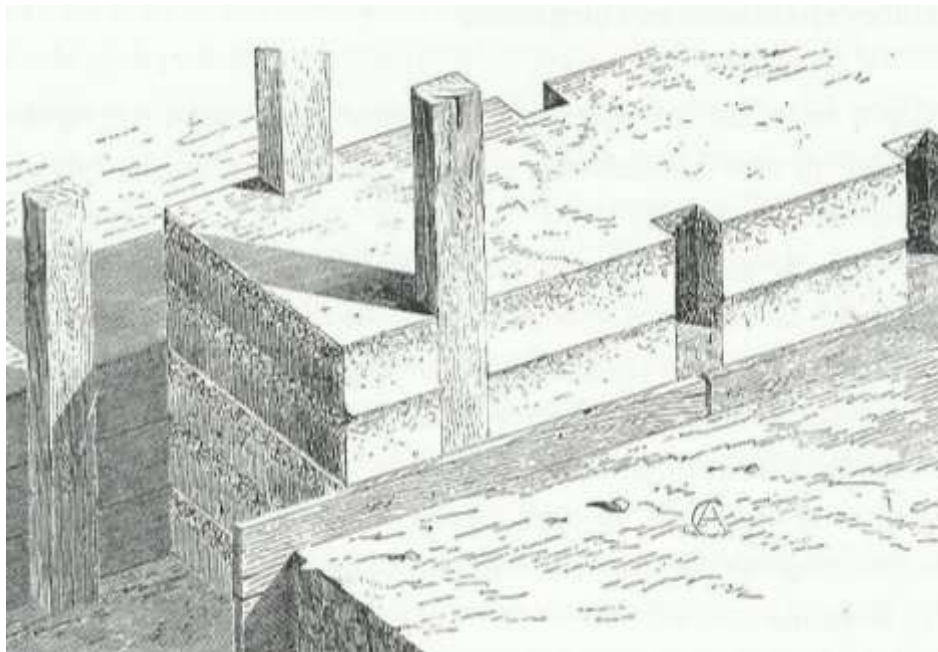


Imagen 8: Detalle de la entibación de una zanja de cimentación jardines de Farnesina. (Imagen 2 Choisy (1999:13)).

²⁸ Adam (2002:116). “En la región romana donde el suelo constituido por arena volcánica compacta permite trazar zanjas netas, los constructores pudieron encofrar sus macizos de basamentos con tablas o tapiales pegados a las paredes de excavación y mantenidos interiormente por postes verticales; el mortero y los morrillos se vertían luego dentro de ese encofrado y se maceaban sólidamente”.

Cuando el encofrado permanente se empleaba en la ejecución de muros de grandes sillares²⁹ con núcleo de *opus caementicium*, estas grandes masas pétreas realizaban la función contenedora ofreciendo también ventajas a este proceso de ejecución:

- Ahorro en el empleo de sillares de piedra.
- Rapidez en la ejecución del proceso constructivo de un muro.
- Economía en el uso de mano de obra cualificada.

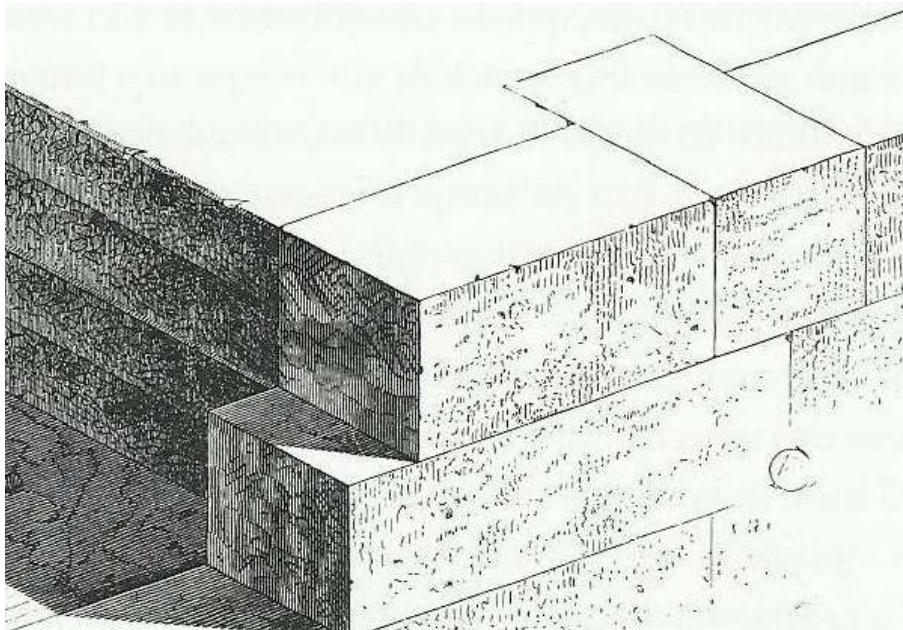


Imagen 9: Detalle del relleno del núcleo de hormigón apisonado de un muro de sillares. (Imagen 1 en Choisy (1999:11)).

PARA *OPUS CAEMENTIICUM* SIN APISONAR.

Los arquitectos e ingenieros romanos llegaron a perfeccionar la puesta en obra del *opus caementicium* construyendo cualquier elemento constructivo como muros, pilastras, columnas, arcos, bóvedas y cúpulas, alcanzado un desarrollo tecnológico y estructural, hasta entonces no conocido. Es con el *opus caementicium* sin apisonar cuando el encofrado toma su relevancia, dejan de ser simplemente elementos contenedores para convertirse en imprescindibles³⁰.

²⁹ Adam (2002:81-82). "Se puede pensar que durante estas operaciones de apisonamiento los albañiles tomaban la precaución de encerrar la construcción en curso entre encofrados para sujetar los paramentos cuyo fraguado aún no se había hecho, renovando así el trabajo por tongadas sucesivas, realizadas como en la construcción de las paredes de tierra apisonada. No obstante, al ser este recurso a los encofrados complejo y oneroso, parece que los constructores romanos reservaron el sistema de apisonamiento del macizo de relleno sobre todo para los monumentos con paredes de mucho grosor revestidas por paramentos de sillar o ladrillos en hiladas de cierta anchura, cuya masa permitía la resistencia a los choques y compresiones de las operaciones de apisonamiento."

³⁰ González (2000: 45-46): "Para utilizar este hormigón en las obras, se necesitaba, igual que hoy, disponer de encofrados que soportasen el empuje de la masa pastosa hasta que ésta hubiese endurecido lo suficiente: para ello utilizaban con frecuencia tablas de madera que empleaban por ejemplo para voltear bóvedas sobre los specus de los acueductos, apoyando las tablas sobre las cimbras, separadas entre sí una distancia prudente. Cuando las superficies que iban a quedar vistas debían tener mayor prestancia, utilizaban una técnica de encofrar que se conocía por *emplecton*, una voz de origen griego con la que los romanos construían gruesos muros de todo tipo. Consistía en hacer de piedra tallada o de ladrillo las hiladas exteriores del muro que iban a quedar vistas, dejando las restantes tal y como salieran de cantera. A medida que se iban levantando estos paramentos exteriores, el espacio comprendido entre ambos se rellenaba, utilizándolo como encofrado perdido, con el *caementum*, formado por áridos de tamaño proporcionado al espesor del muro; después se vertía la pasta aglomerante formada por cal apagada con agua y arena, hasta impregnar todo el espesor de la tongada. Posteriormente se levantaba una nueva franja de

El material cerámico o pétreo exterior se convierte en encofrado permanente³¹ o perdido³², formando parte de la composición del elemento constructivo, aunque con un valor puramente epidérmico. El aspecto externo es el de una fábrica cerámica o de mampuestos, pero en su interior se encuentra la verdadera estructura portante.

El procedimiento se iniciaba colocando las caras exteriores a delimitadoras del elemento a construir. Luego rellenan el núcleo, alternando la capa de mortero de cal con la de fragmentos. Una vez realizado el relleno del núcleo, obtenían elementos constructivos listos para ser revestidos.

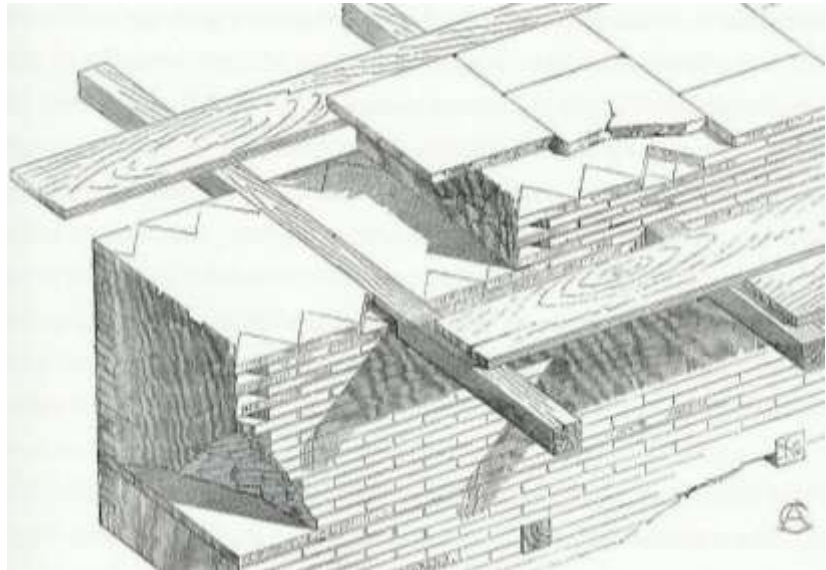


Imagen.10: Detalle de la construcción un muro de tres hojas. Imagen 7 en Choisy (1999:21).

Este método constructivo permitió estandarizar y globalizar el proceso constructivo, sin necesidad de especialización por parte de la mano de obra, pues las operaciones eran simples, basadas en la superposición de capas uniformes y ordenadas. También era fácilmente reproducible en cualquier parte del territorio romano. Y por supuesto era un sistema eficiente y sostenible, pues la capa de fragmentos se componía gracias al aprovechamiento de los recursos materiales del entorno, ya no era necesario tener canteras en proximidad, ni tener que fabricar cantidades ingentes de ladrillos para ejecutar un muro, un pilar, un arco, etc.

muro, repitiendo el proceso. Con mucha frecuencia, sobre todo en lugares donde escaseaba la piedra de construcción, este encofrado periodo se realizaba también con ladrillo.”

³¹ Adam (2002:80): “Con independencia de la tipología del paramento, de la cual se tratará más adelante, la construcción de un muro de mampostería puede realizarse de diferentes formas¹¹⁸, las cuales pueden analizarse mediante el examen de una sección de una pared en ruinas. Cualquiera que sea el aspecto de las paredes hechas de mampostería, de ladrillos o de sillares, se observa que la parte interna de la construcción está constituida por elementos en bruto, es decir, ripios de todas las formas, de despieces de sillares o de fragmentos de tejas y de ladrillos aglomerados con mortero y contenidos entre los dos paramentos esmeradamente enderezados. Parece, pues, que estos paramentos hacen de encofrado permanente de un macizo que ocupa la mayor parte del muro y funciona como elemento portante, lo cual explica que los elementos que forman las caras visibles hayan sido recuperados con tanta frecuencia sin alterar por ello la solidez del edificio.”

³² Calama (1998:160): “A partir de entonces, la capa central, que ocupa la mayor parte del espesor del muro, está integrada por un portante (opus caementicium) en tanto que las exteriores (opus testaceum) adoptan las funciones propias de las superficies de un encofrado perdido. Esto abrió paso a un amplio abanico de aparejos o tratamientos decorativos de los paramentos del muro y a una gran variedad de fábricas mixtas. Su construcción se realizaba por tongadas acabadas, de manera que la tongada se adaptaba al operario y al paramento, de forma que los empujes del mortero no hicieran necesario la presencia de encofrado. “

- ENCOFRADOS RECUPERABLES Y/O REUTILIZABLES
PARA *OPUS CAEMENTIICUM* SIN APISONAR.

La gran revolución del *opus caementicium* se produce con el empleo sistemático en elementos de cubrición de los espacios arqueados, como bóvedas y cúpulas.

Por su diseño precisarán de un elemento contenedor suficientemente resistente que le confiriera estabilidad mientras los materiales fraguaban y así es como el encofrado toma importancia propia en la construcción romana.

La construcción encofrada recuperable y reutilizable va a permitirles ejecutar elementos con formas superficies curvadas con mayores luces que las adinteladas.

Partiendo de la técnica de ejecución de las bóvedas de dovelas de piedra, comienzan a sustituir el material pétreo por el hormigón *in situ* que obligatoriamente tenía la necesidad de un soporte robusto que formará el perfil exacto de la curva, para lo que emplearon moldes como son las cimbras³³.

Estos elementos auxiliares tan necesarios para la ejecución de bóvedas, arcos y cúpulas podían apoyar en los arranques del arco y al suelo (Imagen 11) o únicamente en el arranque y en los estribos labrados en la fábrica del muro (Imagen12). Sin embargo, la falta de representación iconográfica de las cimbras³⁴ ha llevado a proponer modelos de diseño de las mismas basadas en imágenes medievales.

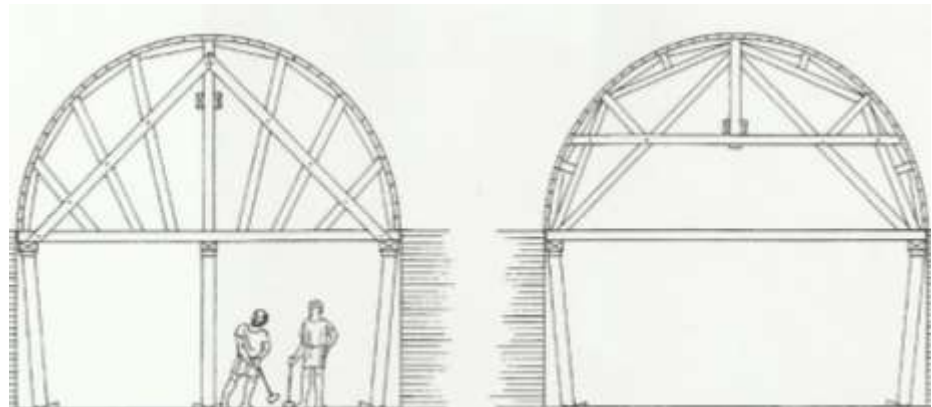


Imagen 11: Detalle de cimbras apoyada en el suelo. (Imagen 418 en Adam (2002:190))

³³ Adam (2002:189). “Si bien el cantero y el albañil puede conformarse con apilar los materiales de construcción desde su andamiaje, deben en cambio, prever necesariamente un soporte robusto que tenga el perfil exacto de la curva que vayan a construir para la edificación de la bóveda, que es una estructura que salva el vacío por partes; ese soporte es la cimbra.

La cimbra está constituida por al menos dos arcos de círculo de madera sólidamente triangulados y unidos por un tablado semicilíndrico llamada manto de la cimbra, que es el molde de la bóveda; el conjunto debe apoyar, bien directamente sobre el suelo mediante unos postes, bien a la altura del nivel de arranque, para así ahorrar madera (fig. 417-418). Esta segunda solución fue elegida con mucha frecuencia por los romanos, practicando salientes que podían adoptar, además, el valor decorativo de las cornisas a nivel de la última hilada horizontal sobre las que resultaba fácil instalar cimbras (fig.419).”

³⁴ Adam (2002:190). “Al no haber revelado todavía hoy la iconografía romana ninguna representación de construcción de bóveda sobre cimbra, no es posible presentar un modelo que pudiera afirmarse fuera conforme a la realidad. Simplemente podemos suponer que esta técnica es en todo semejante a la que, si tenemos atestiguada en las imágenes medievales y que, por otra parte, no conoció ningún cambio hasta el recurso de los perfiles de acero.”

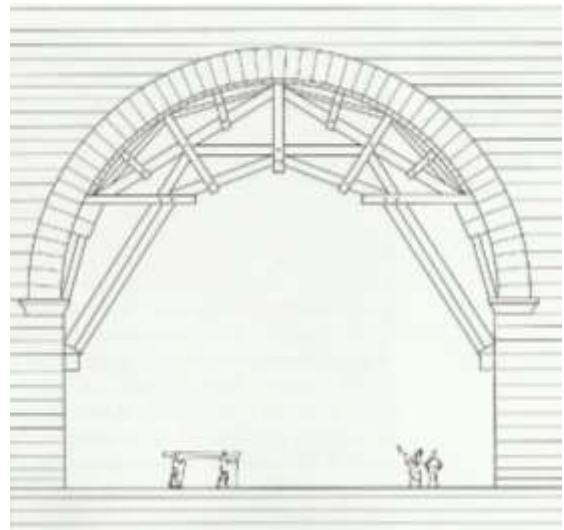


Imagen12: Detalle de cimbra apoyada en el arranque del arco (Imagen 421 en Adam (2002:191)).

Los constructores romanos guiados por su capacidad organizadora, el sentido del deber y disciplina y la búsqueda incesante del ahorro y la eficiencia consiguieron construir elementos alabeados de grandes dimensiones con el menor esfuerzo humano y material.

La construcción abovedada realizada con *opus caementicium* supondrá una revolución en la construcción romana y uno de los hitos más singulares en la historia de las técnicas constructivas.

Sufrirá una evolución constante, debido a la búsqueda incesante del ahorro de madera, material escaso en algunas zonas de su territorio, y cómo no, guiados por la necesidad de agilización en el proceso de puesta en obra. Esto los llevará a emplear cada vez menor superficie encofrada temporal o auxiliar realizada en madera, creando para ello nervios estructurales y portantes, realizados con material cerámico, dispuestos estratégicamente.

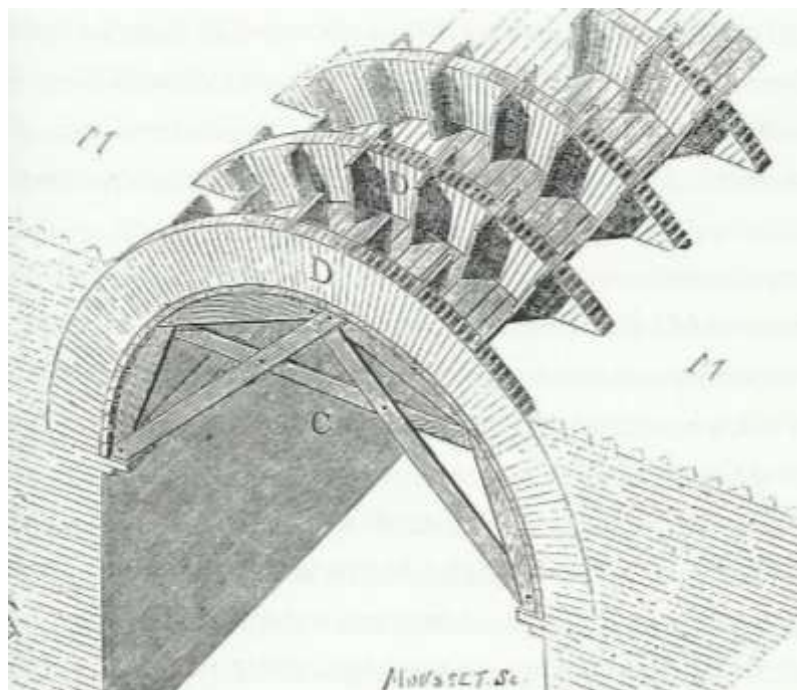


Imagen.13: Detalle de encofrado de una bóveda de cañón con nervios interiores de ladrillo a modo de encofrado permanente. (Imagen 13 en Choisy 1999:33)).

Así es como el encofrado recuperable pierde protagonismo para volver a convertirlo en permanente y al mismo tiempo conseguir que estos elementos contenedores aporten más estabilidad a estas estructuras que seguían trabajando a compresión.

En la búsqueda del ahorro en el empleo de superficies encofradas realizadas en madera, sustituyeron las cimbras madereras por las de cerámica, al menos en determinadas zonas de su imperio donde la madera era un material escaso³⁵.



Imagen.14: Encofrado permanente realizado mediante doble rosca de usos cerámicos en una bóveda de las Termas de Zeltia. (Imagen.423 en Adam 2002:192)).

Los romanos llegaron a perfeccionar tanto la ejecución de bóvedas y cúpulas, que consiguieron obtener doble efecto de las superficies encofradas, la de contenedor resistente y la de decoración³⁶. El ejemplo más relevante es la cúpula del Panteón de Agripa, obra de arte de la arquitectura romana, donde la estética se combina en perfecta armonía con la técnica constructiva. Sigue siendo hoy en día la mayor demostración de conocimiento material y estructural, ingenio y belleza.

³⁵ Adam (2002:190-191). "En África del Norte, donde faltaba la madera tan solicitada para los encofrados, los constructores idearon recurrir a cimbras permanentes constituidas por piezas cerámicas. Estos cilindros también llamados *huesos cerámicos*, abiertos por los dos extremos y estrangulados en uno de ellos, se encajaban hasta formar los arcos de círculo que montaban rápidamente con un mínimo de soportes (fig. 423)."

³⁶ Adam (2002:190). "La solución del cubrimiento gracias a la maestría adquirida en la fabricación de la bóveda era, en efecto, una conquista notable, pero se hacía necesario resolver la práctica de la puesta en obra, y para la construcción de una cúpula como la del Panteón, de 43,30 m de anchura y con un arranque situado a 22 m del suelo, había que ingeniar la estructura de madera capaz de moldear un coloso de este tipo²¹. La solución estribaba, con toda probabilidad, en la edificación de unas nervaduras cimbreadas y reforzadas, apoyadas sobre la cornisa y unidas a por un *manto de cimbra*, tal como propone E. Viollet-le-Duc con una verosimilitud que hace de la propuesta la reconstrucción más plausible con que hasta ahora se cuenta²²."

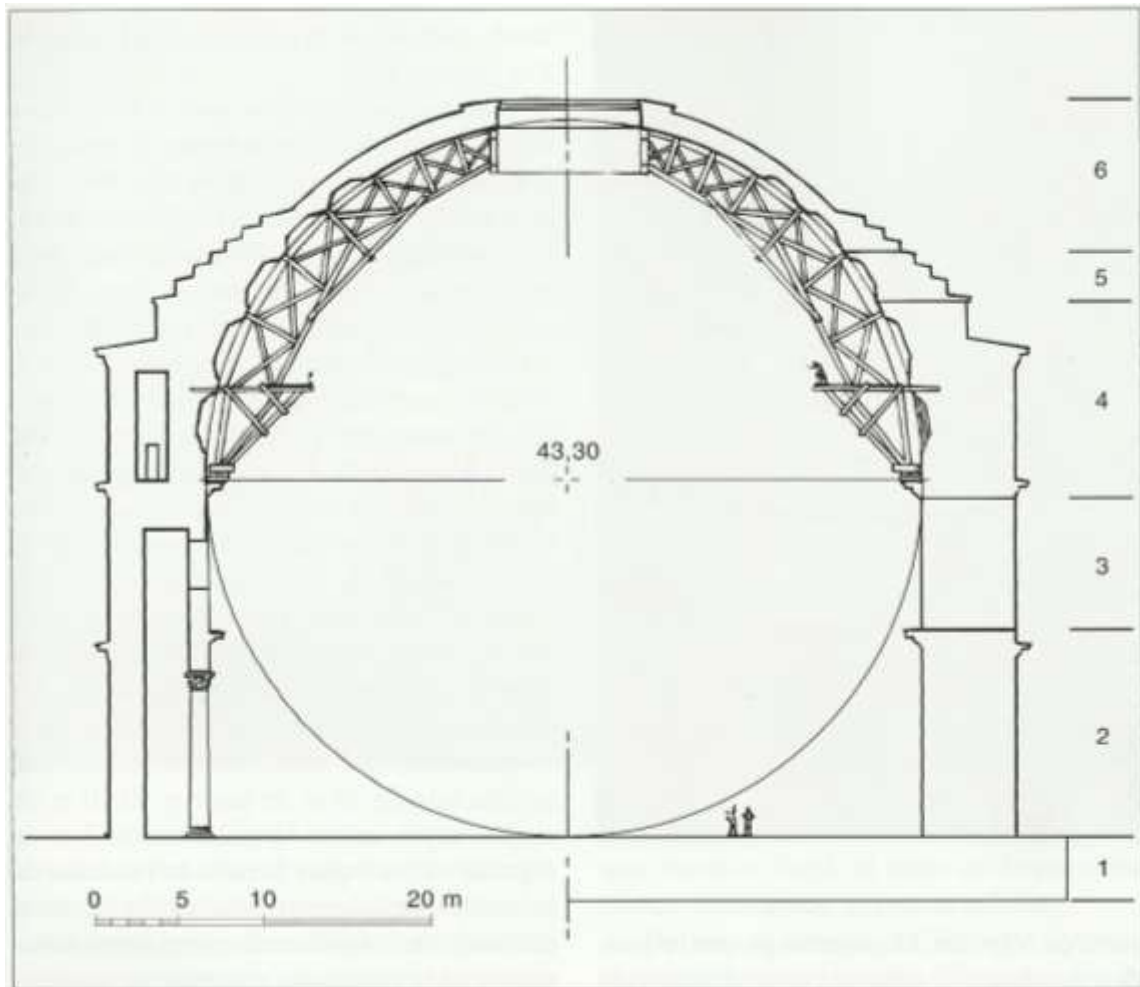


Imagen.15: Sección del Panteón de Agripa (118-125 d.C). Representación de casetones a modo de encofrados recuperables y posible reconstrucción de la cimbra de la cúpula. Imagen .443 en Adam 2002:201)).

7.4.- MEDIOS AUXILIARES O ANDAMIOS

Los andamios debieron ser elementos auxiliares destacables en la preparación y montaje de los encofrados para la ejecución del *opus caementicium*, debido a que fueron necesarios para la puesta en obra de esta técnica constructiva.

En las obras de muros de grandes sillares ejecutados con núcleo de *opus caementicium* apisonado, no se precisaría de andamios para su ejecución debido a que la propia fábrica muraria presentaba suficiente estabilidad para que los operarios pudieran trabajar y depositar los materiales a emplear, auxiliándose de simples escaleras para acceder al tajo.

Sin embargo, para la puesta en obra del *opus caementicium* sin apisonar en las construcciones de muros y superficies abovedadas, donde se empleaban encofrados permanentes, recuperables y/o reutilizables, fue necesaria e inevitable la utilización de andamiajes o *machinae scansoriae*³⁷,

³⁷ Adam (2002:85). "Si bien en la arquitectura de sillar los obreros pueden circular, trabajar y depositar los materiales sobre el propio muro, bastándoles con escaleras de acceso, los albañiles tendrían algunas dificultades para operar de la misma manera, y se ven obligados

proporcionando a los operarios un plano de trabajo seguro y resistente ya que el elemento a construir o en ejecución no presentaba estabilidad por sí mismo.

Cuando las construcciones romanas superaban la altura de tres metros³⁸, se empleaban varios tipos de andamiajes:

- De pértiga o zanca:

Este tipo de andamios consistía en levantar una estructura paralela, independiente y anclada únicamente al suelo, que por sí misma garantizará la estabilidad para realizar principalmente operaciones de revestimiento y decoración de muro ya ejecutado³⁹.

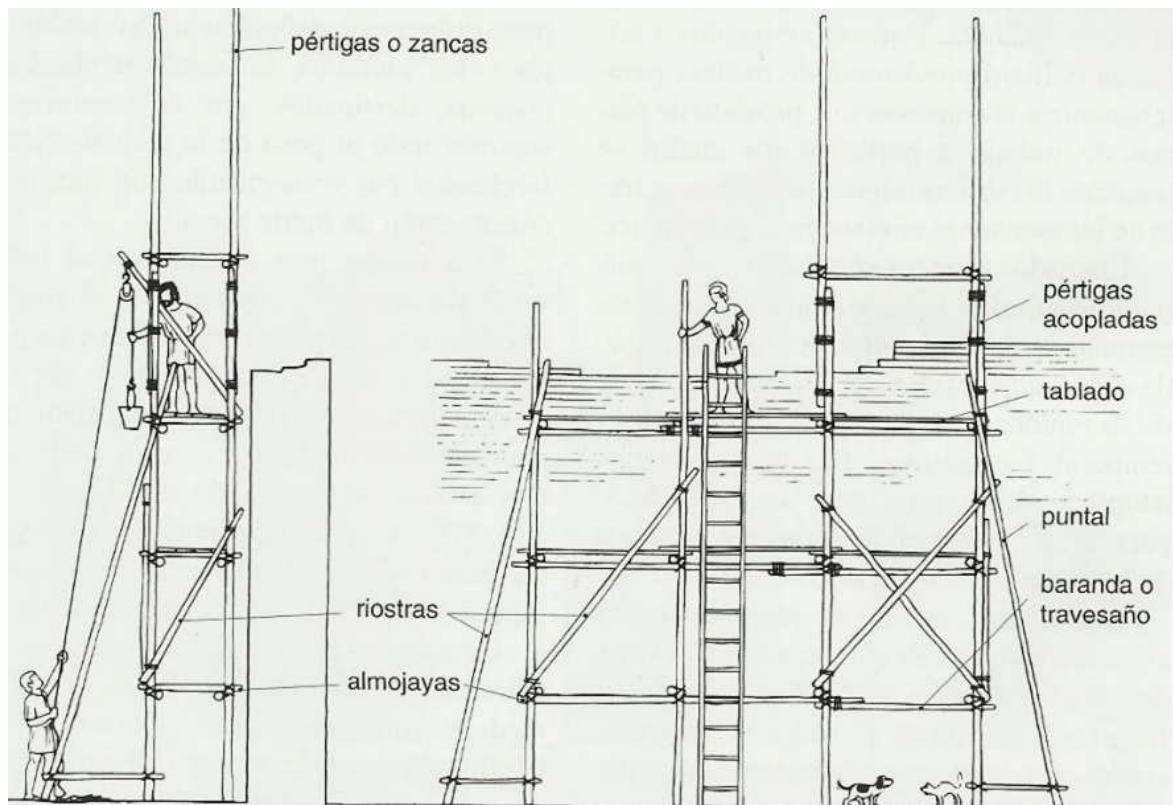


Imagen.15: Andamio de pértiga o zanca (Imagen 179 en Adam 2002:86).

- De pértigas y almojayas:

La evolución de las fábricas murarias, debido al cada vez más creciente uso del *opus caementicium*, hace también evolucionar el andamiaje con la finalidad de permitir realizar operaciones de albañilería. Así, surge este tipo de andamio que deja de ser totalmente

a erigir un edificio provisional de madera paralelamente a la construcción, provisto de planos de trabajo a partir de los cuales se realizaría la fabricación de los muros; se trata de las *machinae scansoriae* o andamiajes”.

³⁸ Adam (2002:86). “Cuando la altura de la construcción sobrepasa los tres metros accesibles mediante simples caballetes, conviene colocar un andamiaje de varios niveles, que se puede construir bien por separado, bien apoyado en el edificio.”

³⁹ Adam (2002:86) “La primera categoría es la de los andamios independientes; éstos deben garantizar su propia estabilidad y descansar obligatoriamente sobre el suelo y según el grosor del muro, se elevan sobre uno o dos lados del mismo.”

independiente, construyéndose utilizando solamente la pértiga exterior unida al suelo y conexionada al muro o estructura vertical mediante travesaños del plano de trabajo o “almajoyas” introducidas en orificios o “mechinales” que se practicaban o se preveían en la fábrica que se estaba levantando.

Si el muro no era excesivamente ancho, los travesaños atravesaban todo el espesor, cortándose cuando se concluía la ejecución, realizando estos también una labor de traba en el muro. En los casos en que el muro poseía excesivo espesor, los travesaños se cortaban o podían ser recuperados y reutilizados.

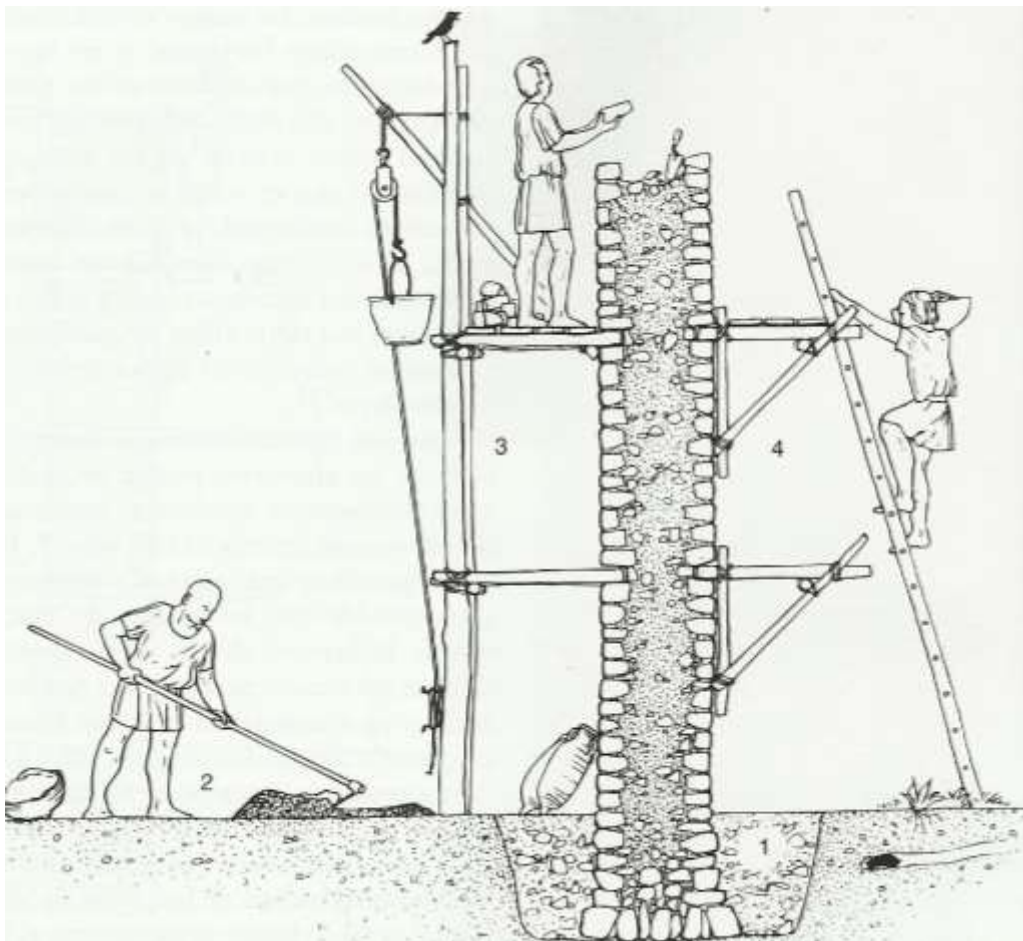


Imagen.16: Detalle de la construcción de un muro con andamios de pértiga y almajoyas y de báscula (Imagen.190 en Adam 2002:90)).

- De báscula:

El andamio de báscula es una evolución del de pértiga y almajoyas, donde se consigue un ahorro considerable de la madera⁴⁰. Consistía en crear el plano de apoyo empotrado en las almajoyas. Evitando así el vuelco del mismo, realizando una escuadra (zanca vertical unida por un tornapunta) que unida al paramento y al plano de trabajo rigidizaba el conjunto.

⁴⁰ Adam (2002:87-89). “Con el fin de economizar madera y asegurar la estabilidad perfecta de la instalación, los albañiles romanos recurrían a menudo a los *andamijes empotrados o en voladizo*, sustituyendo la sujeción de pértigas por un soporte en la mampostería.

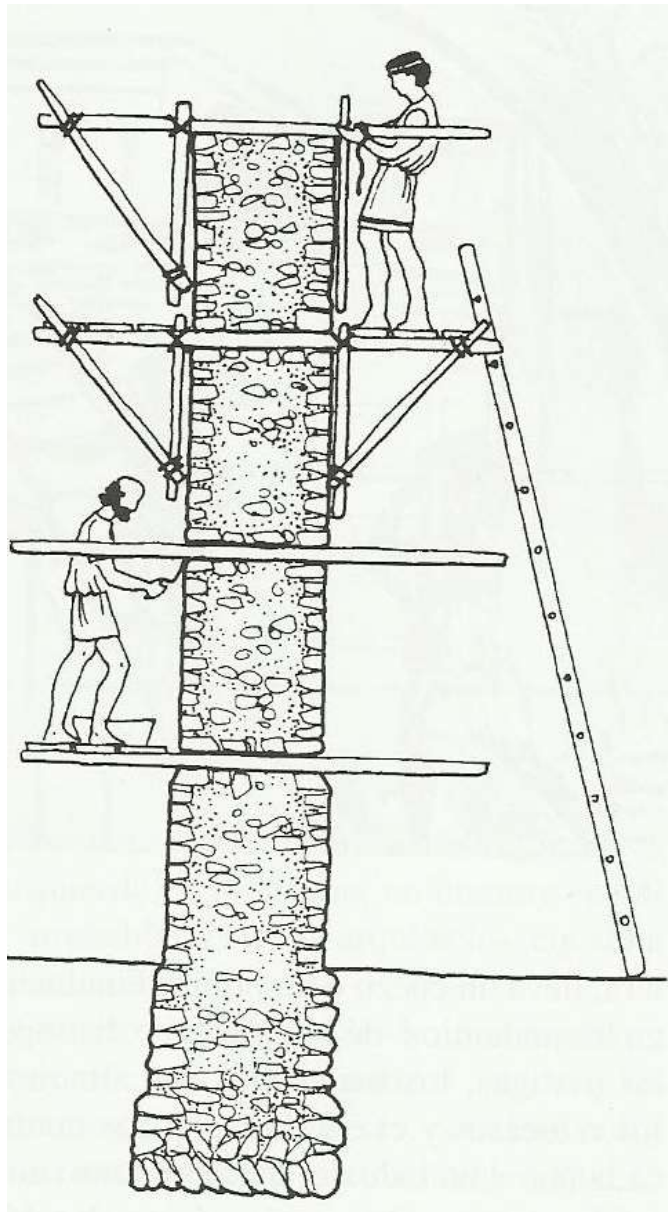


Imagen.17: Detalle de la construcción de un muro con andamios de báscula (Imagen 183 en Adam 2002:88)).

Al igual que en los andamios de pértiga y almojaya, los travesaños podían atravesar el muro⁴¹, pudiendo ser recuperados para seguir empleándolos o cortándolos a ras del paramento para dejarlos perdidos en su interior.

⁴¹ Adam (2002:89). "Con este tipo de andamiaje, llamado de *báscula*, las almojayas podían atravesar el muro totalmente y sostener el entarimado, situado simétricamente al otro lado¹³⁸. Para poder garantizar más rigidez y solidez, las almojayas de los andamiajes de báscula debían, la mayoría de las veces, apoyarse sobre el paramento mediante una zanca vertical, y se triangulaban con una ligadura diagonal o tornapunta (fig. 182, 183, 184).

La presencia de un pequeño dintel encima de cada agujero de empotramiento se destinaba a evitar los amontonamientos de la mampostería encima de las piezas de madera, con el fin de poder recuperar éstas al final de la obra. No obstante, algunas almojayas no recuperables podían aserrarse a ras de la mampostería y permanecer ocultas en ella, haciendo de cadena transversal para unir los paramentos al macizo de relleno."

7.5.- USOS

Los usos del *opus caementicium* han sido ya referidos anteriormente de manera general, pero en este apartado se presentará de manera más específica y concreta.

Para facilitar su mejor comprensión, se ha realizado la Figura 2 en el que se relacionan las tipologías según los encofrados empleados y su puesta en obra, con el uso en los elementos constructivos edificatorios donde se empleó y la cronología aproximada de su primera utilización en la cultura romana, de la que existe constancia en fuentes documentales.

OPUS CAEMENTIICUM	TIPOLOGÍAS		USOS: EDIFICACIÓN / INGENIERÍA CIVIL		CRONOLOGÍA
	Según los ENCOFRADOS EMPLEADOS	Según su PUESTA EN OBRA			
	PERDIDO	APISONADO	CIMENTACIÓN		s. III a.C.
PERMANENTE	APISONADO	MUROS DE GRANDES SILLARES		s. II a. C.	
	SIN APISONAR	MUROS o ESTRUCTURA VERTICAL	MAMPUESTOS o PEQUEÑOS SILLARES LADRILLOS	s. II a. C.	
RECUPERABLE Y/O REUTILIZABLE	SIN APISONAR	ESTRUCTURA CURVA O ALABEADAS	ARCOS BÓVEDAS CÚPULAS	s. I a.C.	

Figura.2: Tabla cronológica de Usos en elementos constructivos según el encofrado empleado y la puesta en obra del *opus caementicium*

a) CIMENTACIÓN

Prácticamente hasta el siglo III a.C. las cimentaciones romanas se realizaban empleando sillares labrados, al igual que los griegos⁴² siendo a partir de este momento cuando el uso del *opus caementicium* comienza a emplearse de manera generalizada en la ejecución de estos elementos.

El diseño de estas cimentaciones no es diferente de las que se realizaban mediante sillares de piedra y en cierto modo tampoco distan de las actuales. Solían ser cimentaciones corridas para los muros, puntualmente mediante pozos para columnas y pilastras y losas, plataformas o basamentos para grandes superficies en extensión y en las torres.

Cuando los romanos advirtieron las múltiples ventajas que les proporcionaba este sistema constructivo, no dudaron en ejecutar “los cimientos de sus principales edificios” (Choisy 1999:12). Consiguieron así sustituir el empleo de la piedra por este material artificial que llegaba a alcanzar similares características mecánicas y resistentes a los materiales naturales, pero con una puesta en obra especialmente más sencilla y barata.

⁴² Herrero (1998:146).

El *opus caementicium* podía también ser empleado en construcciones sumergidas o en presencia de agua, motivo que potenció el desarrollo de la ingeniería civil y de la construcción de elementos subterráneos para diversas infraestructuras. Tanto si el terreno presentaba poca coherencia como si era compacto, los constructores romanos encofraban utilizando madera con la finalidad de conseguir un perfil uniforme.

Con el paso del tiempo y la desaparición del encofrado de madera (Imagen 18) ha permitido obtener información sobre las dimensiones aproximadas de éstos, gracias a las huellas marcadas. También se obtienen datos sobre su proceso de ejecución mediante tongadas de capas alternas de mortero y fragmentos.



Imagen18: Detalle de las huellas de los postes y tableros de encofrados empleados en la cimentación del Palatino (Roma). (Imagen 13 en Lamprecht (1985:24)).

En cimientos ejecutados con *opus caementicium* por compresión se observa una aparente compacidad, no se advierten oquedades e incluso la capa de mortero parece rellenar aquellos intersticios entre los fragmentos de manera homogénea, por lo que es lógico asentir que fue debido a un proceso mecánico de apisonamiento.

b) FÁBRICAS MURARIAS

El uso de la técnica del *opus caementicium* que comienza a emplearse en las cimentaciones romanas se hará extensible a la ejecución de muros a partir del siglo II a.C.

Se inicia su uso en el relleno del núcleo de fábricas de grandes sillares de piedra que facilitaba la labor de compresión de las distintas capas y convirtiéndose las hojas exteriores pétreas en encofrados permanentes. Así también se agilizaba la ejecución de las fábricas murarias.



Imagen19: Detalle de *opus caementicium* que rellenaba el interior de un muro de sillares de piedra en el Foro romano (Roma). (Imagen 11 en Lamprecht (1985:23)).

Descubiertas las numerosas ventajas que proporcionaba esta técnica, su uso se trasladará a la ejecución de cualquier tipo de muro, aunque variando su puesta en obra.

Empleando como material de encofrado permanente, ladrillos y sillares pequeños, se ejecutará de forma similar a la anterior. La variante estriba en que se elimina la operación a apisonado debido a que estos materiales exteriores no son capaces por sí mismos de absorber las sollicitaciones o empujes que se originaban durante la compresión de las capas de mortero y fragmentos.

Así surgen diversas fábricas murarias de tres hojas y cuyo núcleo interior se encontraba relleno de *opus caementicium*, tales como:

- *Opus incertum*: Paramentos realizados con mampuestos de talla irregular o incierta (Imagen 20).
- *Opus reticulatum*: Las hojas exteriores son ejecutadas con pequeños sillares con forma de pirámide para mejorar la adherencia al relleno y dispuestos en diagonal (Imagen 21).

- Opus testaceum o latericium: Las caras externas son realizadas con material cerámico (ladrillos triangulares, cuadrados).



Imagen 20: Opus incertum
(Imagen 296 en Adam (2002:140)).



Imagen 21: Opus reticulatum (Imagen fig 310 en Adam (2002:145)).

El empleo generalizado de esta técnica constructiva dará paso a la aparición de gran variedad de “aparejos o tratamientos decorativos de los paramentos” (Calama 1998:160) de los muros (opus spicatum, opus quadratum), a la creación de fábricas mixtas (opus mixtum) y al desarrollo de la mampostería (opus vitatum).

c) ELEMENTOS DE CUBRICIÓN

El máximo desarrollo del empleo del opus caementicium se produce cuando los constructores romanos comienzan a emplearlo para cubrir sus edificios, siendo la bóveda⁴³, la gran revolución de la arquitectura romana.

Expertos ya en este sistema constructivo, a partir del siglo I a.C. comienzan a utilizarlo en elementos de cubrición de sus grandes edificios. Relegan el empleo de las cubiertas mediante armaduras de madera al uso doméstico y se crean superficies curvas y alabeadas de grandes luces, cuyo interior se ejecutará con *opus caementicium*.

Si habían conseguido construir muros sustituyendo el empleo de la piedra, ¿Por qué no iban también entonces a extender este sistema constructivo a sus arcos, bóvedas y cúpulas?

⁴³ Corzo en Manzano (2000:41-42) “Según los historiadores romanos, este tipo de arquitectura se conoció en roma a través de las experiencias de los ingenieros militares. Curcio Rufo sabía que los primeros edificios con techumbres de mortero habían sido vistos en Fenicia y Mesopotamia por el ejército de Alejandro Magno; más adelante, los romanos tuvieron que enfrentarse a la dificultad de incendiar torres de vigilancia cartaginesas, cubiertas con techos de una mezcla de gran dureza, que resistía eficazmente a la artillería de la época. Estas torres eran abundantes en el Sur de Hispania, donde se las llamaba “Torres de Aníbal”, y formaban un circuito completo en la costa y en las vías interiores para comunicarse mediante señales de la aparición de cualquier peligro. César apreció su consistencia en varias ocasiones. Si a la dureza del mortero de cal y pequeñas piedras (caementa), se añade la rapidez de construcción entre encofrados de madera (paries formaces), se obtienen bóvedas y muros continuos, de gran solidez y sin límites en el trazado de las estructuras más complejas.”

El uso de la piedra les limitaba en numerosos aspectos, sobre todo en las labores de extracción, labrado y transporte a obra que, unido a la posibilidad de existencia de canteras en los distintos territorios, les abogó a sustituir el material compositivo.

Impulsados como siempre por su carácter eminentemente práctico, los romanos aprovecharon las cimbras y encofrados⁴⁴ que tendrían también que utilizar para realizar sus superficies curvas en piedra, para a partir de ese momento, disponer sin apisonar sobre éstos, las distintas capas de mortero de cal y fragmentos.

La colocación de los materiales sobre el encofrado era sencilla⁴⁵, se realizaba por aproximación horizontal desde los arranques de los arcos, como si se tratase de ejecutar un muro de mampostería. Así conseguían obtener planos de trabajo cómodos para sus operarios, evitaban que la capa de argamasa se disgregase por el simple efecto de la gravedad y obtenían un material monolítico tras el desencofrado.



Ç

Imagen 22: Detalle de la Cúpula de *opus caementicium* de las termas del Centro en Pompeya. (Imagen 442 en Adam (2002:199)).

⁴⁴ Graciani (1998:188): "En general, las bóvedas romanas se construyeron con cimbras y camones; se intentaba simplificarlas, a pesar de que el sistema abovedado romano llevaba consigo el empleo de grandes y pesadas cargas de hormigón. No obstante, algunas de las bóvedas proyectadas exigían cimbras pesadas y costosas."

⁴⁵ Adam (2002:194): "... la bóveda concrecionada era simple y directamente vertida a granel sobre la cimbra, de cuyo encofrado tenemos las huellas exactas bajo la bóveda desnuda del enlucido (fig. 432-433-434)."

Únicamente este sistema constructivo presentaba un lógico y grave problema estructural, que eran los empujes laterales de un material rígido, pesado y sin características elásticas. Solucionaron este inconveniente de diversas maneras:

- Ampliando el espesor de los muros tras las superficies curvas a modo de estribos o contrafuertes, con lo que conseguían más inercia en éstos.
- Ejecutando arbotantes y arcos tensores, para descargar los esfuerzos horizontales de los elementos curvos a los muros.
- Aligerando el peso de los materiales, sustituyendo la capa de fragmentos de las piedras por “cerámica triturada, piedra volcánica, incluso en ciertas ocasiones colocando en el interior de la masa, previo al vertido del hormigón unos recipientes cerámicos vacíos, convenientemente encajados unos con los otros, llegando a aligerar hasta el 20% del peso total de la bóveda” Graciani (1998: 188).

Otro inconveniente que planteaba la construcción de grandes superficies curvas, tanto en piedra como en opus caementicium, era la necesidad de consumir madera para construir encofrados y cimbras suficientemente resistentes como para poder soportar el peso durante la ejecución.

En búsqueda del ahorro del material maderero realizaron algunos cambios y mejoras que supusieron un importante avance tecnológico en la ejecución de bóvedas y cúpulas, tales como:

- Prolongación en voladizo de las hiladas del muro por encima del arranque del arco de la bóveda⁴⁶ creando una ménsula latericia y a partir de la cual se dispondría el encofrado.
- Introducción de arcos de ladrillos formando nervios radiales que economizarían el empleo en el número de cimbras (Imagen 23).
- Creación de nervios de ladrillo en dos direcciones⁴⁷ creando una retícula que permitía en el espacio interior formar un casetón⁴⁸ que le conferiría aspecto decorativo tras el desencofrado (Imagen 24).

⁴⁶ Manzano (2000: 33). “El arquitecto romano siempre procuró el ahorro de encofrados, por lo que los primeros zunchos y el arranque de los meridianos se ejecutarían en enjarje, o sea, por hiladas horizontales controladas en su esfericidad por un simple cintrel. Esto permitiría el desarrollo del primer cuarto al menos de la bóveda sin cimbras, que podrían apoyarse sobre un entramado provisional de madera apeado en los propios casetones inferiores. “

⁴⁷ Manzano (2000: 33). “La bóveda esférica sólo alcanza su máxima dimensión (34m de diámetro) en la reconstrucción adrianea del Pantheon. Su ejecución se debió realizar combinando cimbras leñosas radiales con una serie de meridianos y paralelos, realizados en aparejo de ladrillo y que, apoyados en la cimbra durante su ejecución, iban creando el cañamazo rígido donde apoyar los encofrados, compuesto por varias tablas superpuestas que cerraban sus vacíos y cuya contrahuella formaba el casetonado decorativo de la bóveda....”

⁴⁸ Adam (2002:194). “Los constructores romanos, por otra parte, enseguida aprovecharon esta imagen del perfil moldeado y, mediante los encofrados adecuados, prepararon por adelantado los elementos de decoración de sus bóvedas, en forma de artesones que ya encontramos en el Santuario de Palestrina, con un estuco de revestimiento blanco que imitaba los fofitos de mármol griego.”

- Sustitución del manto de la cimbra por materiales cerámicos (ladrillos cuadrados) conformando el intradós de la cimbra y convirtiéndose en encofrados permanentes⁴⁹ (Imagen 25).
- Disminución en el empleo de las tablas del manto de cimbra, colocando sólo las que eran necesarias para poder apoyar ladrillos cuadrados (Imagen 26).
- Creación de cimbras móviles (Imagen 27).

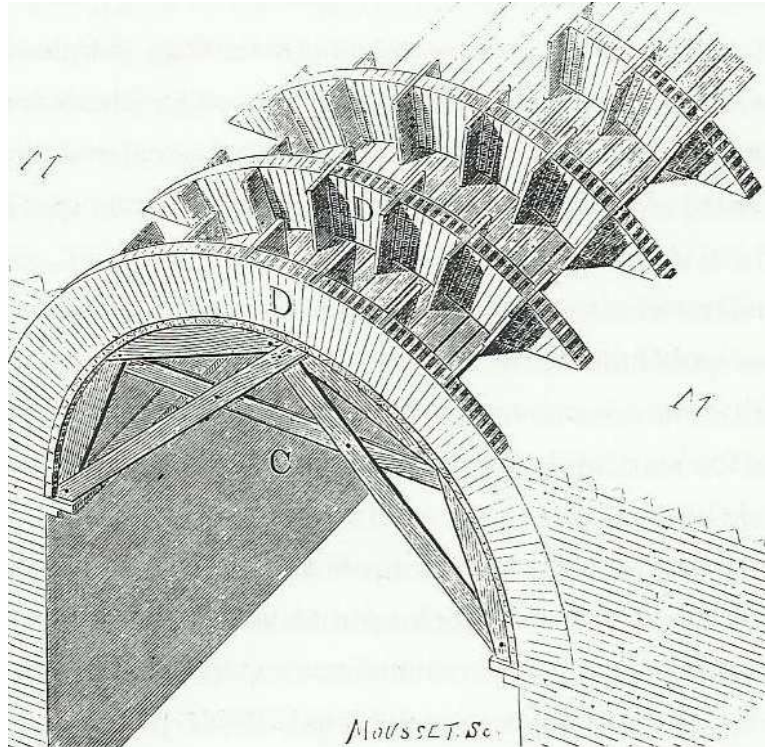


Imagen 23: Bóveda con nervios radiales de ladrillo. (Imagen 13 en Choisy ((1999:33))

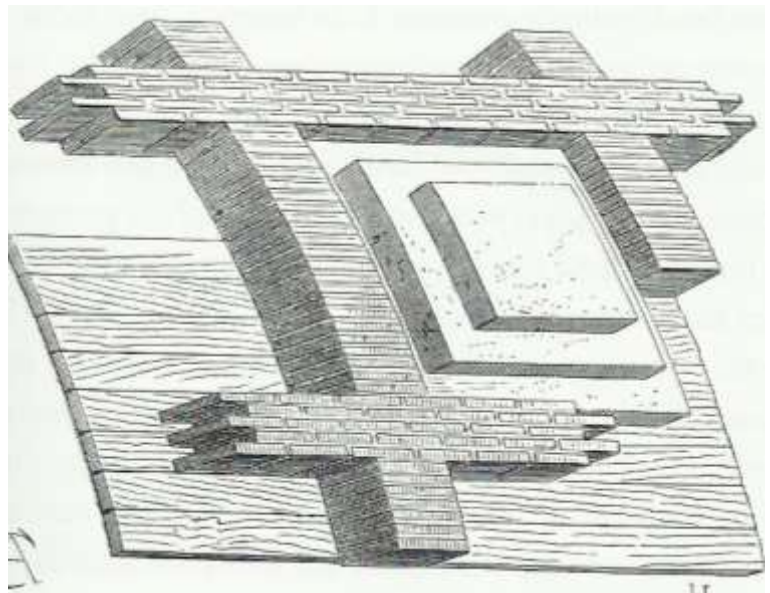


Imagen 24: Nervios de ladrillo formando retícula para case tonado (Imagen 26 en Choisy (1999:51))

⁴⁹ Adam (2002:192). “El procedimiento, que se puede observar en numerosos monumentos de Ostia y de la región romana, consistía en colocar sobre la cimbra una primera capa de ladrillos cuadrados que constituían, de hecho, un segundo encofrado permanente que formaba un fino casco sobre el cual, a partir de la cumbre, es decir, del paramento remontaban los arcos, siempre de ladrillo, unidos entre sí mediante filas de ladrillos dispuestos de cantos y radialmente y a intervalos regulares. Se constituían así una serie de artesones que luego se rellenaban con mampostería a granel²⁵.”

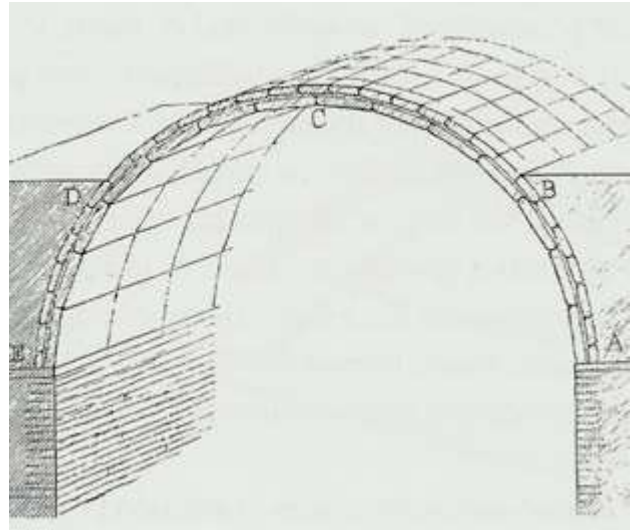


Imagen 25: Bóveda tabicada con ladrillos cuadrados. (Imagen 28 en Choisy (1999:53))

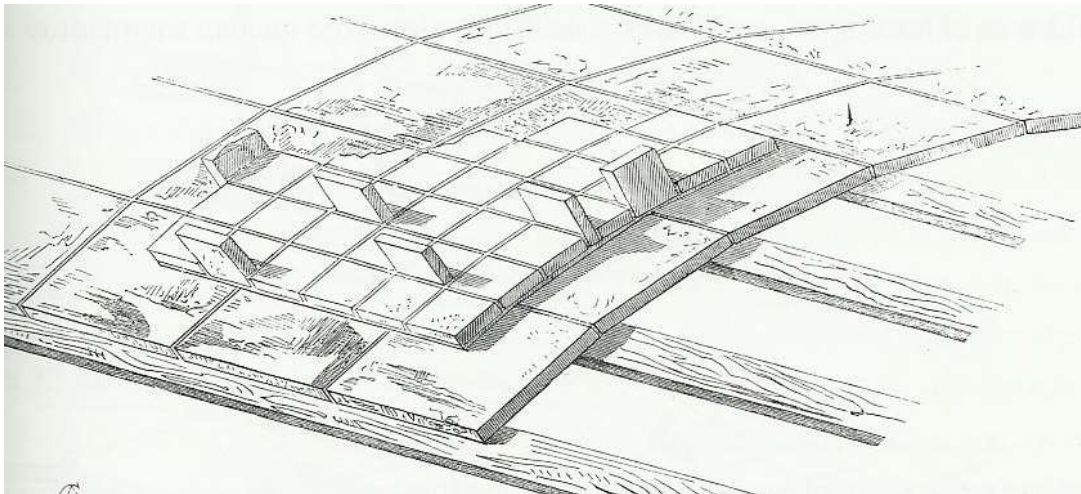


Imagen 26: Detalle de armadura tabicada (Imagen 30 en Choisy (1999:55))

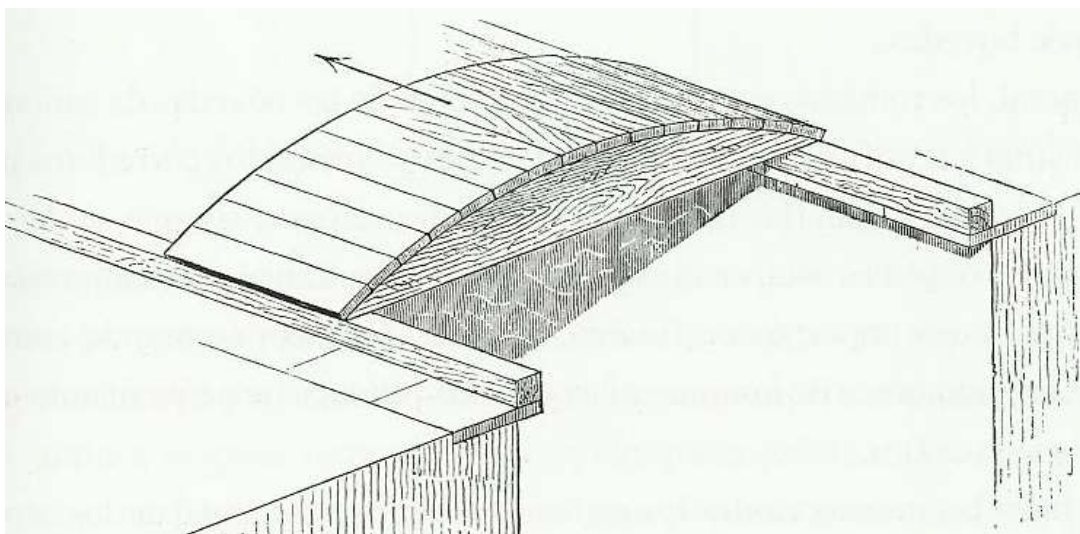


Imagen 27: Detalle de cimbra móvil (Imagen 37 en Choisy (1999:61)).

7.6.- EVOLUCIÓN

La evolución que sufren los sistemas de encofrados empleados por romanos está íntimamente ligada al desarrollo de múltiples factores e indudablemente al empleo sistematizado del *opus caementicium* en toda clase de elementos constructivos y para cualquier parte de una edificación u obra de ingeniería.

El desarrollo de esta técnica constructiva fue posible gracias a la capacidad organizadora, de control y reguladora de una sociedad, que durante más de un milenio fue capaz de crecer, aprender de otras culturas y adaptarse a las necesidades de su sistema político y social.

La arquitectura romana ejecutada con este sistema constructivo ha demostrado que se encontraba al servicio de las necesidades de un pueblo. Con este sistema constructivo, los arquitectos e ingenieros romanos universalizaron la arquitectura⁵⁰, llegando a estandarizar⁵¹ los materiales de construcción y la planificación de las operaciones a realizar en cualquier tipo de obra.

Habría que puntualizar que, aunque consiguieron crear un arte globalizador y eficiente, este no fue inamovible. Dependiendo de los recursos disponibles en los distintos territorios y aceptando las influencias constructivas locales, adaptaron su método para que fuera útil, sencillo, práctico, eficiente y relativamente homogéneo para todas las regiones de su imperio⁵².

Podría considerarse que, *Si la arquitectura romana va transformándose de provincia en provincia, los métodos de construcción también sufrirían una diversificación similar* (Choisy 1999:161), lo que lleva a determinar que no se produce una evolución, sino más bien una adaptación al medio, pero manteniendo ciertos parámetros. Por extensión, los moldes ligados al uso del *opus caementicium* no sufren una evolución entendida como tal, sino el desarrollo lógico de la propia técnica constructiva, en base a las necesidades y recursos al alcance.

Los encofrados romanos evolucionaron de forma generalizada y al mismo tiempo que el empleo de esta técnica constructiva, con la particularidad de que, en búsqueda del ahorro de estos elementos

⁵⁰ Adam (2002:83). "Gracias a esta autoritaria organización de las tareas, basada en la utilización de materiales prefabricados adaptables a todas las construcciones, cualquiera que sean sus dimensiones o su destino (observación válida para el empleo del ladrillo), los romanos van a hacer de la arquitectura, hasta entonces reservadas esencialmente a los santuarios y a las fortificaciones, un arte universal, cuyo plazo de realización va a ser increíblemente corto."

⁵¹ Adam (2002:84). "La estandarización de los materiales de construcción producidos por cantidades inmensas es uno de los secretos de esta increíble rapidez de ejecución, pero conviene sumarle, como corolario, una admirable planificación de la obra, que seguramente fuera amaestrada antes que formada, para realizar tareas sencillas y bien definidas."

⁵² Choisy (1999:163). "..., un cierto número de principios comunes revelan una influencia común emanada de Roma, aunque bajo esta uniformidad aparente, un examen atento descubre innumerables matices, o incluso contrastes, relacionados con la peculiar vida local de las ciudades antiguas. Cada ciudad tiene sus tradiciones arquitectónicas, al igual que sus propias instituciones civiles, sus costumbres y sus cultos. El arte romano tiene, por esta razón un carácter esencialmente municipal y debe comprenderse en su multiplicidad de formas, y no con una rigidez de métodos incompatibles con particularidades y necesidades, cambiantes de una ciudad a otra. Los romanos aceptaron las influencias de los distintos territorios, y transformaron su arte para adaptarlo a todas las regiones de Imperio."

auxiliares, se produce el avance en la técnica. Para ahorrar madera, encofrarían las distintas superficies a ejecutar con materiales (cerámicos o pétreos) para proporcionar distintas misiones como, la de encofrado permanente, la de soporte estable, la del nervio estructural e incluso a veces un efecto simplemente decorativo.

Quizás el encofrado romano no evoluciona como tal, sino que quedó relegado a ser sustituido cada vez más y/o a formar parte de la composición constructiva del elemento ejecutado con opus caementicium. Pero sin duda propició que la técnica constructiva fuera posible y que evolucionara de tal manera que universalizaría el arte de construir romano.

8. Resurgimiento y difusión de la construcción en tierra, el *tapial islámico*.

La técnica del *tapial islámico* realmente no dista conceptualmente de las técnicas de tapial empleadas en otras culturas anteriores y posteriores a ésta. Los motivos que llevan a hacer esta distinción, proporcionándole el nombre propio de *tapial islámico* son variados:

- La proliferación de su uso durante la dominación Islámica de occidente en arquitectura militar, palaciega y doméstica. Resurge una técnica empleada en la Península Ibérica y Norte de África antes de la invasión islámica e incluso de la dominación romana.
- El desarrollo tecnológico, material y estructural que alcanza este sistema constructivo en el sur y este de la Península Ibérica, desde la época islámica a la contemporánea.
- Las variadas fuentes documentales antiguas y contemporáneas que hacen referencia a la definición y empleo de esta técnica constructiva.
- La existencia de numerosos yacimientos y edificaciones que aún se conservan.
- La difusión de una técnica que ha sido capaz de perdurar en el tiempo y en el espacio, llegando a cruzar otros continentes y que aún se sigue usando en numerosas partes del planeta.

Quizás parezca presuntuoso concederle tanto mérito y tan variadas razones a una técnica ancestral, hasta el punto de denominarla con un calificativo propio, e incluso pueda que no sea del todo acertado. Sin embargo, se ha entendido a medida que se desarrollaba la investigación, que es la dominación islámica la que hace resurgir, desarrollar y difundir esta técnica constructiva encofrada, al menos desde la Península Ibérica al mundo.

8.1.- DEFINICIÓN

El tapial es un sistema de construcción muraria consistente en la técnica de apisonado de una argamasa dispuesta entre cajones desmontables de madera.

Originalmente estas fábricas se ejecutaron empleando simplemente tierra de naturaleza arcillosa⁵³, mezclada con una determinada cantidad de agua permitiría crear una masa dócil para someterla a la operación manual del apisonamiento entre moldes (*Formatean* o *formacium*)⁵⁴, los cuales determinaban el espesor de la fábrica.

No es objeto de este apartado realizar una caracterización exhaustiva del material empleado en la

⁵³ Gurriarán (2000:110). "Basta con disponer de tierra a ser posible arcillosa y grasa, limpia de materia orgánica y suficientemente oreada durante varios meses"

⁵⁴ San Isidoro de Sevilla (2004:1081). "5. *Formatium* o *formacium*, o muro de adobes, es el nombre que se da, en África y en Hispania, a las paredes construidas en tierra. Dispuestos dos tabloneros a ambas partes, según la forma de la pared, entre ellos se va formando la pared apretando la tierra en vez de emplear los adobes ya hechos previamente. Se mantienen durante largo tiempo inalterables a los vientos y son más duros que el fuego y que todo el cemento." ETIMOLOGÍAS Libro XV. Acerca de los edificios y los campos. 9. Sobre las defensas

elaboración de fábricas de tapial. Más bien se pretende definir la composición de la mezcla a grandes rasgos⁵⁵, para someramente evaluar la evolución que sufre a medida que se desarrolla su empleo.

Básicamente la composición original de la argamasa consistía principalmente en Aglomerante (barro o arcilla) y Conglomerante (arenas y gravilla).

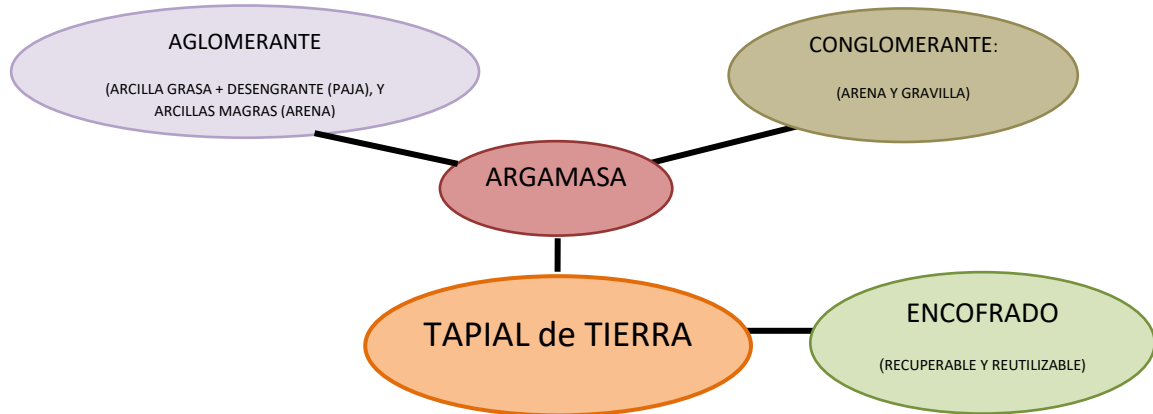


Figura.3: Esquema gráfico de la composición del *tapial de tierra*

Los datos arrojados en tratados construcción, estudios y ensayos realizados a determinados muros de tapial, no han determinado una fórmula constante de la masa⁵⁶. La composición material del tapial está sujeta a los recursos disponibles en cada zona geográfica, aunque, indudablemente, existen unas determinadas proporciones o porcentajes de cada uno de los componentes para obtener una argamasa adecuada.

Las dosificaciones de los materiales compositivos de la argamasa de estas fábricas de tierra difieren de unos autores a otros. Entre los consultados, se destacan citas como las que se relacionan por la disparidad que arrojan:

Tradicionalmente se viene citando como fórmula idónea para obtener una buena tapia de tierra aquella que recurre a cuatro partes de arcilla por cada una de arena y de gravilla, aunque también encontraremos como usual la combinación de dos partes de arcilla, otra de arena y otra de tierra vegetal. Gurriarán (2000:110-111).

...; el tapial debe constar de una mezcla con un contenido de arcilla inferior al 20% y de arena superior al 45%. Muchas veces estos tipos de materiales se utilizaban en combinación con elementos pétreos, bien alterándolos o bien actuando la piedra como material base sobre el que se descansaba el muro de tapial. Flores (1998:70-71).

⁵⁵ Únicamente haciendo la distinción entre aglomerantes, conglomerantes y adiciones aportadas a la mezcla o argamasa.

⁵⁶ Canivell (2011:155). "En cuanto a la composición de las tierras a utilizar para los tapiales, no existe un único conceso a cerca de las proporciones a utilizar. Desde el siglo XVII, diferentes autores de manuales y tratados de construcción y contemporáneamente, técnicos y autores en CCT, han ofrecido pautas generales para la selección de los suelos aptos para la tapia. Los textos más antiguos son más imprecisos, siendo los más cercanos algo más concretos, pero sin llegar a precisar totalmente las composiciones exactas, más bien son recomendaciones límites. Quizás no pueda ser de otra manera, pues la propia técnica del tapial cambia su materialidad según su localización geográfica y por ello no es posible tratar una composición ideal y única."

Analizadas estas referencias se pone de manifiesto que las recomendaciones para elaborar una fábrica de tapial de tierra son muy variables respecto a la composición material, no existiendo patrones o fórmulas que las caractericen de manera genérica⁵⁷.

Durante la invasión y dominación islámica de la Península Ibérica, la técnica del tapial comienza a ser cada vez más empleada. El uso extensivo de esta técnica constructiva en muy diversas regiones del al-Andalus⁵⁸ donde la materia principal (tierra arcillosa) era variable unido al desarrollo de la arquitectura civil y militar⁵⁹, originará la evolución en la fórmula compositiva y original de la argamasa.

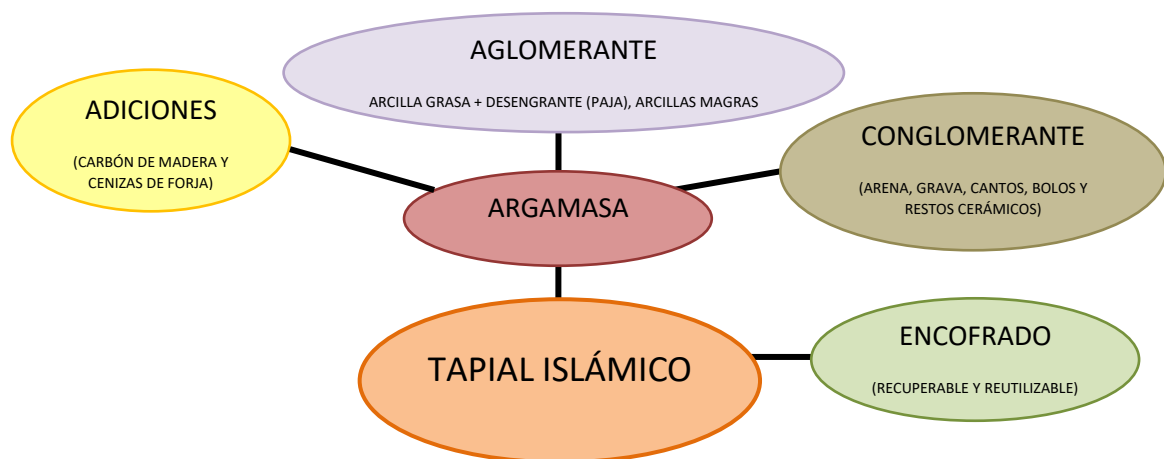


Figura.4: Esquema gráfico de la composición del *tapial islámico*

La experimentación adquirida debido a su empleo cada vez más frecuente, la necesidad de aprovechamiento de los recursos materiales asequibles en el entorno y en busca de conseguir una mejora en la mezcla para que fuera más resistente y duradera, son posibles causas por las que, en las construcciones, sobre todo desde la época almohade⁶⁰, se distinguen entre distintos tipos de arcillas

⁵⁷ Canivell (2011:156). “No existe un único criterio que especifique la granulometría más apta para la fabricación de tapias de tierra. Depende en gran medida del tipo preciso de tapia que se disponga a realizar y del material disponible en el lugar”.

⁵⁸ Zona de ocupación musulmana en la Península Ibérica desde el siglo VIII y hasta su expulsión en el XV.

⁵⁹ Gurriarán (2000:110). “El material a emplear en la construcción de la tapia puede ser de naturaleza muy diversa –así solemos estudiar infinidad de variedades- aunque es evidente la identificación de dos grandes grupos: lo habitual en obras modestas es la elección como materia prima de simples tierras, preferentemente arcillosas, mientras que en aquellas fundaciones defensivas o con especiales requerimientos resistentes, triunfarán los hormigones de cal.”

⁶⁰ Gurriarán (2000:111). “No obstante serán los hormigones de cal quienes destaquen sobremanera en las construcciones almohades. Este material se conformará mediante importantes cantidades de cal como elemento básico aglomerante, incluyendo además arenas, gravas y cantos o bolos –a veces acompañados de abundantes restos cerámicos- en proporciones variables. De igual modo, son comunes ciertas adiciones que mejora las propiedades generales del material, tenemos así numerosas tapias que incluían entre sus componentes carbón de madera para acelerar el fraguado, e incluso cenizas de forja. Dependiendo de lo elaborado de la mezcla, se apreciará la presencia de cantidades variables de tierra arcillosa en su composición. Debemos destacar que las características de este material, bien dosificado en sus componentes y adecuadamente trabajado, serán excepcionales: impermeabilidad, dureza, comportamiento monolítico, así como alta resistencia al desgaste y a la acción de los agentes erosivos.”

(grasas y magras) y la cal como aglomerante.

La introducción de cal en la argamasa proporcionó aumentar las características mecánicas de las fábricas murarias, convirtiendo a los muros de tierra apisonada entre encofrados, en hormigones que alcanzaron gran resistencia y durabilidad.

Así mismo, los conglomerantes a emplear también evolucionan introduciéndose en la mezcla, áridos de mayor granulometría (gravas, cantos y bolos) e incluso fragmentos o restos cerámicos. Y cómo no destacar, la importancia de las adiciones (carbón de madera, cenizas de forja) que acelerarían el proceso de fraguado.

Con esta distinción no se pretende definir al *tapial islámico* como una variante del tapial, sino más bien incidir en que esta técnica sufrió una evolución en la composición material, debido al momento de dominación islámica en el al-Andalus.

Realizada a grandes rasgos la identificación de la materia compositiva de la técnica del tapial, es necesario definir los distintos elementos que componen el encofrado o molde, que es el responsable del nombre propio de la técnica constructiva⁶¹.

Es interesante y a colación de lo anteriormente expresado, resaltar la definición que plantea López Martínez, sobre el tapial

El encofrado con el que se fabrica una tapia se denomina tapial, y tiene unas propiedades características: es reutilizable, manejable por una, dos o tres personas (lo cual tiene implicaciones en cuanto a tamaño y peso), deslizante, ajustable a distintos tamaños de muro y capaz de soportar, sin variación de su forma, las presiones que provoca el apisonado del material⁶², incluso añadiría cierta característica drenante, queriendo decir, capaz de eliminar un posible exceso de agua. (López 2003:46).

El tapial es un encofrado muy sencillo, pero no trivial, supone una evolución previa con la consiguiente depuración para lograr de una manera fácil las características que antes hemos enumerado. (López 2003:47).

El material empleado para la mayoría de las partes que componen el tapial se confeccionaba en madera y la nomenclatura utilizada es diversa, según la tradición constructiva de la zona o la época.

⁶¹ Según el diccionario de la Real Academia de la Lengua, en su vigésima segunda edición, el término “tapial” tiene varias acepciones: 1. m. Molde de dos tableros paralelos en que se forman las tapias. 2. m. Trozo de pared que se hace con tierra amasada. 3. m. Pared formada de esta manera. Estas definiciones que también aparecen en la tratadística consultada, denominando tanto al tramo de muro como al encofrado o molde empleado con el mismo calificativo, ha generado confusión. Sin embargo, existe más referencias documentales y autores que cuando se refieren al TAPIAL lo hace respecto la horma o encofrado, definiendo a la TAPIA como a la masa de tierra o argamasa amasada y apisonada en el interior de estos.

Los elementos que componen este encofrado son:

- TAPIAL⁶²: Molde compuesto por dos tableros paralelos conformado por la unión de varias tablas⁶³ dispuesta en sentido longitudinal mediante listones clavados denominados barzones, barrotes o costillas.

La altura y longitud definen el módulo, también denominado cajón o unidad de tramo de muro o tapia ejecutada entre el encofrado.

El tapial puede denominarse como tablero⁶⁴, tapialeras y puertas de tapiar⁶⁵.



Imagen 28: Tapial (Imagen de Fco. Javier López Martínez)

⁶² Gurriarán (2000:111). "... lo realmente destacado de esta técnica constructiva será el uso del tapial, entendido este como un encofrado recuperable –conocido por luh en el al-Andalus y el Magreb- que serviría para su puesta en obra. Se organizará mediante dos tableros de madera, preferiblemente resinosa, que configuraban las caras largas laterales del cajón. Sus cotas han de ser precisas para que se pueda manejar fácilmente, y al mismo tiempo, de tamaño suficiente para garantizar un elevado aporte de material a la tapia en cada colocación del encofrado."

⁶³ Pavón (1999:613). "Ibn Jaldun describe en el siglo XIV la fábrica de muros de tierra o tabiya -*bína bi-l-turab*- formada por encofrado -*lawd*- , dos planchas de madera de longitud y altura variable según cada localidad y anchura por lo general no rebasaba los dos codos, las planchas, normalmente formadas por cuatro o cinco tablillas clavadas a maderos verticales o gatos, quedaban unidas transversalmente por los durmientes sujetos arriba por cuerdas..."

⁶⁴ De Villanueva (1984:25).

⁶⁵ Fernández Balbuena (1922:231).

- **CABECERO O FRONTERA:** son los elementos que cierran lateralmente los extremos del tapial⁶⁶. Se compone de tablas dispuestas verticalmente unidos por barrotes o costillas clavados en sentido horizontal. La anchura del cabecero define la anchura del muro o tapia.

Para mantener su posición se encajan entre dos listones dispuestos verticalmente clavados al tapial como si fuera un canal, denominado gárgol o apoyándolo directamente sobre dos barzones.

También se denomina costero, cabezal, compuerta, tablacho o tapial extremo.



Imagen 29: Frontera (Imagen de Fco. Javier López Martínez)

- **GÁRGOL:** carril o canal realizado con listones de madera y dispuestos para introducir la frontera o cabecero.
- **AGUJAS:** son travesaños que permiten el apoyo y la unión transversal inferior del tapial. Se colocan sobre el zócalo⁶⁷ o sobre la cara superior del tramo de tapia o muro ejecutado.

Para que el tapial quede parcialmente fijado, también se precisan de otro elemento que es colocado verticalmente anclado, encajado o embutido en las agujas, denominados costales. La unión de la aguja con la pareja de costales forma un cerco en forma de "U" que permitía el apoyo del tapial junto con otros elementos auxiliares (cuerdas o codales), conformando todo un cerco denominado

⁶⁶ Gurriarán (2000:112). "Los cabeceros terminan de configurar la estructura del cajón, nombre que reciben las tablas que cierran la testa del volumen a tapiar, pudiendo ir dispuestos oblicua o verticalmente en una misma fábrica".

⁶⁷ El zócalo o pie de aguja es el arranque del muro o tapia. Normalmente eran ejecutado con materiales pétreos o cerámicos para evitar el contacto directo de la fábrica de tierra con el terreno y proporcionarle un apoyo estable y más resistente a la humedad. Podría considerarse como un recrecido del elemento de cimentación.

Aro que consiguen la estabilización del conjunto.

El estudio de los restos de las agujas, huellas o improntas ha arrojado mucha información, pudiendo determinarse tantas secciones, número empleado, longitud o entrega en el muro, disposición respecto al hilo de la tapia y por tanto en gran medida, la evolución de la técnica constructiva del tapial.

Las secciones son variadas: circulares, rectangulares o cuadradas. La evolución en su forma tiene relación directa con la evolución de este encofrado⁶⁸ y de esta técnica constructiva.

Los huecos para alojarlas o mechinales poseen separación variable⁶⁹. Su forma y posición respecto al hilo o hilada de la tapia va a depender directamente de la sección de la aguja. Originalmente se disponía realizando un rebaje directo en el tramo de fábrica previamente ejecutada (caso de tapial simple o común). Pero cuando comienzan a introducirse en los tapias hiladas de mampuestos o ladrillos, el hueco del mechinal muestra una previsión o replanteo previo para cobijar a la aguja con la intención de crear un plano de apoyo más uniforme (caso de tapial mixto verdugado).



Imagen 30: Aguja entre verdugada de ladrillo y con remate late ricio. Muralla de Marchena (Sevilla) (Imagen de J. Canadell).

⁶⁸ Graciani (2009:119) "La sección de la aguja (circular, rectangular o cuadrada) determina el cuidado en la ejecución, ligado, en consecuencia, al tiempo y los medios a disposición. La sustitución por las agujas de tabla plana de los rollizo, más simples y menos evolucionados, y que, en cualquier caso, perduraron en fábricas de tapias menos cuidados, se produjo con los almohades, exigiendo su talla y su perforación para el encastrado del codal (fig. 6), pero, en paralelo, agilizando el proceso constructivo al reducir el cajado exigido en el espesor de la tapia para la colocación de la aguja."

⁶⁹ Pavón (1999:615): "El número de mechinales en el sentido horizontal de cada tapia era de 3 a 4 dándose casos muy excepcionales de 5 a 7. Los había redondos o rollizos, cuadrados y rectangulares, éstos últimos con una piedra por dintel, a veces otra en la base y no faltan casos de mechinales con caja o marco de piedras o ladrillos."



Imagen 31: Aguja e impronta de la cuerda. Muralla de Granada (Imagen J. Canivell).

El número de agujas empleadas por tapial varía de tres a cinco unidades y la separación entre agujas contiguas manifiesta la evolución en el proceso de ejecución de las fábricas⁷⁰ en búsqueda de la agilización de su puesta en obra.

Respecto a la longitud o entrega en el muro, depende directamente del espesor de éste:

- Si el muro a construir alcanzaba espesores inferiores a 60 cm, las agujas empleadas eran pasantes comportándose como llaves o traba de la fábrica muraría, al quedar introducidas en la masa endurecida.
- Si se aumentaba el espesor del muro, se colocaban medias agujas⁷¹ que precisaban de anclaje al mismo, mediante clavos de madera que evitara el vuelco cuando se instalara sobre ellas el tapial.

Cuando se concluía la ejecución de la tapia, las agujas eran aserradas a ras del paramento ejecutado. Pero también es probable que previamente pudieran emplearse como base para la colocación o fijación de andamios, permitiendo realizar las labores de revestimientos de las fábricas.

⁷⁰ Graciani (2009:119) “Es igualmente importante considerar la posición de la aguja y sus elementos asociados (por ejemplo, ladrillos), tanto la separación entre contiguas como su posición relativa no sólo al contacto con los hilos, sino también a la junta vertical de encuentro entre cajones. Así, el incremento de la separación entre agujas, de los 50 cm de los tapiales más tempranos a los 85 cm que, en la actualidad, facilitan al tapiador el apisonado, empieza a evidenciarse en época almohade, coincidiendo con otros importantes avances de la técnica.”

⁷¹ Gurriarán (2000:111-112):” Las agujas, separadas entre sí 70-80 cm, determinaban la anchura del muro, y aunque solían disponerse de forma continua en todo el grueso del mismo, podían aparecer como dos piezas independientes, “

- **Costal:** elemento vertical⁷² que rigidiza a los tapiales, se apoya, embute o ancla a las agujas por cada cara del tapial y tiene la misión de sujeción lateral. La unión a la aguja podía ser bien mediante una muesca (hembra) o hueco que presentaba éste o bien acabado en un tetoncillo (macho) que se introducía en orificio que presentaba la aguja.

Para evitar el vuelco hacia el exterior, a la altura del tablero de tapial se disponían cuerdas que unían la pareja de costales formando un estrecho anillo apretado a modo de torniquete. Pero para contrarrestar la tensión que creaban estas cuerdas hacia el interior, desde esos mismos costales se disponía otra cuerda que se atirantaba atándose al extremo de la aguja. Esta es la forma más básica y conocida para estabilizar el conjunto de aguja-costal-tapial, siendo la más habitual en tapiales de uso doméstico.

- **Cuerdas:** elementos auxiliares utilizados para realizar las operaciones de apriete, atirantado y estabilización del encofrado para que quedase fijo e indeformable para la puesta en obra de la argamasa.
- **Cuñas:** piezas o accesorios que se emplea para la fijación del costal a la aguja, alojándose en los huecos de estas y sirviendo para el apriete de los costales en su parte inferior.
- **Codal:** pieza que permite la unión transversal superior del tapial a modo de acodamiento, impiden que los tapiales se vuelquen hacia el interior.

Su sección solía ser cilíndrica y su longitud equivaldría a la anchura del muro. Es probable que sólo se emplearan en tapias de pequeños espesores o de uso doméstico.

También se les denomina listones o codalillos.

- **Clavos:** elementos para fijar la posición de las medias agujas. Es probable que se elaboraran aprovechando restos de las maderas⁷³.

Presentan formas variables. Su diseño tiene una función evidente, la de fijación de la aguja al muro. Independientemente de su sección, acaban en un extremo en forma de punta para facilitar el clavado y en el contrario presentan un rebaje para hacer de tope con la aguja.

Estos elementos son otra muestra de la evolución que debió sufrir la técnica. En algunos recintos

⁷² Gurriarán (2000:111). "Estos tableros compuestos por cuatro o cinco tablas dispuestas de forma horizontal y separadas entre sí varios milímetros para poder expulsar el agua sobrante de la mezcla apisonada, serán aguantadas por varios costales, montantes verticales que además dan rigidez al encofrado. Estos solían sobresalir de manera suficiente sobre los tapiales, anclándose de forma rígida sobre muescas practicadas en una serie de travesaños, denominados agujas, colocados en sentido transversal al tapial dentro de pequeñas cajas abiertas en la tapia inferior."

⁷³ Canivell (2008:79) "Las agujas encontradas en algunos muros suelen tener los mismos espesores que los clavos correspondientes, con lo que se puede deducir que a partir de un mismo material de origen, que son tablas de unos 3 cm de espesor, se elaborarían los encofrados, las agujas y los clavos, logrando así explotar al máximo los recursos disponibles."

amurallados de Sevilla se han detectado restos de clavos (Imágenes 32 y 33) o incluso la huella de su existencia (Imagen 34).



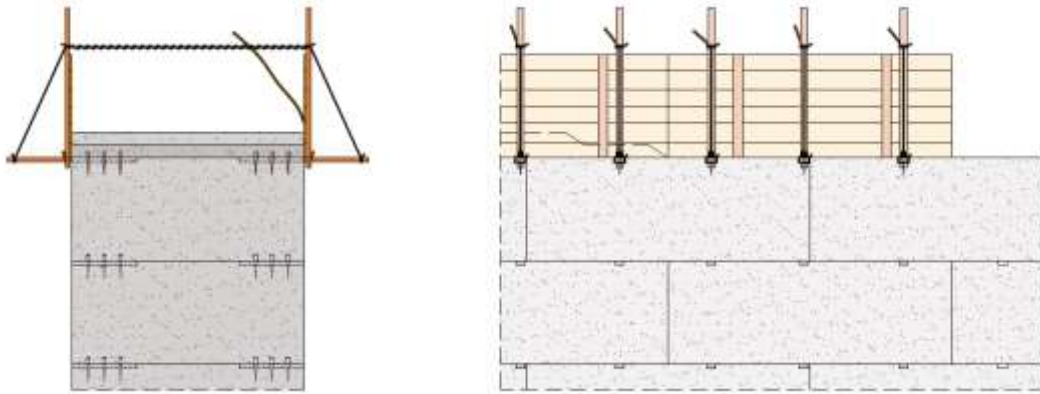
Imagen 32: Clavo de la Muralla de San Juan de Aznalfarache (Sevilla). (Imagen de J. Canivell).



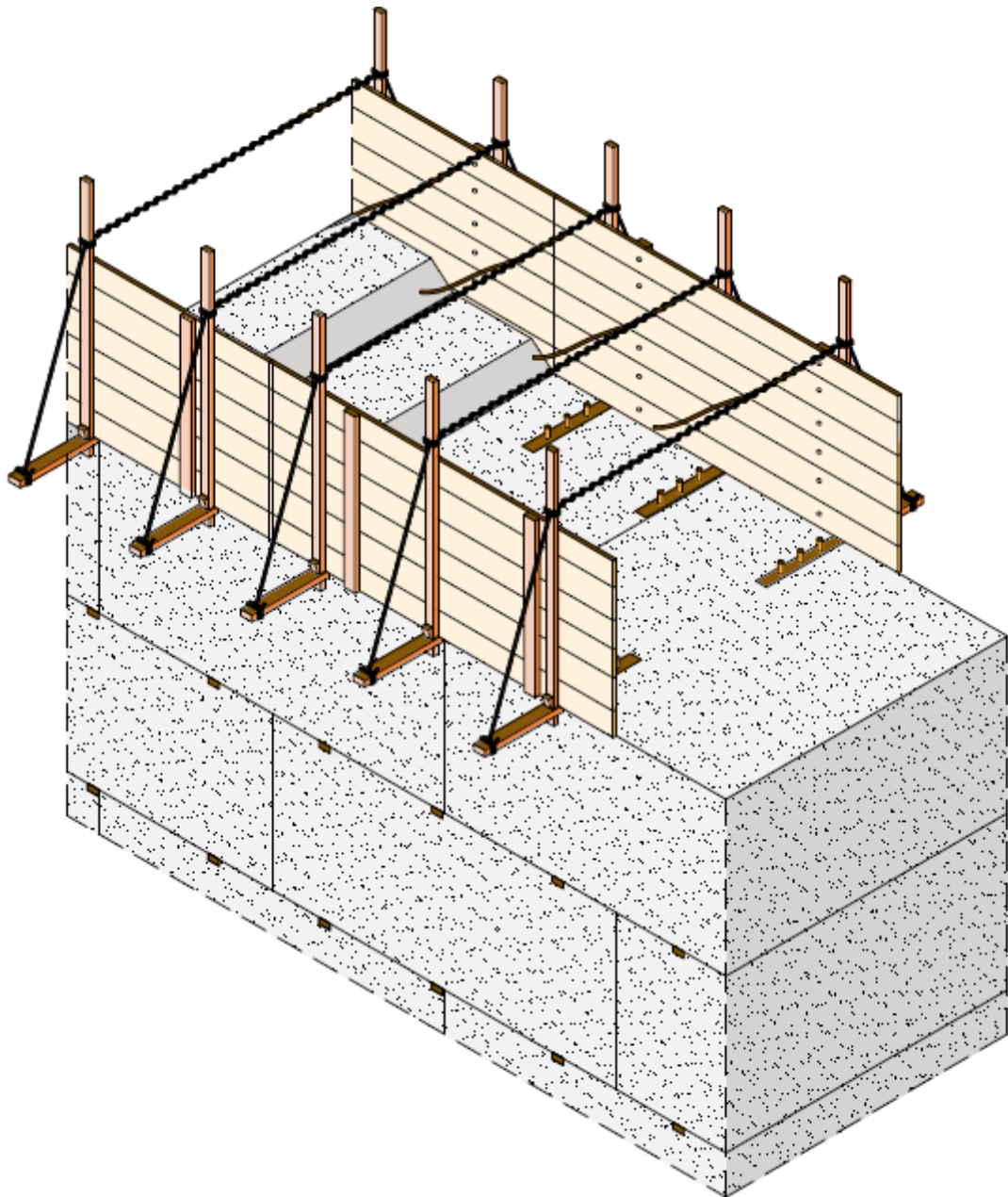
Imagen 33: Restos de clavos. Muralla de Sanlúcar la Mayor (Sevilla). (Imagen de J. Canivell).



Imagen 34: Resto de aguja e impronta de los clavos. Muralla de Sanlúcar la Mayor (Sevilla). (Imagen J. Canivell)



Dibujo 1: Sección y alzado de fábrica de tapial común de modulo alto (0,90m), espesor del muro 1,80mr, longitud del cajón de m y agujas de sección rectangular (7x3 cm) separadas entre 60 a 70 cm.



Dibujo 2: Perspectiva isométrica de una fábrica de tapial común de modulo alto (0,90m), espesor del muro 1,80 m, longitud del cajón de 2,50 m y agujas de sección rectangular (7x3 cm) separadas entre 60 a 70 cm. Posible montaje del encofrado de un tramo de muralla islámica del periodo norteafricano.

Definidos los elementos que componen el encofrado de esta técnica constructiva de fábricas murarias, para completar su definición queda establecer su caracterización métrica o dimensional. Para ello se utiliza como unidad de medida la que arroja el CAJÓN⁷⁴.

El estudio métrico sobre estas fábricas se realiza sobre sus huellas, las cuales, dado el paso del tiempo y las posibles actuaciones sobre estos muros, no siempre permite obtener valores con precisión. Generalmente se pueden definir la altura y la longitud del cajón, aunque esta última dimensión a veces resulta dificultosa su determinación, como en el caso de la ejecución del muro utilizando cajones corridos. Los parámetros de longitud del cajón, más repetidos en las fuentes consultadas, varían entre 2,25 a 2,50 m.

La altura también puede variar por cuestiones de la puesta en obra como: Variaciones en el asiento del tapial, Imprecisiones ocurridas durante la ejecución y/o Necesidades constructivas. Aun así, es una dimensión que es fácilmente reconocible debido a que el muro se ejecutaba por tongadas horizontales hasta completar la altura del molde, pudiéndose establecer como una unidad bastante fiable.

En la zona geográfica de Sevilla y provincia, se ha confirmado con el trabajo de campo que lo más habitual es encontrar altura o “módulo de la horma o cajón” (Graciani-Tabales 2008:137) de dos dimensiones:

- Tapial de Módulo bajo: Altura inferior a 0,80 m.
- Tapial de Módulo alto: Altura variable y comprendida entre 0,85 y 0,95 m.

Consultadas otras fuentes, las dimensiones referidas a los tapiales usados en la región de Murcia son:

Las medidas más usuales vienen a coincidir con las indicadas en el siglo XIV por Ibn Jaldún: 2 x 4 codos; 80 a 100 cm x 200 a 250 cm son las medidas de tapiales más usuales que he podido observar (López 2003: 48).

Ciñéndonos a los casos mejor fechados, observamos que en el edificio mardaniší del Portazgo (tercer cuarto del siglo XII), las tapias miden 80 cm, y en el Castillo de Monteagudo, contemporáneo del anterior, entre 82 y 84 cm. En ciertos muros del Alcázar Mayor, que se levantaron entre fines del siglo XII y principios del XIII, las tapias inferiores miden 1 m y, en la misma obra, las superiores 80 cm. El Palacio Nuevo de Sta. Clara, fechado con certeza en el segundo cuarto del siglo XIII, presenta tapias que oscilan entre los 85 y los 95 cm; es decir, similares a las de los edificios casi un siglo más antiguo. (Navarro-Jiménez 2011:104).

En cualquier caso, queda manifiesto qué de las dimensiones de los cajones, la altura es una medida que puede permitir caracterizar las fábricas. Es evidente que existen variaciones regionales asociadas distintos momentos históricos e incluso las fábricas de tapias que han perdurado han sido objeto de reaprovechamiento, reconstrucciones e intervenciones varias, lo que dificulta la caracterización.

⁷⁴ El cajón se define por la dimensión del tapial (longitud x altura) y la frontera (anchura del muro).

8.2. TIPOLOGÍAS

La técnica de tapial es muy diversa y variable dependiendo de la localización geográfica, ya que el entorno, los materiales⁷⁵ al alcance o simplemente aquellos de los que se dispone a pie de obra, han condicionado la ejecución de la fábrica. Otro condicionante era el uso al que se destinaba (defensivo, civil o doméstico) así como el tipo de elemento a construir.⁷⁶

Aunque el estudio⁷⁷ se ha centrado en la ciudad y provincia Hispalense, se estima que es acertado referirse a varias clasificaciones, sean locales o no. Por ello y para la definición de los tipos de tapial se ha recurrido a las siguientes fuentes documentales:

- Clasificación realizada y descrita por Graciani y Tabales en su artículo “EL TAPIAL EN ÁREA SEVILLANA. AVANCE CRONOTIPOLOGICO ESTRUCTURAL” (2008: 135-158). Esta clasificación se emplea a efectos puramente constructivos y compositivos, sin valorar la cronología referida y dado que la investigación se centra en el desarrollo tecnológico de estas fábricas murarías ejecutadas mediante el uso de un molde o encofrado recuperable.

Tipo 1	Tapial monolítico	
Tipo 2	Verdugado	Verdugado en ladrillo
Tipo 3		Verdugado en mampuesto
Tipo 4	Encadenado	Encadenado en ladrillo
Tipo 5		Encadenado en piedra
Tipo 6	Tapial mixto	De fraga encadenado en piedra y verdugado en mampuesto
Tipo 7		De fraga encadenado en piedra y verdugado en ladrillo
Tipo 8		De fraga con témpanos de fábrica mixta
Tipo 9		De fraga encadenado y verdugado simple en ladrillo
Tipo 10		De fraga encadenado y verdugado doble en ladrillo
Tipo 11		De fraga encadenado y verdugado triple en ladrillo
		De fraga

Imagen 35: Clasificación tipológico-estructural de las fábricas de tapial en Sevilla propuesta por Graciani y Tabales (2008:138)

- Clasificación referida en la Tesis Doctoral del arquitecto, Francisco Javier López Martínez, “TAPIERIA EN FORTIFICACIONES MEDIEVALES. REGIÓN DE MURCIA” (2003:61-73). Este estudio se centra en la arquitectura defensiva del levante peninsular, donde establece una clasificación basada en la composición material y la puesta en obra. La referencia a esta fuente se realiza para, en cierto modo, para evitar el localismo y denotar que, aunque existen diferencias compositivas de unas zonas geográficas a otras, también hay elementos comunes sobre todo respecto a su ejecución y a los encofrados utilizados.

⁷⁵ Gurriarán (2000: 110): El material a emplear en la construcción de la tapia puede ser de naturaleza muy diversa –así solemos estudiar infinidad de variedades- aunque es evidente la identificación de dos grandes grupos: lo habitual en obras modestas es la elección como materia prima de simples tierras, preferentemente arcillosas, mientras que en aquellas fundaciones defensivas, o con especiales requerimientos resistentes, triunfarán los hormigones de cal.”

⁷⁶ Canivell (2008:104). “Considerando un solo caso, la técnica del tapial podría variar si se trata de un lienzo o parte de una torre, si la técnica incluye encadenado de piedra o ladrillo o bien algún tipo de verdugada.”

(1) SIMPLES	(1.1) TIERRA	(1.1.1) ORDINARIA		
		(1.1.2) REAL		
	(1.2) HORMIGÓN	(1.2.1) COMÚN	AMASADO	
		ÁRIDO AÑADIDO		
(1.2.2) CICLÓPEO		MAMPUESTOS AMONTONADOS MAMPUESTOS EN HILADAS		
(1.3) YESO				
(2) COMPUESTAS O MIXTAS	(2.1) CON REFUERZOS VISTOS	(2.1.1) En paramentos	CALICASTRADA	
			De argamasa y ladrillo, como la VALENCIANA	
			De argamasa y piedra Otras	
		(2.1.2) En extremos	CON MACHONES	
			CON BRENCAS Otras	
		(2.1.3) En lechos	CON VERDUGADAS DE LADRILLO DE MORTERO Otras	
	(2.1.4) Intermedios			
	(2.2) CON REFUERZOS OCULTOS			
	(2.2.2) En extremos	CON MACHONES DE HORMIGÓN		
		Otras		
		(2.2.3) En lechos	CON LECHOS DE HORMIGÓN	
	Otras			
(2.2.4) Intermedios				

Imagen 36: Clases de Tapia propuesta por López (2003.:65)

Las aportaciones documentales referidas permiten determinar cómo se pueden clasificar estas fábricas de tapial, independientemente de su situación geográfica o uso. Es evidente que el estudio compositivo, cronológico y de puesta en obra ya ha sido objeto de detallados estudios por reconocidos profesionales.

En esta investigación se empleará la clasificación tipológica realizada por Graciani y Tabales para identificar los distintos tipos de tapias ya que el estudio está centrado en Sevilla y el Aljarafe, concretamente en San Juan de Aznalfarache y Sanlúcar la Mayor.

8.3. PUESTA EN OBRA

La descripción de la puesta en obra del tapial ha sido definida de manera somera en las referencias ya realizadas al procedimiento constructivo. Sin embargo, resulta interesante recurrir a la definición que ya realizara Ibn Jaldun al-Hadrami hacia el siglo XIV. El autor de *“Introducción a la Historia Universal”* describe acertadamente esta técnica, por lo que merece ser rescatada para este apartado.

“Otra rama –del arte de la construcción– es formar paredes con la sola arcilla. Se sirve para esta operación de dos tablas, cuya longitud y anchura varían según los usos locales; pero sus dimensiones son, en general, de cuatro codos por dos. Se colocan estas tablas a lo largo de los cimientos ya abiertos, observando el espacio que debe separar entre ambas, conforme a la anchura que el arquitecto ha juzgado conveniente dar a los cimientos. Se mantienen entrelazadas por medio de travesaños de madera que se sujetan con cordeles o lazos; se cierra con otras dos tablas de pequeña dimensión el espacio vacío que queda entre los extremos de las dos tablas grandes, y se vierte allí una mezcla de tierra y cal que se apisona en seguida con pisones hechos a propósito para este fin. Cuando esa masa ya está bien comprimida, y la tierra suficientemente amalgamada con la cal, se agrega todavía de las mismas materias, una y otra vez, hasta que aquel vacío quede completamente colmado. Luego se colocan esas tablas sobre el muro ya formado, se repite la operación y así continúa hasta que las masas de tierra y cal, ordenadas en líneas superpuestas, formen un muro cuyas partes totalmente aglutinadas, queden como una sola pieza. Este género material se llama “tabia” (de atoba o adobe); el obrero que lo hace se designa con el nombre de “tawab”.” (Jadun 1997: 721-722).

Aunque existen otras tantas definiciones, contemporáneas al autor, anteriores y posteriores, es probable que no pueda encontrarse en toda la tratadística generada al respecto sobre esta técnica, una definición más clara, concisa y completa. Determina con gran fluidez tanto el material que conforma el muro, como los elementos fundamentales del encofrado y sus dimensiones, al tiempo que describe con absoluta precisión la puesta en obra.

En un intento de aproximación a tan genial prosa del citado autor, se describe seguidamente la puesta en obra de la técnica constructiva del tapial dividiéndola en fases de ejecución:

- PREPARACIÓN DE LA MASA

Elegido el material del entorno en que se fuera a construir la fábrica muraria, se realizaba una selección de la tierra, dejándola al aire con la intención de eliminar los posibles restos de materia orgánica. El proceso de dosificación es fundamental para obtener muros resistentes y duraderos.⁷⁸

La masa se obtenía con la adición de agua para obtener un material más dócil y poder ser amasado, transportado al interior del cajón de tapial y posteriormente apisonado. Será fundamental poseer próximo o al menos suficientemente accesible, el abastecimiento de agua⁷⁹ a la zona de ejecución del muro.

⁷⁸ Gurriarán (2000:111). “Debemos destacar que las características de este material, bien dosificado en sus componentes y adecuadamente trabajado, serán excepcionales: impermeabilidad, dureza al desgaste y a la acción de los agentes erosivos.”

⁷⁹ Adam (2002: 62-63). “Bien se trate de levantar paredes de arcilla con el material a granel o en forma de ladrillos crudos, la preparación es la misma: la arcilla se deposita en una fosa inundada, próxima a un abastecimiento de agua, y allí se amasa pisándola con el desengrasante que puede ser vegetal: paja, hierba seca, salvado, a veces cenizas, o mineral: arena o gravilla (fig. 136).”

- COLOCACIÓN DEL ENCOFRADO

Aunque no ha sido referido anteriormente, es obvio que para la ejecución de una tapia de estas características, era necesario tener previamente ejecutado su correspondiente cimientado e incluso el arranque del muro, denominado zócalo o “pie de aguja”⁸⁰. Es a partir de esta prolongación del cimientado, desde donde se inicia el montaje del encofrado.

Las operaciones para la disposición de este molde recuperable son:

- Rebaje o previsión de acanaladura en el “pie de aguja” para el reparto de las agujas.
- Colocación de las agujas, dependiendo de la anchura que fuera a tener la fábrica. Si el espesor del muro lo permitía se disponían en toda la anchura (agujas pasantes) y si era excesivo (como en la construcción de murallas o fortificaciones donde los espesores sobrepasaban dimensiones de 1,50m) se disponían medias agujas que debían ser ancladas al zócalo mediante clavos de madera.
- Disposición de los tableros de tapial y costales que se anclaban con cuñas o se empotraban en las agujas. Este conjunto define el tramo de muro a ejecutar, en todas sus dimensiones (largo, ancho y alto).
- Colocados estos tres elementos (agujas, tapias y costales) es preciso para proporcionarles rigidez y evitar el vuelco, disponer de otros elementos o accesorios, tales como:
 - Frontera: Con éste se consigue acotar lateralmente el tramo de tapia a ejecutar entre los tableros o tapias, obteniéndose un cajón. En el caso de ejecutar tramos en esquinas o en extremos eran necesario emplear dos fronteras, mientras que en tramos intermedios sólo era necesaria una, pues el propio tramo de muro ya ejecutado cerraba el módulo.

Es interesante resaltar que en el desarrollo de esta técnica y a veces en búsqueda de agilizar el proceso constructivo, porque la argamasa se agotaba durante la ejecución de un tramo o porque finalizaba la jornada de trabajo, se prescindía de las fronteras. Esto originaba juntas inclinadas⁸¹ con ángulos comprendidos entre 50 a 60°.

Para continuar con la ejecución, estas juntas debían ser rascadas para verter sobre ellas una capa de mortero de cal que mejoraría la adherencia entre el tramo de muro ejecutado y el que se tendría que yuxtaponer a éste.

⁸⁰ Se emplea el término “pie de aguja” o “zócalo” para definir el arranque del muro que se ejecutaba mediante sillares, ladrillos o mampuestos con la finalidad principal de aislar la construcción en tierra de la humedad natural o por capilaridad del terreno, y en consecuencia conseguir que ésta fuera más duradera. En las fábricas de tapial es quizás más acertado usar el término “pie de aguja” porque era donde se dispondrían las agujas del primer hilo de tapia.

⁸¹ Graciani (2009:121): “ Aunque la junta común es en ángulo recto como consecuencia de la correcta disposición de la frontera, ocasionalmente –desde época almohade- se aprecian juntas ataluzadas u oblicuas (de 50 a 60°) al objeto de mejorar su eficacia en aquellas fábricas que, ejecutadas con tapias continuas (con moldes de encofrado yuxtaponidos) hubiera de ser interrumpidas por finalizar la jornada o por agotarse el material acopiado; las orientaciones de las juntas, que en hilos superpuestos deberían ser opuestas, informan sobre el sentido del proceso de ejecución.”



Imagen 37: Detalle de junta inclinada en la Muralla de Marchena (Sevilla). (Imagen de J Canivell).

- Codal: Este accesorio era dispuesto para evitar el cierre de los tableros de encofrado, manteniendo el espesor del muro constante e inalterable para la operación de apisonado. Su utilidad era fundamental al inicio de las operaciones de apisonado, *“pudiéndose eliminar conforme va subiendo el relleno. Además, pueden desempeñar otras funciones importantes: sujeción de la frontera a falta de barzón o gárgol, y dejar preparado el hueco donde alojar la aguja”* (López 2003:51).
- Cuerdas: Éstas permitirán rigidizar el conjunto de costales, tapiales y agujas, atirantando para mantener estable la posición de los mismos. Son elementos con una función similar al codal, pero son mucho más versátiles. También pueden emplearse con cualquier anchura de muro, es más en aquellos de grandes espesores, son los únicos elementos que permiten estabilizar el encofrado.

- **RELLENO Y COMPACTACIÓN**

Una vez dispuesto y estabilizado el encofrado, bien sobre el arranque del muro (pie de aguja o zócalo) o bien sobre el siguiente hilo o tramo a ejecutar, comienza el proceso de relleno de las fábricas de tapial.

Se realiza mediante el vertido de la argamasa, que ha sido previamente mezclada, humedecida y batida, dispuesta en tongadas o capas de espesor de 10 cm⁸² hasta completar la altura del cajón.

El operario o tapiador introducido en el interior del encofrado procede al proceso de compactación

⁸² Gurriarán (2000:112): “A continuación se incorporaba la mezcla, previamente humedecida y batida, procediéndose a su apisonado en capas de una potencia aproximada de 10 cm; parece ser ésta la medida óptima que posibilita el perfecto compactado de una mayor cantidad de material. La horma se rellenaba de este modo mediante tongadas sucesivas. “

o apisonado del material. En primer lugar, simplemente pisándolo con sus propios pies y seguidamente con un pisón manual⁸³. Gracias a esta herramienta⁸⁴ se puede realizar la operación de compactación, permitiendo obtener una masa más densa y con menos huecos entre los distintos materiales que la componen, convirtiendo la mezcla en producto compacto y en consecuencia más resistente y duradero.



Imagen 38: Detalles de pisón manual (Imagen de Fco. Javier López Martínez)

La operación de apisonado también se facilita gracias al agua de amasado que le aporta docilidad a la masa. El exceso o sobrante de agua se elimina, por la compactación y a través de las juntas entre las tablas⁸⁵ de los tableros del tapial. Pero el apisonado y el exceso de agua en la masa pueden originar deformaciones en las tablas del tapial, por lo que en cada puesta es necesario ir volteando⁸⁶ la postura de las caras del tapial expuestas a la argamasa.

El relleno y compactación suponen un conocimiento de la resistencia y durabilidad del encofrado empleado. Habría que controlar el peso del material que se vertía, las solicitaciones a las que se exponía el molde y un cuidado especial en disposición de los elementos que lo componen, tanto para permitir al tapiador trabajar de forma cómoda y segura, como para obtener el máximo rendimiento de la horma, evitando posibles deformaciones y roturas.

⁸³ López (2003:42): “Los pisonos o mazos son de madera dura y resistente (carrasca, pino de Canadá, roble), suelen pesar de 6 a 8 kg, se levantan verticalmente y se dejan caer por su peso, dirigiendo la caída, pero sin añadir mucha fuerza. Tienen forma poliédrica irregular, con bases rectangulares. La que hace de punta es más pequeña con el fin de lograr una mayor presión en el punto exacto, las caras laterales son rectangulares o trapezoidales, el mango, también de madera, suele tener de 1 a 1,6 m,”

⁸⁴ Adam (2002:63): “A medida que se va colocando el material se le va apisonando y, más específicamente, maceando con el *mazo-pisón* o apisonador, que es una maza de madera pesada adaptada a esta labor. Esta compresión tiene un doble objetivo: compactar el material y quitarle parte de su humedad antes de que seque.”

⁸⁵ Cuchi (1996:162): “En primer lugar, las tablas que lo conforman se encuentran separadas entre ellas por una distancia del orden de 3 mm que permiten tanto independizar la deformación de cada tabla como, y sobre todo, permitir la salida del agua expulsada por el apisonado, evitando así al máximo su absorción por la madera”.

⁸⁶ Cuchi (1996:162): “En segundo lugar, el tapial se conforma de manera que pueda disponerse indistintamente ofreciendo cualquiera de sus dos caras al interior del encofrado. Ello permite que, periódicamente, el tapial se voltee y se cambie de cara ofrecida a la tierra, consiguiéndose tanto un humectado similar en ambos lados de la madera como unos periodos de secado de cada superficie, reduciendo de ese modo la de formación de los tapiales.”

- DESENCOFRADO.

Terminada las operaciones de relleno y apisonado, el material debe dejarse endurecer o fraguar para proceder al desencofrado del molde⁸⁷. El encofrado se reutiliza sucesivamente al igual que el proceso se repite hasta alcanzar la altura prevista para el muro.

Concluido el proceso de endurecimiento, es necesario realizar el desmontaje del molde para su reutilización, primero desplazándolo horizontalmente y cuando se ha concluido la hilada completa, se traslada a la inmediatamente superior.

El proceso de desencofrado no es arbitrario⁸⁸. A modo de ejemplo, supongamos que el encofrado se va a desplazar de izquierda a derecha sobre la hilada en ejecución:

- Las cuerdas de los respectivos costales enfrentados se aflojarán siendo el primero en desmontarse el del extremo izquierdo desplazando el tablero de tapial hasta la primera aguja del tramo correlativo hacia la derecha.
- Realizado el movimiento de traslación horizontal de desplazamiento, el tapial puede apoyarse lateralmente en la última pareja de costales que están insertos o anclados a la aguja, evitándose el vuelco.
- Seguidamente se disponen los costales intermedios y se aprietan todas las cuerdas para estabilizar el conjunto. Esta operación va repitiéndose hasta completar el siguiente tramo y teniendo la precaución de ir colocando las cuerdas o aros con un apriete ligero y suficiente para volver a evitar que el tapial vuelque.
- Para la ejecución de los tramos de muros superiores al ejecutado será necesario desmontar el encofrado en su totalidad ya que el traslado vertical se ejecuta desde la cara superior del muro ya ejecutado. Luego una vez aflojadas las cuerdas en su totalidad, los tableros del tapial se elevan con la ayuda de los operarios que se encuentran sobre el nuevo hilo a construir y se recuperan el resto de elementos como son las parejas de costales y las agujas que sean reutilizables.

La operación de desencofrado presenta una sistematización y orden que permite la agilización del proceso de montaje del encofrado con los mínimos medios humanos y auxiliares posibles.

⁸⁷ Gurriarán (2000:112): "Concluido el relleno del cajón, se dejará fraguar la tapia recién construida el tiempo necesario para proceder al desmontado del encofrado. A continuación, y antes de emplearlo nuevamente, se volteará el tapial alternándose las caras exteriores e interiores para obtener una humectación similar de los tableros con la consiguiente uniformidad en su deformación."

⁸⁸ Cuchi (1996:163): "Para conseguirlo, el desmonte de los aros no es no total ni arbitrario. Los tapiales se sustentan sobre las agujas, pero deben su estabilidad a los aros que los fijan. Desmontar todos los aros implica tener momentos en los que debe evitarse el vuelco de los tapiales por otros medios, por ejemplo en el instante de trasladarlos. El aro común entre tapias contiguas no se desmonta, sólo se afloja el garrote y se mantiene en su posición tanto para evitar el vuelco de los tapiales como para indicar el fin de la traslación: sus costales actúan de topes contra los que quedaran frenados los montantes posteriores de los tapiales que, recordemos, quedan por el exterior del encofrado."

8.4. MEDIOS AUXILIARES O ANDAMIOS

Los andamios empleados en las fábricas murarias realizadas con la técnica del tapial es más que probable que estén asociados a las agujas, como ya ha sido indicado anteriormente.

Es interesante como numerosos estudiosos sobre esta técnica indiquen en que estos elementos podían haber sido reutilizadas como base o apoyo de andamios⁸⁹. Las agujas al sobresalir del muro quedaban expuestas para poder disponer sobre ellas tablas que creaban improvisadas plataformas de trabajo desde donde realizar operaciones de revestimiento y/o acabado del muro.

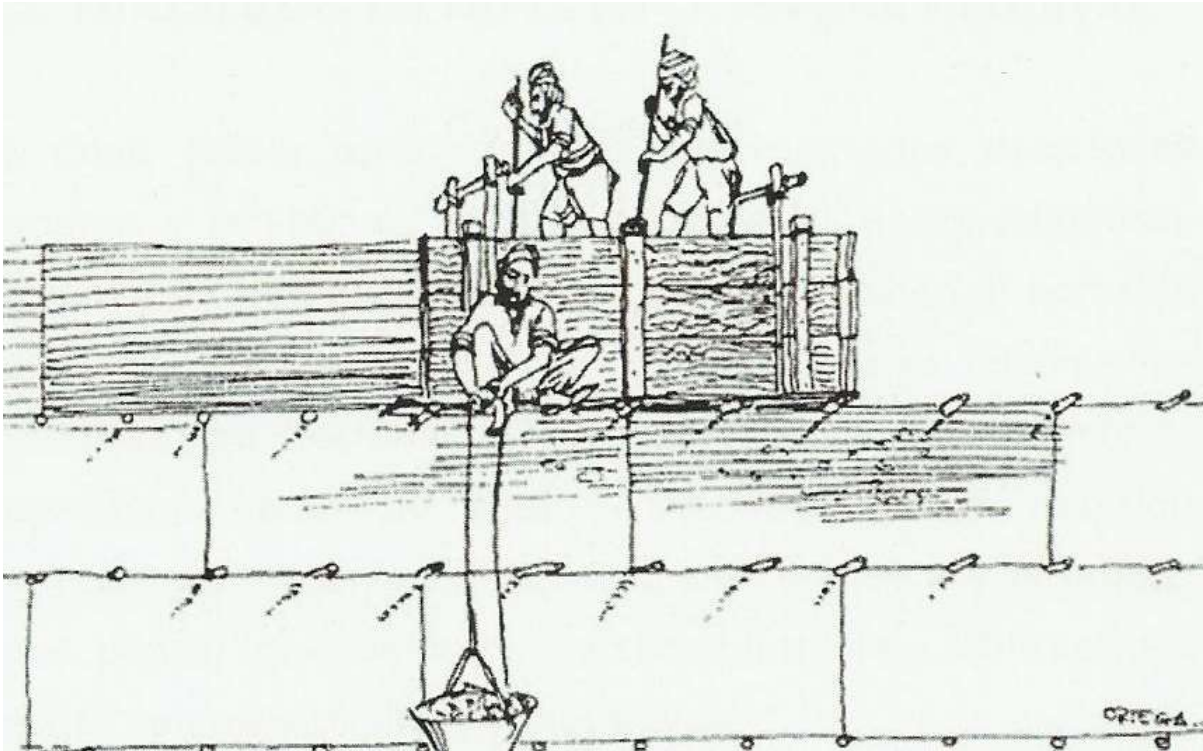


Imagen 39: Utilización de las agujas como plataforma de trabajo. (Dibujo de F. Ortega Andrade en López 2003:85)

También podría asemejarse a los andamios *de pértiga y almajoyas* romanos⁹⁰, aunque utilizando los andamios para apoyar las agujas⁹¹.

Realmente para la construcción de estos muros no era necesario el empleo de andamiajes, aunque sí para las operaciones de revestimiento y acabado.

Los operarios simplemente ayudados de escaleras de mano o a través de los tramos de tapia previamente ejecutados podrían acceder al siguiente hilo a ejecutar.

⁸⁹ Gurriarán (2000:112). "Las agujas se dejarán incorporadas a la tapia, sirviendo de este modo de improvisado sustento del andamio, siendo aserradas sus cabezas una vez finalizada la obra en su totalidad."

⁹⁰ Graciani (2002:176): "Los únicos avances clásicos que debieron perdurar en esta época, fueron aquellos que permitían disminuir el coste del proceso constructivo, como los andamios empotrados de época romana".

⁹¹ García-Díaz (2001:617): "El encofrado se apoyaba también en un andamiaje vertical paralelo a las caras del muro cuyos listones iban atados entre sí y a las *agujas* transversales e insertados en oquedades practicadas en los bordes de la zanja de cimentación, de los que tal vez sean restos los huecos documentados en nuestra excavación sobre la roca natural."

Al ser un sistema de encofrado recuperable y reutilizable, sólo precisaba de desplazamientos horizontales sobre la hilada para continuar con la ejecución del muro. Y al ser desmontable podía ser fácilmente transportable para cada nueva puesta en servicio en las hiladas superiores o para la ejecución de nuevas fábricas.

Únicamente serían necesarios aparatos de elevación de carga para proporcionar la argamasa que rellenaba el encofrado, pues una vez dentro del cajón, el material era vertido y apisonado no precisando de elementos auxiliares como plataformas de trabajo para poder ejecutar el muro.

La técnica de tapial generó un encofrado o molde relativamente ligero⁹², versátil, adaptable, que economizaba y agilizaba la puesta en obra. Entre muchas de las ventajas que proporcionaba se destaca el ahorro de montaje de estructuras auxiliares como los andamios, que no eran imprescindibles para el levantamiento de estos muros de argamasa apisonada.

8.5. USOS

La técnica del tapial ha sido definida como un sistema constructivo de fábricas murarias. Sin embargo, se hace necesario realizar una serie de apreciaciones con respecto a los distintos tipos de fábricas a construir y el uso al que se destinaban éstas.

La técnica es la misma presentando variaciones que afectan a los elementos que componen el encofrado e incluso al material compositivo o argamasa de la tapia. Pero este desarrollo, sin duda, es motivado por el uso al que destinaría la edificación, distinguiéndose los siguientes:

a) DOMÉSTICO

En el ámbito doméstico es donde se origina el nacimiento de la técnica de tapial, desde periodos protohistóricos. Con la necesidad de ejecutar muros más resistentes y duraderos se introduce en la construcción en tierra, el empleo de un molde que permita apisonar el material y por tanto mejorar su compacidad. Pero, es más, este molde debía ser totalmente recuperable para poder ser reutilizado y adecuarse a las necesidades de una construcción muraria que fundamentalmente se basaba en la economía de medios y en el aprovechamiento de los recursos naturales al alcance.

Empleando como aglomerante principal la tierra de naturaleza arcillosa, la experimentación lleva a seleccionar el material base y en función de las características propias de éste, se introducen fibras vegetales que evitara la retracción de la masa y su agrietamiento posterior tras la pérdida de humedad originada por el proceso de apisonado y del fraguado.

Las fábricas de tapial de uso doméstico se caracterizaron principalmente por:

⁹² La manipulación del tapial precisaría de una a tres personas, dependiendo del módulo del cajón.

- Composición material. Se basada en el empleo fundamental de tierra de naturaleza arcillosa. La popularización del uso originó que en la masa se introdujeran nuevos materiales como la cal (tapia real) o el cascote cerámico menudo.
- Encofrado era totalmente recuperable y reutilizable. Esta característica se debe a que los muros domésticos poseían espesores comprendido entre 40 a 60 cm, lo que permitía disponer agujas pasantes que serían recuperadas⁹³ tras el desencofrado del cajón. Este elemento no era recuperable en muros de mayor espesor, pues se clavaban y quedaban perdidos o amortizados.
- Existencia de zócalo o pié de aguja. Los primeros tapias ejecutados con tierra eran más vulnerables al deterioro al ser ejecutados directamente sobre el terreno. La necesidad de que fueran más duraderos se produce el arranque del tapial sobre zócalos pétreos, larericios o de mampuestos. Sin embargo, la mejora de la argamasa mediante la adición de cal a partir del periodo norteafricano indujo a dejar el empleo del pie de aguja.

El tapial doméstico estuvo sujeto a las variaciones propias de la disponibilidad de materiales en el entorno urbano o rural de cada zona geográfica y a la evolución constructiva según los periodos históricos islámicos.⁹⁴

b) CIVIL Y MILITAR

El uso en la arquitectura civil y militar de la técnica constructiva del tapial, vendrá impuesto por las necesidades propias de determinados momentos históricos (creación de los reinos taifas, fortalecimiento de la cultura almohade y nazarí, reconquista cristiana y época mudéjar) acaecidos en nuestro territorio peninsular. El desarrollo de esta técnica se produce cuando se va abandonando o sustituyendo el uso de la sillería, tan empleado en los primeros siglos de la invasión Islámica con carácter propagandístico⁹⁵ del poder y evidentemente por la necesidad de crecimiento rápido y de aprovechamiento de los materiales del entorno y al alcance.

La técnica del tapial, en la Península Ibérica desde la formación de los reinos taifas hasta edad Moderna, fue utilizada en fortificaciones, murallas, palacios, edificios administrativos e incluso

⁹³ Canivell (2011:125). “La técnica tradicional de la tapia, reutiliza las agujas una vez confeccionado un cajón para el siguiente, de esta forma se retiran de la masa de la tapia, que en ámbitos domésticos pueden rondar los 40 – 60 cm de espesor.”

⁹⁴ En la búsqueda de datos sobre las posibles etapas constructivas andalusíes se ha recurrido a las clasificaciones realizadas por Tabales (2000) para Sevilla y a la de Navarro-Jiménez (2011) para Murcia. Los autores coinciden en realizar dos grandes grupos: Etapa clásica (siglos VIII-XI)- y Etapa reciente (siglos XI-XIII) según Tabales o Fase antigua (ss. X-XI) y Fase reciente (ss. XI-XIII) según Navarro-Jiménez. Podría considerarse que las fases propuestas para cada zona geográfica y por los autores citados, responden a los periodos políticos a los que al-Andalus estuvo sujeta y que indudablemente se manifestaron en la arquitectura y el empleo de determinadas técnicas constructivas.

⁹⁵ Azuar (1995: 135). “Junto a estos aspectos de rentabilidad constructiva y económica, no debemos olvidar su valor semántico, ya que, como hemos visto, el Emirato independiente y posteriormente el Califato Omeya, a través de sus construcciones en sillería, estaba lanzando campañas propagandísticas del poder y la legitimidad del régimen”.

religiosos⁹⁶.

Las diferencias con el tapial usado en edificaciones domésticas son:

- Introducción de la cal como aglomerante, que permitirá obtener fábricas de mayor calidad, más duraderas y resistentes.
- Aprovechamiento de los materiales al alcance, como la cerámica procedente del acarreo que era triturada y utilizada como conglomerante en la masa.
- Mejora de las capacidades de fraguado de la argamasa mediante la adición de cenizas de forja o carbón de madera que originaba el aceleramiento de este proceso y permitirá construir con mayor rapidez
- Modificación de algunos elementos del encofrado como las agujas, pues los muros de las edificaciones defensivas llegaron a alcanzar espesores próximos a los 2,00 m de anchura y las agujas no podían ser pasantes. Se emplearán medias agujas que precisarán de la incorporación de clavos de madera para su fijación.
- Evolución de la técnica del tapial, empleando agujas cada vez más elaboradas, con rebajes para su anclaje, con secciones que permitieran mejor asiento del plano del tramo o hilada superior a ejecutar y, por tanto, facilitarían las labores de montaje. Así mismo, se originó mayor diversidad en los métodos de apriete de las cuerdas que estabilizaban el conjunto.
- Incorporación de materiales late ricios o pétreos en verdugadas o hiladas para agilizar el proceso de montaje de las agujas, sin tener que hacer rebajes en los muros ejecutados.
- Introducción de refuerzos estructurales en forma de machones o encadenados, que mejoraran el comportamiento mecánico y resistente de puntos singulares o débiles como las esquinas, recodos y de toda la fábrica muraria en general.

En definitiva, las fábricas destinadas al uso civil o militar, son la muestra más fehaciente del desarrollo tecnológico y material que alcanzó la técnica del tapial. También muestran la gran versatilidad y variedad tipológica que esta técnica ofreció en distintas zonas, épocas y culturas.

8.6. EVOLUCIÓN

La técnica constructiva del tapial es empleada en gran parte de nuestra geográfica peninsular. Para poder establecer una evolución acertada de esta técnica, sería preciso establecer cronologías relacionadas con los avances y variantes que sufre estas fábricas en búsqueda del aprovechamiento de

⁹⁶ El uso religioso merece ser citado, pero no es necesario distinguirlo en un uso independiente de los citados en el apartado, porque la construcción de fábricas murarias con la técnica el tapial no presenta diferencias con respecto al uso civil o el militar.

los recursos materiales al alcance, de la mejora de la calidad compositiva de la argamasa, de la agilización del proceso de montaje del encofrado para construir de manera más eficiente, sostenible y económica y de la necesidad de crear muros más resistentes y duraderos estructuralmente.

Dado que es una técnica basada en el aprovechamiento de recursos y en la experimentación humana, es muy complejo determinar una cronología basada en los cambios que alcanza, pues en cada zona o cultura que la ha empleado se ha adaptado al medio natural que les rodeaba y a los medios humanos que poseía, sirviéndose en muchos casos del ingenio como necesidad para ejecutar estas tapias.

Existen numerosas variaciones en la composición material incluso en zonas geográficas cercanas y respecto al montaje de estos encofrados también se han advertido diferencias incluso en la misma época cultural. Los fundamentos son constantes pero la técnica ha ido alterándose según el constructor o las circunstancias particulares que rodeaban a la propia construcción.

La mayoría de fuentes documentales consultadas establecen datos muy genéricos⁹⁷ sobre esta técnica, indicando las dimensiones básicas de tableros de tapial o la longitud de las agujas y limitándose a especificar que era un sistema de construcción de muros mediante tierra apisonada contenida entre tableros de madera.

Respeto a las variaciones estructurales y compositivas que ha sufrido la técnica, los datos arrojados son contemporáneos quedando un gran camino por recorrer desde el campo de la investigación.

La dominación islámica del al-Andalus hizo resurgir el empleo de la construcción en tierra, pero no se produjo de manera inmediata sino gradualmente.

En los primeros siglos (VIII-XI) correspondientes a los periodos emir al y califal, las principales técnicas constructivas utilizadas están basadas en el aprovechamiento de materiales procedentes del expolio de antiguos edificios romanos y visigodos. Por ello predominan las fábricas pétreas y mixtas.

Será a partir del siglo XI y debido al cambio político acaecido (desarticulación del Califato Omeya y creación de los Reinos Taifas) que se introducen a los sistemas constructivos anteriores, nuevos materiales como el ladrillo y disparan el uso de técnicas como el tapial asociado sobre todo a la arquitectura militar.

A partir de entonces y durante algo más de dos siglos (año 1039 al 1248) en la zona suroccidental

⁹⁷ Gurriarán (2000:111). "La progresiva depuración de esta técnica hizo que el tapial adquiriera unas medidas determinadas, conocidas y difundidas incluso en los medios más remotos; así, Ibn Jaldún refiere que "el tamaño de los tableros era variable, pero en general tenía cuatro codos por dos". El estudio detallado de las tapias almohades conservadas nos lleva a la conclusión de que ciertamente se solía construir según unos módulos predeterminados, ya que los tapiales suelen arrojar medidas muy parejas entre sí: su altura estaba comprendida entre los 75 y los 95 cm, siendo su longitud de 250 cm, siempre de manera general."

(Sevilla y entorno) de al-Ándalus y hasta la total reconquista cristiana (Rendición de Granada en 1492), el tapial adquirió un papel relevante en el desarrollo urbanístico y arquitectónico. En cierta medida se debió a la influencia norteafricana (almorávides-almohades siglos XII-XIII) ya que en este periodo se extiende el uso a todos los niveles doméstico, religioso, público y militar, generándose una mayor diversidad tipológica de las fábricas de tapial.

Entre los estudios consultados y realizados por pavón (1999), Tabales (2000 y 2001), Graciani-Tabales (2008) y Navarro-Jiménez (2011) sobre materiales y técnicas constructivas en al-Andalus, Sevilla o Murcia, se confirma la relevancia y desarrollo que adquirió esta técnica ancestral de construcción en tierra (la tabiya) en diversas áreas geográficas de la dominación islámica y durante el periodo norteafricano.

El gran desarrollo tecnológico de estas fábricas se produce durante la época almohade⁹⁸. Existen evidencias arqueológicas y arquitectónicas que demuestran que esta cultura utilizó el tapial común y real con sus variantes de remate sobre las agujas, el verdugado, el encadenado de ladrillos y de sillería e incluso el de fraga (encadenado de piedra y verdugada de ladrillo). En el periodo almohade se producen los grandes avances en esta técnica, gracias al desarrollo de la arquitectura militar⁹⁹ o defensiva y debido a las necesidades propias del momento histórico.

Sin embargo, la evolución del tapial no culmina con la dominación islámica del al-Andalus, ya que la técnica fue utilizada tras la Reconquista.

En la época mudéjar (ss. XIII-XV) se sustituye las agujas de rollizos por la de sección plana¹⁰⁰ imponiéndose el tapial encadenado de ladrillo y en general las soluciones mixtas.

⁹⁸ Gurriarán (2000:110). "Aunque existen referencias de tapias encofradas desde el mismo siglo de la conquista —se cita así la construcción del alcázar de Toledo por parte del muladí 'Amrus en tiempos de al-Hakam I, mediante la tierra extraída de una fosa abierta en su interior— será el advenimiento de las grandes dinastías trasfetas el momento que marque el triunfo irresistible de esta técnica constructiva.

Esta circunstancia será del todo evidente en la eclosión castral que tendrá lugar en tiempos de los dos grandes califas constructores de la dinastía almohade. Abu Ya cub Yusuf y su hijo Abu Yusuf cub al-Mansur, momento en el que se consolidarán numerosas cercas urbanas, levantándose así mismo toda una red de nuevas fortificaciones para hacer frente a la presión ejercida por los reinos cristianos. Para la construcción de tan vasto programa edilicio se recurrió en la mayoría de los casos a la técnica del tapial, menos laboriosa de poner en obra que la de sillería, aunque con cualidades idóneas para los requerimientos demandados: resistencia, monolitismo y sobre todo economía de medios y materiales, así como la rápida puesta en servicio."

⁹⁹ Graciani-Tabales (2008:141). " Si bien con los almohades la construcción de fábricas de tapial proliferó todos los niveles (doméstico, religioso, público y militar), fue en las edificaciones militares donde la técnica evolucionó en mayor medida; de hecho se produjeron importantes avances en respuesta a la necesidad de agilizar los procesos constructivos y de resolver, en su caso, los excesivos espesores exigidos por las construcciones militares, avances que no sólo afectaron al proceso de ejecución sino también al montaje de los tapiales o moldes de encofrados.

¹⁰⁰ Graciani-Tabales (2008:146) "En este contexto, las construcciones militares, religiosas —ermitas (Fig. 10), iglesias (Fig. 11) y conventos— y domésticas se convierten en las tipologías arquitectónicas en las que se recurrió a la técnica del tapial, manteniendo la herencia almohade si bien incorporando algunas novedades; entre ellas, la utilización frecuente de agujas de sección cuadrada, en sustitución de las agujas de rollizo y de las agujas planas almohades, si bien en algunos casos el primero de estos tipos continuaría empleándose. Aunque la tipología que se impuso en época mudéjar fue la encadenada (en especial, la encadenada en ladrillo y, de forma ocasional, la verdugada), la solución monolítica se mantuvo puntualmente, pero continuando el módulo alto introducido en época almohade."

Los tapiales de época moderna (ss. XVI-XVIII) mantiene el uso del tapial, pero con el predominio de las fábricas de ladrillo (tapiales de fraga¹⁰¹). Tomará tal relevancia que, en época contemporánea, el tapial entrará en decadencia¹⁰² siendo sustituido por las fábricas latericias.

En definitiva, en el al-Andalus la técnica del tapial resurge de la mano de la cultura islámica. Fue desarrollada en la mayoría de los territorios invadidos y épocas, aunque con las variaciones y adaptaciones propias de los localismos.

Sin embargo, existirá un punto de inflexión acaecido durante el periodo norteafricano, en el que su uso se extiende a todos los ámbitos de la arquitectura. Se introducen materiales (piedra o ladrillo) en combinación con la argamasa originando diversidad tipológica (tapiales mixtos) y en la que el encofrado y sus piezas se adaptan a la necesidad a través del ingenio.

Todo ello provocaría que su uso se mantuviera durante siglos, sujeta a cambios, pero gracias a la evolución alcanzada.

¹⁰¹ Graciani-Tabales (2008:153). “Con el inicio de la Edad Moderna, los tapiales simples se limitan a edificaciones de escasa envergadura y calidad; mientras, en la construcción monumental del entorno se imponen los tapiales mixtos *de fraga* contruidos en fábricas mixtas encofradas y de ladrillo (Fig. 3, tipos 9,10 y 11) y en los cuales los tramos encofrados van perdiendo protagonismo frente a los aparejados. De hecho, en los tapiales del momento, los cajones encofrados se combinan con fábricas de ladrillo (28 x 14 x 5-4 cm; 30 x 15 x 4 cm), toscamente aparejadas y con anchas llagas de argamasa pobre en cal. La fábrica latericia se emplea en los cimientos con escarpa, en los *pie de agujas*, en fajas y en las cadenas —cada vez más intrusivas— de la fábrica; entre hilos, se disponen dos y tres verdugadas de ladrillo, de modo que la triple verdugada (Fig. 1, tipo 11), se impone ya en el siglo XVII.”

¹⁰² Graciani-Tabales (2008:155). “A partir del siglo XIX, la fábrica de ladrillo pasa a ocupar un papel determinante en la Historia de la Construcción local; en paralelo, en el ámbito urbano se evidencia el inicio de un proceso de decadencia de la técnica del tapial, si bien en zonas rurales la tapiería sigue presente.

Este proceso degenerativo está marcado por la pérdida de protagonismo de las superficies encofradas en el conjunto de las fábricas, que generalmente siguen siendo tapiales *de fraga*, en los que, por tanto, las fragas (tramos encofrados) se combinan con los trabados, si bien perdura la solución de la triple verdugada con piezas de las dimensiones habituales en la época (24 x 12 x 3 cm), sobre cimientos y con pie de aguja, ambos también de ladrillo.”

9. Estudio sobre el uso de técnicas constructivas encofradas romanas e islámicas en Sevilla

Todo el aporte documental y descriptivo sobre el *opus caementicium* y el *tapial* islámico ha sido una labor necesaria para poder ser reconocidos y caracterizados en las edificaciones y yacimientos existentes en la propia ciudad de Sevilla y en algunas localidades próximas, como Santiponce, San Juan de Aznalfarache y Sanlúcar la Mayor.

La suerte de la riqueza patrimonial que posee Sevilla, así como su entorno, permite seleccionar las zonas de estudio con facilidad. Esta ciudad y su provincia sigue mostrando su relevancia a través de los vestigios del pasado y ésta también es una razón para adentrarse en el conocimiento y poder asegurar la conservación a futuro.

Este apartado del Proyecto Fin de Grado, sin lugar a dudas, pretende ser una llamada de atención hacia la importancia que tiene la observación de edificaciones y yacimientos desde la óptica técnica.

Se puede afirmar que desde otras disciplinas como la arqueológica, estos restos o evidencias del pasado sobre los que se ha centrado el estudio, ya han sido brillante y escrupulosamente tratados para obtener la información histórica y patrimonial.

Sin embargo, la visión del personal técnico en Edificación debe ir más allá y volcar el conocimiento sobre los procesos y procedimientos constructivos con otros propósitos, como poner en valor de los métodos que fueron empleados en la ejecución para preservar el patrimonio inmueble e histórico.

Al objeto de seguir ampliando datos sobre estos sistemas constructivos se realiza trabajo de campo consistente en un estudio visual, fotográfico y métrico de las huellas de los encofrados empleados en numerosos elementos constructivos existentes en zonas patrimoniales seleccionados.

La lectura de las marcas e improntas de los cajones u hormas son la muestra imborrable de que, en el área geográfica elegida, también se ejecutaron elementos constructivos mediante estas técnicas.

La información obtenida permitirá descartar valores de medición muy dispares teniendo en cuenta la repetición de otros. El objetivo es establecer un módulo del tamaño de las piezas y elementos más empleado en los distintos elementos constructivos estudiados, generalmente cimentaciones y muros.

También bajo la propia experiencia profesional y la consulta expertos en métodos constructivos se podrá lanzar, en algún caso, hipótesis sobre la ejecución y puesta en obra de los encofrados que se utilizaron, tanto para el *opus caementicium* como para el *tapial islámico*.

9.1. EL OPUS CAEMENTICIUM EN ITÁLICA

La realización del estudio sobre huellas e improntas de los encofrados empleados en elementos constructivos realizados con la técnica del *opus caementicium*, se ha efectuado en distintas áreas del municipio de Santiponce (Sevilla).

Las zonas de intervención han sido el Teatro Romano y algunos yacimientos del Conjunto Arqueológico de Itálica.

Los datos obtenidos del estudio son aportados en una serie de fichas incluidas en el ANEXO 13.1.



Imagen 40: Vista aérea de Santiponce con localización de yacimientos (Imagen de ITÁLICA Guía oficial del Conjunto Arqueológico. ISBN 978-84-8266-547-2)

LEYENDA

- 1- Teatro
- 2- *definitiva*,
- 3- Termas menores
- 4- Casa de la Exedra
- 5- Termas mayores
- 6- Anfiteatro

TEATRO ROMANO DE ITÁLICA.

El teatro se localiza a extramuros y al este de la ciudad romana de Itálica perteneciente al actual término municipal de Santiponce (Sevilla). Su construcción se cree iniciada en época Auguste en el cambio de era, siendo en tiempos de Adriano (117-138 d.C.) cuando se realizan numerosas mejoras y reformas que han perdurado hasta la actualidad.



Imagen 41: Vista general del teatro en 2009. Archivo del CAI. (ITÁLICA Revista de Arqueología Clásica de Andalucía// Nº02.2012 PP100 ISBN 2174-8667//ESTUDIOS)



Fotografía 1: Vista general del Teatro romano de Itálica en Santiponce (Sevilla).

El estudio se ha centrado en la observación y medición de las huellas de los encofrados de los muros de contención del Cerro de San Antonio ubicado en la zona occidental y sur del Teatro romano. Se trata en una potente estructura de *opus caementicium* anexa al Teatro, aunque no pertenece compositivamente a este edificio lúdico.

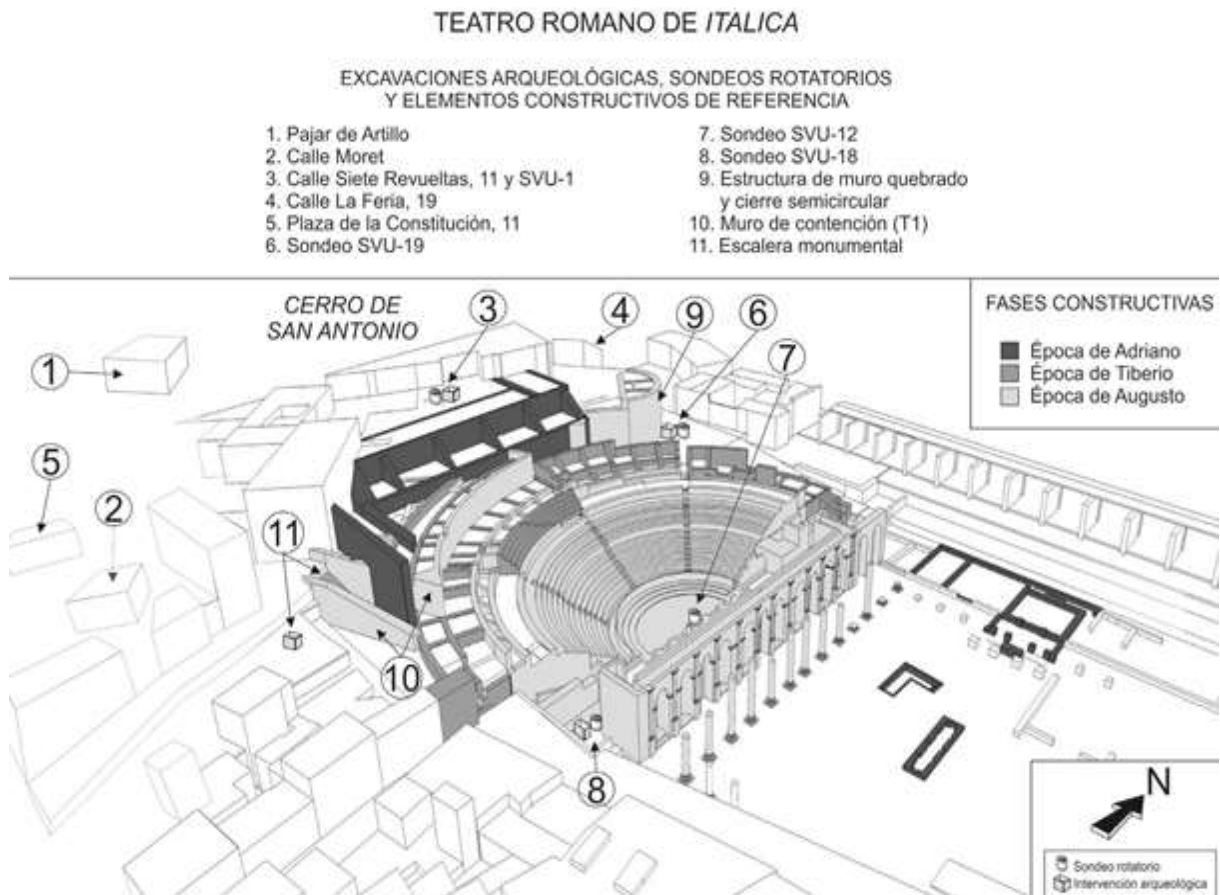


Imagen 42: Faseado esquemático del proceso constructivo del teatro, con localización de los ámbitos de intervención arqueológica y los elementos constructivos destacados. (Revista TARRACO Biennial 2015:89).

Cronológicamente su ejecución es de la época de Adriano (117-138 d.C), implicando que se ejecutaron posteriormente a la construcción inicial del Teatro de época Augustea (44 a.C – 14 d.C.) e incluso de las reformas realizadas por Tiberio (14– 37 d.C).

El trazado y composición material de estos muros muestran que formaron parte de un sistema de aterrazado artificial¹⁰³ del citado cerro, creando para ello una potente estructura de contención del terreno. Es posible que también fuera diseñada como cimentación de un espacio urbanístico y público. Se han vertido numerosas hipótesis sobre la construcción de estos muros desde las primeras excavaciones realizadas en los años 70, donde fueron descubiertos e interpretados como posibles depósitos de agua asociados al Teatro.

¹⁰³ Rodríguez-Vera (1999:195) "...a comienzos del siglo II, fue construida la potente estructura de *opus caementicium* encargada de crear una terraza artificial destinada a alojar un espacio público, posiblemente ya existentes desde tiempo atrás, y que en el sector sur se manifiesta actualmente en forma de conocido como *muro de San Antonio*."

Sin embargo, las investigaciones más contemporáneas asocian estos muros del cerro de San Antonio a elementos de cimentación y contención del terreno de una gran edificación de tipo sacro (Templo de Isis).



Imagen 43: Vista aérea en 1998. Archivo del CAI. (ITALICA Revista de Arqueología Clásica de Andalucía// N°02.2012 PP103 ISBN 2174-8667//ESTUDIOS)

Independientemente de su datación, uso o pertenencia a una edificación concreta, estos elementos constructivos son una muestra fehaciente del uso de encofrados de madera en la técnica constructiva del *opus caementicium* apisonado o por compresión utilizado por los constructores romanos en las zanjas de cimentación.

La gran envergadura de los muros de contención, la robustez de los contrafuertes o costillas que se adosan y el conexionado de ambos muros a través de losas inclinadas, lleva a la reflexión para comprender el proceso constructivo.

En ese intento, hay que abstraerse de los procedimientos que actualmente se emplean para la ejecución de muros y cimentaciones donde el proceso de excavación, entibación y/o encofrado es a cielo abierto. Las improntas o huellas de los encofrados de madera presentan una lectura diferente y por tanto habrá que sumergirse en el proceso de ejecución de esta técnica constructiva romana.



Fotografía 2: Vistas generales de los muros de contención del Cerro de San Antonio.

Imaginemos una gran colina que culminaba en un altiplano y que fue manipulada con la construcción de muros, contrafuertes o pies de amigo y losas.

En el momento de su construcción, el Teatro ya estaba construido, en uso y ya había sido objeto de reformas. Todo este conjunto de contención mural y de aterrazado del Cerro de San Antonio se debió ejecutar a modo de entibación, tanto para soportar posibles empujes de terreno ante cualquier actuación de construcción y/o urbanización en la parte superior del cerro, como la de no alterar la solidez del graderío del teatro. En definitiva, una excavación convencional no hubiera sido viable.

Luego el reto está en determinar ¿Cómo se ejecutaron estos muros en *opus caementicium* apisonado?

De toda la documentación arqueológica consultada sobre el teatro, no hay ninguna descripción constructiva sobre esta potente estructura. Sigue pasando inadvertida por los historiadores que se limitan a definirla superficialmente.

Sin embargo, la robustez, la horizontalidad del trazado que marcan las huellas de los encofrados de madera y la compacidad en el aspecto del material hace pensar que su ejecución no fue fruto de la casualidad. Este sistema constructivo que utilizaban los constructores romanos del siglo II d.C. estaba sobradamente experimentado.



Fotografía 3: Vista de muros, contrafuertes y restos de las losas de la terraza superior del Cerro de San Antonio.



Fotografía 4: Vista de muros, contrafuertes y restos de las losas de la terraza superior del Cerro de San Antonio.

De la observación de las huellas de los encofrados es posible determinar ciertos parámetros descriptivos y dimensionales de algunos elementos que se debieron emplear en la construcción de estos potentes muros de contención y contrafuertes, así como generar algunas hipótesis sobre el procedimiento de ejecución que seguidamente se relaciona:

- El material maderero que utilizaron como encofrado perdido y al mismo tiempo entibación de la excavación debió estar compuesto de los siguientes elementos:
 - Tableros de forma rectangular, espesor y longitud desconocida¹⁰⁴ y altura más o menos constante de aproximadamente 29 cm, dimensión asimilable a un pie romano.
 - Costales de sección cuadrada o rectangular variable y longitud comprendida entre 107 a 110 cm.

Los tableros se dispondrían en horizontal en contacto con las paredes de la excavación y los costales servirían de elemento de unión y rigidizador de los tramos de tableros.

Debieron ser colocados en paralelo y enfrentando los costales (hay sobradas evidencias de esta disposición en otros elementos de cimentación en la propia Itálica), siendo necesario para evitar el vuelco del conjunto hacia el interior de la excavación, el empleo de algún otro elemento a modo de riostra, codal o similar que conectara costales enfrentados consiguiendo también mantener el espesor previsto para toda anchura del muro. (Ver Anexo 13.3 croquis de la hipótesis del conjunto).

Sin embargo, no se han detectado testigos, ni huellas de estas posibles piezas de acodalamiento. Aunque quizás ese elemento de acodalamiento pudo bien ser amortizando durante el relleno o recuperado mientras se iba rellenando el interior de los muros.

- No debe obviarse que estos muros de contención debieron ser excavados y entibados por tramos, pues el sistema de *opus caementicium* empleado fue el apisonado y se realizaba desde el interior de las zanjas de excavación.

Por tanto, la excavación y contención del terreno debió realizarse simultáneamente por tramos horizontales, es decir, tuvieron que excavar una zanja corrida con una profundidad probablemente determinada por la altura de los costales y la unión de un número determinado de tableros. Realizada ésta se colocaría la entibación de la zanja y se continuaría con de la excavación hacia cotas inferiores, repitiendo el proceso de entibación-excavación hasta completar la profundidad prevista.

- Asegurada las paredes de toda la excavación conseguían contener el terreno completamente. Pero surge como inconveniente o más bien incógnita a este proceso de ejecución, el determinar cómo

¹⁰⁴ Se indica que los tableros tendrían longitud "desconocida" porque del estudio métrico sólo ha podido arrojar la dimensión de la longitud de las huellas de estos elementos de encofrado entre huellas huecas de las piezas denominadas costales. Los tramos de tableros debieron de estar unidos y rigidizados por varios costales por lo que es imposible determinar la longitud con exactitud. Sólo se puede generar hipótesis sobre su verdadera longitud.

realizaron la extracción del terreno excavado.

Los más lógico y ágil, extrapolarlo el practicismo romano, para esa operación tuvieron que ser auxiliado por algún medio de elevación y por supuesto, fruto de un proceso de organización y planificación previo de la obra.



Fotografía 5: Envergadura de los muros inferiores de contención del Cerro de San Antonio.

- Entibada la totalidad de los paramentos de excavación a modo de encofrado perdido se comenzarían con el proceso de ejecución del *opus caementicium* apisonado, consistente en la disposición alterna y horizontales de espesor comprendido entre 10 y 15 cm de capas de mortero de cal con la de fragmentos para desde el interior de la excavación apisonar por tongadas y desde abajo hacia arriba.



Fotografía 6: Vista general del muro superior occidental, contrafuertes y resto de losas del aterrazamiento

- El orden de ejecución del conjunto mural de contención y terrazas debió ser:
 - En primer lugar, se ejecutaría el muro inferior occidental continuando con el muro superior. Sólo se ha podido determinar la anchura del superior siendo de aproximadamente 1,20 m. Aunque no con exactitud ya que parte de este muro en su coronación está revestido y protegido por una cornisa prefabricada de hormigón que conforma la urbanización de la plaza. Por otro lado, el muro inferior en gran parte está cubierto en su parte superior por las losas que cubrían el cerro y los contrafuertes del muro superior. Es probable que poseyeran una anchura muy similar. No se ha podido encontrar documentación sobre datos dimensionales de estas estructuras.
 - Los contrafuertes adosados a los muros de contención de la terraza superior se ejecutarían posteriormente y de manera similar a los anteriores, salvo ciertas diferencias morfológicas. Estos píos de amigo poseen menor anchura o espesor de muro (en torno a 60 cm) y en diseño en altura mantiene el perfil inclinado del terreno de la colina.
 - Las losas se ejecutarían al final y directamente sobre el terreno natural para crear un conjunto de contención y terraza artificial. La principal diferencia respecto a los muros es que se ejecutaron en *opus caementicium* sin apisonar. Es simple distinguir entre la textura y compacidad de ambas puestas en obra ya que el proceso sin compactación deja un aspecto similar al de una fábrica de mampuestos.



Fotografía 7: Detalle de disposición de losas sobre contrafuertes del muro superior occidental.

Tras la descripción del proceso constructivo es posible indicar las siguientes reflexiones:

- La llamativa horizontalidad que presentan las huellas de los tableros en casi la totalidad¹⁰⁵ de la longitud de los muros responde a que debieron ser ejecutadas por tramos continuos y es probable que existiera un módulo o conjunto conformado por tableros y costal preparados o prefabricados en el exterior previamente a su montaje. Esta hipótesis que se plantea responde a que para ejecutar el relleno con *opus caementicium* apisonado, las paredes de la excavación del muro debieron estar completamente entibadas. Por otro lado, el montaje de la entibación debió ejecutarse de arriba hacia abajo y desde el interior de la zanja. Casi con toda seguridad y desde la lógica de un proceso constructivo, no pudo ser producto de un montaje in situ dentro de la propia excavación. Luego es probable que fueran elementos preparados en taller.



Fotografía 8: Vista de Conjunto de muros inferior, superior, contrafuertes y losas

Sin embargo, surge el interrogante

¿Cómo introdujeron en la zanja, con tramos ya entibados, el posible elemento prefabricado, conformando un conjunto de tableros y costales?

¹⁰⁵ En los muros de la terraza intermedia en su zona central y en toda su altura, se observa que las tablas están ligeramente inclinadas. Cabe pensar que esta variación fuera motivada por algún percance humano o natural durante el montaje de encofrado de esos tramos.

Si suponemos que los muros superior e inferior occidentales tuvieron dimensión en achura similar (aproximadamente 1,20 m), para que introducir en la zanja el conjunto de tableros y costales, como tramos de encofrados prefabricados previamente en taller, no debieron ser excesivamente grandes ya que no hubieran podido ser introducidos y manipulados dentro de la zanja de la excavación.

Como hipótesis, el conjunto lo conformarían tres tableros unidos por dos costales, cuya altura no superarían 1,10 m y la longitud de 2,20 m (ver croquis del Anexo 13.3). No se dispondrían enrasando costales y tableros para así crear un rebaje macho-hembra que mejoraría el acople vertical.



Fotografía 9: Huellas verticales de los costales no enrasadas con los tableros.

También emplearían algún sistema de elevación (polipastos sobre cabrias o torno elevador) para introducirlos mecánicamente en el interior de la excavación y poder manipulados para disponerlos en posición horizontal de manera manual.

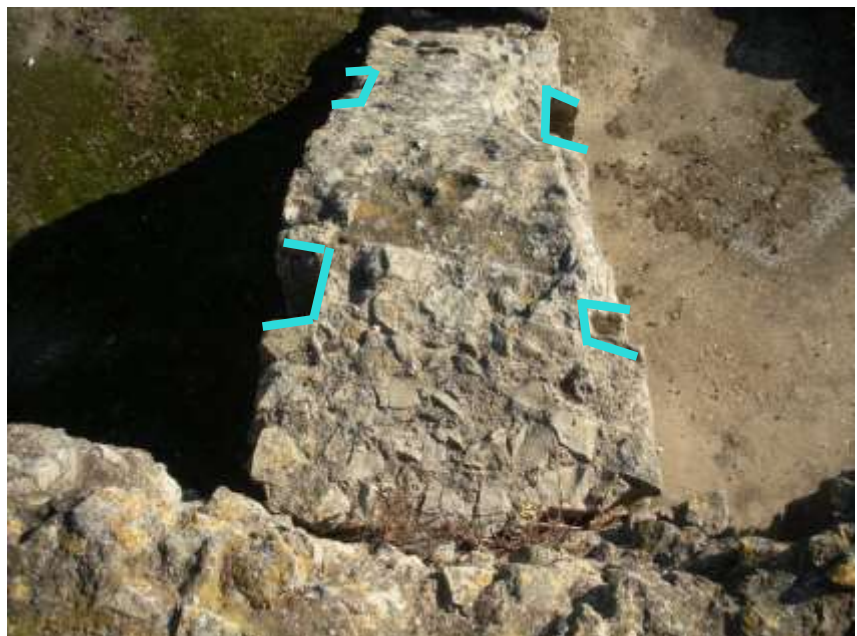
Para esta última manipulación y posicionamiento sobre las paredes de la excavación posiblemente tuvo que ser necesario desplazar algunos elementos de acodamiento de los tramos instalados previamente.

- Las huellas que han dejado la colocación de los costales que unían los tramos de tableros muestran resaltos que miden entre 2 y 3 cm. Estas marcas se repiten en casi la totalidad de los muros de manera constante (entre 1,07 a 1,10 m), permitiendo conocer la longitud de estos elementos que a priori podía pensarse que fueran continuos. Es probable que estos pequeños resaltos respondan a posibles operaciones de aprietes del sistema de acodamiento de la entibación.



Fotografías 10 y 11: Huellas que definen la longitud de los costales.

- La colocación del encofrado perdido o entibación en los contrafuertes de los muros de la terraza superior del Cerro de San Antonio debió ejecutarse simétricamente en cada pared de la excavación. Las huellas de los costales lo demuestran. Esta disposición puede obedecer, no sólo a criterios prácticos, pues dispuestos así permitirían colocar elementos de acodamiento.



Fotografía 12: Huellas de los costales enfrentados en cada cara del muro

- Las secciones de los costales son de mayor escuadría en los muros superiores (25x15 a 20 cm) que en los inferiores (10x10 cm) y que en los contrafuertes (14x10 cm). Es probable que no sea fruto de la casualidad, sino que obedezca más bien a criterios de buena construcción, pues el muro superior soporta más empujes del terreno que el resto.



Fotografía 13: Diferencia de escuadría entre los costales de los muros superiores e inferiores.

- La medición de las huellas de los tableros permite establecer como medida más generalizada de estos elementos madereros, anchuras no superiores a 30 cm.

Sin embargo, las longitudes no son posibles de determinar ya que los costales unirían tramos de tableros y también rigidizarían.

La medición longitudinal de las huellas de los tableros, sin tener en cuenta el espacio hueco que han dejado los costales, no consigue arrojar valores uniformes o que respondan a algún criterio constructivo.

Pero si se advierte que los costales del muro superior, de los contrafuertes y del muro sur fueron colocados a menor distancia (las huellas de los tableros indican longitudes entre 83 y 115 cm) mientras que, en el muro inferior, donde no existen contrafuertes, las longitudes de los tableros están comprendidas entre 115 a 150 cm.

- Los contrafuertes del muro superior se adosan a éstos y se ejecutaron en forma de cuña para evitar el vuelco de este elemento estructural y con gran longitud horizontal.

Estos elementos debieron ejecutarse una vez realizados los muros superiores de contención del cerro, ya que no se detectan huellas de encastre.



Fotografía 14: Adosamiento de contrafuertes al muro superior occidental

- Adosándose a los contrafuertes y muros de contención se ejecutaron losas en *opus caementicium* directamente sobre la forma ataluzada o de cuña del terreno de las terrazas. Así se consigue un conjunto homogéneo de muros, contrafuertes y losas, cumpliendo la misión de refuerzo y contención del macizo de terreno natural anexo al Teatro para generar terrazas artificiales.

CONJUNTO ARQUEOLÓGICO DE ITÁLICA

El Conjunto Arqueológico de Itálica en Santiponce (Sevilla) es el escenario ideal para estudiar la técnica constructiva del *opus caementicium*. Su uso pone de manifiesto que la ciudad de Itálica se presenta “*como un reflejo de las ciudades itálicas y especialmente la propia Roma*” (Roldan: 1993,328).

Las zonas de estudio han sido: El Anfiteatro, la Casa de la Exedra, el *Traianeum*, las Termas Mayores y las Menores. En todas existe la evidencia de huellas de encofrados en elementos constructivos realizados con esta técnica constructiva encofrada.

- **TRAIANEUM**

Edificio público y templo dedicado al emperador Trajano (98-117 d.C). Situado en una elevación topográfica de Itálica. Poseyó una extensión de una hectárea y dado su envergadura pudo ser contemplado desde cualquier punto de la ciudad y de su entorno inmediato. Ha sido objeto de expolio durante siglos por lo que actualmente sólo puede observarse la traza de su perímetro y los restos de algunos elementos de cimentación.

Como curiosidad, el propio trazado de lo que debió ocupar la planta de tan impresionante edificación se encuentra atravesado por la C/ La fuente, la cual conduce cementerio de la localidad.



Fotografía 15: Vista de parte del trazado del perímetro del *Traianeum*. Este yacimiento está protegido mediante un cerramiento metálico y para su visita es preciso la autorización expresa de la dirección del Conjunto Arqueológico e Itálica

De los escasos restos que han perdurado puede apreciarse un gran macizo de *opus caementicium* apisonado que debió ejecutarse con encofrados permanentes de sillares de piedra. La medición de las huellas ha arrojado valores dimensionales estándar del sillar de 90 x desconocida x 60cm.



Fotografía 16: Macizo de *opus caementicium* apisonado donde se observan las huellas del encofrado permanente mediante sillares.

Según Pilar León, este abultado elemento corresponde a una “estructura rectangular formada por tongadas de *opus caementicium* e identificada como relleno de la exedra rectangular en la sección central del lado sur del pórtico” (León 1988:27). Justifica tal proporción de relleno debido al gran desnivel existente entre el nivel de calle y el pórtico¹⁰⁶. Este comentario, de tan prestigiosa profesional, demuestra que la visión técnica es fundamental para la definición constructiva.

Sin duda el macizo está ejecutada evidentemente en *opus caementicium* pero se obvia su ejecución. Las huellas que identifica la arqueóloga como “tongadas de *opus caementicium*” realmente son las improntas de los sillares, identificados en este estudio (dimensión media 90 x desconocida x 60cm). Los sillares tendrían una doble misión, la de encofrado perdido o permanente y la de revestimiento. Y aunque no puede determinarse la anchura de cada bloque pétreo, estos debieron ser de una importante envergadura (al menos igual a su longitud 90 cm) ya que este elemento constructivo

¹⁰⁶ León (1988,27): “La necesidad de un relleno tan asombroso para la exedra, que además actuaba como contrafuerte, está justificado por el desnivel considerable entre el pavimento de la calle y el del pórtico”.

tendría la misión de apoyo o contrafuerte.

En el *Traianeum* existen otras muestras del empleo de cimentaciones realizados en *opus caementicium* apisonado ejecutado con encofrado perdido de madera. Las únicas dimensiones constatables en las huellas son la sección rectangular de los costales de 22 x 15 cm y la longitud de los tableros de aproximadamente 90 a 105 cm.



Fotografías 17 y 18: Restos de cimentación de *opus caementicium* apisonado ejecutado con encofrados de madera en la zona de las Exedras del Traianeum.

- TERMAS MENORES

Se encuentran ubicadas en el sector más antiguo de la ciudad de Itálica incluida dentro del casco histórico de la localidad de Santiponce, concretamente en la C/ Trajano.

Actualmente estos baños están insertados en la trama urbana, rodeados de edificaciones por lo que los restos excavados son sólo una parte del edificio original.

La superficie observable posee una extensión de 1840 m² según datos catastrales.



Imagen 44: Plano de situación de las Termas menores situada en C/ Trajano 4 en Santiponce (Sevilla) Castrato



Fotografías 19: Vista general de las Termas Menores perteneciente al Conjunto Arqueológico de Itálica.

Los vestigios muestran que las Termas menores fueron ejecutadas con cimentaciones de *opus caementicium* apisonado con encofrado perdido de madera para soportar muros de *opus testaceum*, que en definitiva son muros con núcleo de *opus caementicium* sin apisonar encofrados con ladrillos.

Precisamente esta técnica constructiva arroja datos cronológicos sobre su construcción ya que es una solución constructiva empleada en Roma desde inicios del siglo I d.C. siendo probable que su empleo en Itálica fuera impulsado por el emperador Trajano (98-117 d.C.), a quien algunos investigadores atribuyen su construcción¹⁰⁷.

La medición de las huellas en las distintas estancias de estos baños nos arroja parámetros generales sobre la ejecución de las cimentaciones y muros. Las medidas de los encofrados perdidos de madera más empleadas en las cimentaciones apisonadas de *opus caementicium* fueron para los costales de sección rectangular de 18 x 10 cm, no pudiendo determinarse la longitud, y para los tableros de 21 a 24 x 90 a 105 cm



Fotografías 20, 21 y 22: Huellas del encofrado de madera empleado en las cimentaciones de *opus caementicium* sin apisonar. (Imágenes de la autora).

¹⁰⁷ Roldán (1993,328): “Cuando casi un siglo después, se construyen en Itálica las termas de Trajano, se utilizó el material que por entonces estaba de moda en Roma, el ladrillo, combinándolo como allí, con el hormigón, para formar los característicos muros de *opus testaceum*. Ya hemos comentado que las características de este edificio, tanto en su arquitectura como en su construcción siguen de cerca los ejemplos de Roma y otras ciudades de la región. En Itálica se utilizaron ladrillos de diferente forma y tamaño que los romanos, pero, el concepto arquitectónico es el mismo.”



Fotografías 23 y 24: Medición de las huellas del encofrado empleado en las cimentaciones. Medidas más empleadas de 18x11cm.

Las dimensiones más generales de los ladrillos empleados, como encofrados permanentes del núcleo de *opus caementicium*, en los muros de las distintas estancias de las Termas menores son 29 x 20 x 5 cm.



Fotografía 25: Muros de *opus caementicium* encofrados con ladrillos.

- CASA DE LA EXEDRA

Con acceso al cardo máximo desde su fachada principal, se encuentra orientada al oeste ocupando una manzana completa con una extensión de aproximadamente 4.000 m².

En su distribución interior se distinguen distintos usos: Comercial, Residencial, Termal y Deportivo (Área de ejercicios y Palestra). Dada su ubicación, la diversidad de sus dependencias y proximidad al Anfiteatro, los investigadores han justificado que esta edificación romana debió ser un edificio semipúblico.

Como características constructivas se destaca el uso del *opus caementicium* en sus fábricas murarias encofradas con ladrillos principalmente de formato medio 29 x 20 x 5 cm.



Fotografías 26 y 27: Muros de la Casa de la Exedra realizados mediante *opus caementicium* encofrados con ladrillo.

También se empleó este sistema constrictivo en la cúpula que cubría la Exedra, a la que debe su nombre, que comunicaba con la Palestra y que debió ser ejecutada mediante el uso de encofrados recuperables de madera. Apenas se aprecian huellas debido a que la cúpula colapsó. Pero entre los restos del derrumbe se distinguen algunas marcas, aunque no se puede precisar la dimensión de los tableros.



Fotografía 28: Restos de Exedra ejecutada en opus caementicium

Muestra del empleo de ambos métodos de encofrado (permanente con ladrillos y recuperable con tableros de madera), es el muro que divide el espacio de la exedra con otras estancias contiguas. Puede distinguirse el uso de ladrillos para contener la masa de *opus caementicium* y el arranque de las bóvedas que sostenía.



Fotografía 29: Muro de la Exedra encofrado con ladrillos

- TERMAS MAYORES

Están situadas en el sector occidental de la zona de ampliación realizada en el siglo II d.C. por Adriano (117 a 138 dC.). Ocupa una superficie de 3.2 hectáreas, aunque sólo se encuentra excavada la zona central de la manzana. De los restos excavados que pueden observarse, se han detectado:

- Cimentaciones realizadas en *opus caementicium* apisonado ejecutados mediante el empleo de encofrados perdidos de madera, en las distintas zonas destinadas al baño.

El estudio de las huellas de estos moldes establece parámetros generales de costales de sección rectangular de dimensiones variables y comprendidas entre 14 a 17 x 10 a 14 cm, no siendo posible determinar su longitud. Los tableros presentan longitudes comprendidas entre 80 a 102 cm y en algunos se ha determinado su altura en 22 cm, no pudiendo precisarlas en todos los casos que han sido objeto del estudio métrico.



Fotografías 30 y 31: Restos de cimentación de *opus caementicium* apisonado ejecutado con encofrados de madera en área de baños.

- Muros ejecutados en *opus testaceum*, núcleo de *opus caementicium* sin apisonar con encofrado permanente de ladrillo.

Las dimensiones más generales de los ladrillos empleados en los muros de las distintas estancias de las Termas mayores son 29 x 20 x 5 cm.



Fotografía 32 y 33: Muros de las estancias realizados mediante *opus caementicium* encofrados con ladrillo.

- Bóvedas de cañón en la sala de servicio de las Termas fueron ejecutadas con *opus caementicium* sin apisonar encofradas mediante tableros de maderas recuperables.

Las dimensiones más utilizadas corresponden a longitudes comprendidas entre 100 a 107 cm y de altura variable entre 18 a 21 cm.

Las huellas de los tableros de madera manifiestan que estas superficies alabeadas fueron encofradas adaptándose al trazado previsto, por lo que en el desarrollo de las curvas se emplearon tableros de distintas alturas y longitudes.



Fotografías 34: Huellas del encofrado de madera empleado en las bóvedas ejecutadas en *opus caementicium* sin apisonar

En determinadas zonas no ha sido posible determinar un patrón dimensional del encofrado utilizado. Podría ser debido a que la capa de cal del *opus caementicium* ha desaparecido dejando visible directamente la capa de fragmentos, por ello no he detectan huellas o improntas.



Fotografías 35: La bóveda de cañón donde no se detectan huellas del encofrado utilizado para su ejecución.

- ANFITEATRO

Se sitúa a extramuros de la ciudad de Itálica en su lado Norte a escasos 300 m de la zona más antigua de la ciudad. Fue ejecutado aprovechando una estrecha vaguada por la que discurría un arroyo, que tuvo que ser canalizado. En la actualidad aún sigue trayendo a agua en determinadas estaciones.

La elección de esta zona para la construcción del anfiteatro no es casual, sino fruto del ingenio y practicismo romano. La excavación de la vaguada hasta la base les permitiría ubicar disposición de la arena orientada de este al oeste, instalar las conducciones subterráneas necesarias para la evacuación de aguas residuales y pluviales, así como posteriormente levantar el graderío apoyando la estructura portante sobre las laderas.



Imagen 45: Panorámica Anfiteatro (Autor: José Morón, Fecha: 1993, Fuente: IAPH <https://guiadigital.iaph.es/>)

Numerosos investigadores suelen atribuir la construcción al emperador Adriano, otros tantos lo encuadran en la época de su antecesor Trajano, el primer italicense en ser emperador de Roma e incluso hay autores que la atribuyen a la dinastía Flavia (iniciada por Vespasiano 69 a 79 d.C). Independientemente de su origen, el Anfiteatro de itálica fue uno de los más destacados del Imperio tanto por sus dimensiones¹⁰⁸ como por su aforo (según fuentes documentales indican una

¹⁰⁸ El anfiteatro de itálica es de planta ovalada, donde los ejes del óvalo exterior miden 153 y 132 m y los de la arena, 70,6 y 47,3 m. Se le supone que pudo alcanzar entre 22 a 23 m de altura.

capacidad de 25.000 espectadores). En la actualidad aún conserva gran parte de su graderío, así como la zona de arena y la fosa bestiaría.¹⁰⁹



Fotografía 36: Vista de la fachada principal del Anfiteatro orientada al Este.



Fotografía 37: Vistas del graderío y fosa bestiaría.

¹⁰⁹ Sótano que se cubría con tarimas de madera destinado a albergar distintos servicios para los juegos como las jaulas de los animales.

Es una muestra majestuosa del empleo masivo del *opus caementicium* con encofrados permanentes de sillares (*opus quadratum*) en las fachadas y zonas nobles interiores, de ladrillos (*opus testaceum*) en galería inferior, y en otros puntos secundarios y recuperables de madera en las bóvedas de las galerías.

El hecho que el sistema constructivo empleado para su levantamiento fuera mediante *opus caementicium* podría permitir situar su construcción en cualquiera de las épocas imperiales anteriormente relacionadas, pues la citada técnica ya estaba sobradamente empleada y extendida por toda la geografía del mundo romano desde época republicana.

La puesta en obra del *opus caementicium* responde al sistema sin apisonar, empleando sillares y ladrillos como encofrados permanentes para las fábricas murarias y tableros de madera recuperable y reutilizables para las bóvedas.

Los elementos constructivos analizados en el Anfiteatro de Itálica han sido sus muros y bóvedas, tanto de las gradas como de las galerías, extrayéndose los siguientes datos:

- Los encofrados permanentes utilizados fueron sillares de piedra caliza de dimensiones más generales 60x30x60, 90x30x60, 60x45x60 y 90x45x60 cm y ladrillos de formato 29x20x5 cm para las fábricas murarias.

Si se extrapolan estas medidas a la dimensión de un pie (29.7 cm) y codo romano (44,55 cm), los sillares demuestran que son la combinación de esta medida romana. Así como una previsión dimensional a la hora de ser extraídos y tallados.



Fotografía 38: Muros de gradas realizados con encofrado permanente de sillares. (Imagen de la autora).

- El núcleo de *opus caementicium* de las fábricas murarias muestra que su resistencia y durabilidad no precisaba de su epidermis de sillares o ladrillos para comportarse como una estructura vertical portante. Estas grandes masas han perdurado a pesar del transcurrir del tiempo y el expolio masivo demostrando que tanto sillares como ladrillos realizaban la misión de encofrado, originalmente diseñados como permanentes y listos para recibir el tratamiento de revestimiento y/o acabado previsto.

Además, se pone de manifiesto la capacidad organizadora¹¹⁰ y previsor de los constructores romanos, economizando en materiales como la piedra y el ladrillo e imprimiendo a ejecución de una obra de gran envergadura como ésta, rapidez y agilización.



Fotografía 39 y 40: Masas de *opus caementicium* en muros de gradas que fueron encofrados con sillares o con ladrillos.

¹¹⁰ Solis (1998,103). "La industria de la construcción estaba bastante bien organizada y había un alto grado de especialización en los oficios."

- Los encofrados recuperables y reutilizables empleados fueron tableros de madera que dependiendo del tipo de bóveda de cañón o de aristas presentan distintas escuadrías. Como constante general, las huellas de los tableros presentan anchuras variables entre los 20 a 24 cm. Es muy relevante y destacable, el que en las bóvedas de aristas de las galerías las huellas de los encofrados muestran dimensiones repetidas en todo su trazado. Con ello se demuestra bien la reutilización de las maderas o el replanteo previo de los elementos alabeados para obtener el mayor rendimiento de estos elementos madereros.



Fotografías 41, 42 y 43: Huellas de los tableros de encofrados en distintas bóvedas de las galerías

9.2. EL TAPIAL EN EL ÁREA DE ISBILYA Y AL-XARAF

La realización del estudio sobre las huellas e improntas de los encofrados empleados en las fábricas murarias realizadas con la técnica del tapial, se ha efectuado en los recintos amurallados de Sevilla (Jardines del Valle y de la Macarena) y en los municipios hispalenses de Sanlúcar la Mayor y San Juan de Aznalfarache. Los datos obtenidos del estudio son aportados en una serie de fichas incluidas en el ANEXO 13.2.

- MURALLA JARDINES DEL VALLE -SEVILLA-

Los tramos de esta muralla de datación almorávide-almohade. Actualmente conforman el cerramiento trasero de los actuales Jardines del Valle, sito en la Avenida de M^a Auxiliadora de Sevilla. Posee una longitud aproximada de 200 m donde se insertan dos torres de planta rectangular.



Fotografía 44: Muralla de los Jardines del Valle.

Se encuentra ejecutada en tapial común, destacándose los parámetros métricos más empleados y obtenidos de las huellas e improntas de los encofrados empleados:

- Agujas: Planas de sección rectangular de formato 7x3 cm o de cilíndricas (rollizos) de diámetro 5 cm. Dispuestas bajo el hilo y sin remate. La longitud de entrega en el muro variable entre 40 a 45 cm y la separación entre agujas contiguas comprendía entre 65 a 70 cm.



Fotografía.45: Aguja plana rectangular.



Fotografía 46: Aguja cilíndrica o rollizo.

- **Cajón:** De módulo alto comprendido entre 85 a 90 cm. Compuesto por 5 o 6 tablas de altura variables entre 15 a 18 cm. Longitud entre 2,10 a 2,30 m para los lienzos y corrido para las torres.



Fotografía 47: Torre de tapial común de módulo alto.

- MURALLA DE LA MACARENA DE SEVILLA

Su trazado discurre desde la Iglesia de San Hermenegildo hasta el Arco de la Macarena. Cronológicamente se ubica en periodo norteafricano.

El tramo de la Muralla de la Macarena está definido por un trazado de 536 m, donde se insertan ocho torres de planta cuadrangular salvo una de planta octogonal denominada la Blanca. También se ha conservado el trazado de su barbacana y el paso de liza.



Fotografía 48: Muralla de la Macarena.

Aunque ha sido objeto de restauración como la de los jardines del Valle para su conservación aún pueden determinarse muchos de sus parámetros métricos originales:

- Agujas: Son planas de sección rectangular 7x3 cm en los lienzos y torres, mientras que en la barbacana son cilíndricas (rollizos) de diámetro 5 cm. Están dispuestas bajo el hilo y sin remate. La longitud de entrega en el muro es variable comprendida entre 60 a 70 cm siendo en los lienzos y barbacana mientras que en las torres se encuentra entre 45 a 60 cm. La separación entre agujas contiguas está comprendida entre 65 a 70 cm, en todos los paramentos.



Fotografía 49: Aguja plana en lienzos y torres



Fotografía 50: Aguja cilíndrica en la barbacana.

- **Cajón:** De módulo bajo de 80 cm. Compuesto por 4 o 6 tablas de altura variables entre 12 a 15 cm. Longitud entre 2,20 a 2,30 m para los lienzos y 2,20 m en torres y barbacana.



Fotografía 51: Lienzo de tapial común de módulo bajo.

- MURALLA DE SANLÚCAR LA MAYOR (SEVILLA)

Declarada BIC con fecha de disposición 26/06/1985 (BOE del 29 de junio de 1985), la Muralla urbana de Sanlúcar la Mayor está tipificada como Monumento. Los restos de lienzos y torres de este recinto amurallado de época almohade fueron ejecutados con la técnica del tapial común. En la actualidad presentan mal estado de conservación y deterioro.



Fotografía 52: Restos de lienzos de la Muralla urbana de Sanlúcar la Mayor.

El estudio de las huellas de sus encofrados ha permitido determinar los siguientes parámetros:

- Agujas: Son planas de sección rectangular 7x3 cm tanto en los restos de lienzos como de torres. Fueron dispuestas bajo el hilo y no presentan remate sobre las mismas.

La longitud de entrega en los muros de los lienzos varía entre 50 a 60 cm, siendo de 40 a 45 cm en las torres.

La separación entre agujas contiguas está comprendida entre 65 a 80 cm en lienzos y de 60 a 70 cm en las torres.

Se destaca la ausencia de zócalo o pie de aguja, por lo que las fábricas murarías de tapial debieron ser ejecutadas directamente sobre una cimentación a base de un hormigón rico en cal.



Fotografía 53: Aguja plana en lienzos y torres.



Fotografías 54 y 55: Improntas de la cuerda de acodamiento.

- Cajón: El módulo del cajón es alto (90 cm) Con longitudes de 3,00 a 3,60 m en los lienzos y corridos en las torres. El deterioro de los paramentos no ha permitido establecer del número tablas que componían el cajón.



Fotografía 56: Mechinales de agujas planas en lienzos.



Fotografía 57: Mechinales de agujas planas en torres.

- MURALLA DE SAN JUAN DE AZNALFARACHE (SEVILLA)

Algunos restos del recinto amurallado almohade de San Juan de Aznalfarache (Sevilla) se ubican en el Centro de Interpretación de la Historia de San Juan de Aznalfarache situado en el Barrio de Loreto del citado municipio.



Fotografía 58 Muralla almohade del Centro de Interpretación de la Murallas de San Juan de Aznalfarache.



Fotografía 59: Detalle del zócalo o pie de aguja sobre el que se ejecutaba el tapial.

Sobre un zócalo o pie de agua de sillares de piedra caliza se levantan los restos de muralla de tapial común, que han arrojado los siguientes datos métricos:

- Agujas: Son planas de sección rectangular 7x3 cm, dispuestas bajo el hilo y sin remate. La longitud de entrega en los muros varía entre 60 a 70 cm. La separación entre agujas contiguas está comprendida entre 60 a 70 cm.



Fotografía 60: Agujas planas en lienzos de la muralla.

- Cajón: El módulo del cajón es alto (90 cm). Las longitudes están comprendidas entre 2.00 a 2.30m.

Se distinguen huellas de las tablas que componían los tableros, dispuestas en una cantidad de 4 a 6 unidades de alturas variables entre 12 a 15 cm.



Fotografía 61: Módulo de cajón alto (90 cm) de longitud comprendida entre 2.00 a 2.30 m y con una media de 4 agujas por cajón.

10. Análisis comparativo

El recorrido realizado por los sistemas constructivos de la Antigüedad y Edad Media que emplearon encofrados ha sido necesario para desarrollar la parte más analítica del Proyecto de Fin de Grado que es el Análisis comparativo en el área de Sevilla entre el *opus caementicium* y el *tapial islámico*. Conocer el origen y el uso de estas técnicas encofradas logra situar su importancia en la arquitectura e ingeniería civil ambas culturas.

La determinación de conceptos generales relativos a su composición material y tipologías, la definición de su puesta en obra, así como los usos a los que se destinaron y la evolución que sufrieron a lo largo de su empleo han sido parámetros fundamentales para establecer los criterios de comparación.

El estudio investigativo sobre el uso del encofrado en Sevilla y su entorno ha supuesto el acercamiento a estos sistemas constructivos condicionados tanto por sus aspectos geográficos, históricos, socio-económicos como la introducción de avances tecnológicos alcanzados por cada una de las culturas elegidas. La toma de contacto *in situ* ha proporcionado información directa sobre los materiales y los parámetros dimensionales utilizados en esta área geográfica definida, y suficientes datos para establecer una adecuada comparativa entre ambos métodos de construcción encofrada.

El análisis entre ambas técnicas de construcción se basa en cuatro premisas claramente diferenciadas, los condicionantes socio-históricos y los análisis material, estructural y constructivo.

10.1.- CONDICIONANTES SOCIO-HISTÓRICOS

El *opus caementicium* y el *tapial islámico* responden a sistemas constructivos empleados y asociados a momentos históricos de gran expansión y desarrollo de estas culturas. La importancia de la conquista y dominación de la ciudad de Sevilla, supone un nexo de unión entre la el mundo romano y el islámico.

Hispalis o *Isbiliya* fue considerada un punto estratégico para controlar el comercio marítimo que propiciaba el río Guadalquivir, el abastecimiento de recursos naturales para la exportación y consumo propio por su proximidad al Aljarafe y a Sierra Morena, así como zona de comunicación¹¹¹ terrestre con otros núcleos poblacionales. Su posición geográfica dispuesta sobre un altiplano respecto a localidades próximas favorecía la defensa de sí misma y de su entorno inmediato ante posibles ataques.

SEVILLA ROMANA (s. I a.C. - s. IV d.C.)

La época final de la República romana supone para *Hispalis* un gran cambio político, administrativo

¹¹¹ Collantes de Terán (1977:61): “El itinerario de Antonino Caracalla viene a poner de manifiesto que *Hispalis* era un importantísimo nudo de comunicaciones donde se articulaban las importantes calzadas de la Bética, ...”

y social otorgado por Julio César (60-44 a.C.) mediante la concesión del estatuto colonial en el año 45 a.C., originando el desarrollo de una nueva ciudad romana.

La nueva *situación* política establecida por Cesar en *Hispalis* o bien las mejoras administrativas, de gestión y económicas que Augusto (44 a.C – 14 d.C.) proporcionará a las colonias romanas, pudieron ser motivaciones suficientes para que en cualquiera de estos periodos históricos (finales de república o principio del imperio), se comenzará el levantamiento de la muralla¹¹² de adscripción puramente romana en *Hispalis*.

Independientemente de a quien se le pudo atribuir el mandato de su construcción, lo más destacable es que diversos tramos de este recinto murado pudieron ser ejecutados mediante el empleo de la técnica del *opus caementicium combinado con opus incertum*.

La *Hispalis* augusta comienza a engrandecerse debido a un breve periodo de paz que se disfruta en todo el imperio romano y por el impulso que el propio emperador Octavio Augusto ofreció a sus colonias con el objetivo de integrarlas a Roma. Ello propició el desarrollo de la industria, el comercio, y la explotación de las riquezas naturales¹¹³. En consecuencia, la ciudad vivirá una época de prosperidad que directamente originará el incremento de la población y el crecimiento urbano. *Hispalis* consigue arrebatarse a la metrópolis *Cordubensis Ulterior* de la Bética (Córdoba) el protagonismo que desde dos siglos antes había adquirido por su posición militar estratégica¹¹⁴.

El periodo de florecimiento hispalense se ve incrementado en el siglo II d.C. “desde Claudio y, sobre todo con los Antoninos” (Jiménez Maqueda 2011:382). Muestra de ello es el nuevo recinto amurallado, cuyos vestigios arqueológicos encontrados demuestran que fue ejecutado mediante la técnica del opus caementicium encofrado con sillares, considerado contemporáneo a la muralla que levantara Adriano en la nova urbs de Itálica¹¹⁵.

¹¹² Jiménez Maqueda (2011:381-382): “El segundo podría haber sido erigido a lo largo de la segunda mitad del siglo I a.C., como consecuencia de la concesión del estatuto colonial a Hispalis por César, en el 45 a.C., o coincidiendo con la adscripción por Augusto de nuevos colonos, hacia el 16-14 a.C. En relación a este recinto, no es posible determinar en qué medida se aumentaron las dimensiones del pomerium del recinto prerromano-republicano. Por otra parte, si se tienen en cuenta las arquitectónicas de la cerca de la *uetus urbs* de Itálica, para la que se ha sostenido una cronología tanto de finales de época republicana como augustea, y de Ilipa, fechada a comienzos del siglo I d.C., la muralla de la Colonia Iulia Romula habría sido realizada en *opus caementicium* con paramentos de *opus incertum*. No obstante, los últimos restos identificados con el pomerium de Hispalis en la Encarnación y, tal vez, en el Patio de Banderas habrían sido erigidos con sillares, tal y como acontece en la ampliación hacia el sur del recinto amurallado de Corduba.

¹¹³ Collantes de Terán (1977:59): “..., una extraordinaria cantidad de productos, especialmente minerales y alimenticios, algo de oro, bastante cantidad de plata, cobre, hierro, plomo mercurio, cinabrio, bermellón, sal, salazones, lana, miel, lino, y sobre todo, el afanado aceite, que a través del puerto de Sevilla enviaban a todo el mundo romano los pueblos ribereños del Guadalquivir y de los interior de la Turdetania”.

¹¹⁴ Collantes de Terán (1977:57): “La mayor importancia que en este periodo alcanzó Córdoba y su elección como metrópolis de la Provincia Ulterior de la Bética, cuando está fue creada, se justifica plenamente desde el punto de vista militar por su posición estratégica, próxima a la demarcación con la Ciltterior, en un periodo en que la acción conjunta de las tropas romanas de ambas provincias se hizo tantas veces necesaria.”

¹¹⁵ Jiménez Maqueda (2011:382): “De este modo, es posible plantear dos posibilidades al respecto. En primer lugar, que dicha cerca fuese contemporánea de la erigida alrededor de *nova urbs* italicense por el emperador Adriano, por lo que su función sería administrativa y simbólica más que propiamente defensiva. En segundo, que se construyese para hacer frente a las incursiones de los *mauri* del otro lado del

La construcción mediante *opus caementicium* fue empleada en *Hispalis* y en Itálica en todos los ámbitos arquitectónicos (doméstico, civil y militar) debido a la necesidad urgente de crecimiento urbanístico y al desarrollo que esta técnica constructiva ya había alcanzado en otras regiones romanas. El sistema estaba tan experimentado que ya en el siglo I a.C. se construían bóvedas, por tanto la técnica estaba sobradamente empleada y difundida.

El uso del *opus caementicium* y de otras técnicas constructivas romanas demostraban la afinidad con la capital de Imperio, Roma, como si sus ciudades fueran un reflejo de ésta.

SEVILLA ISLÁMICA (s.VIII a primera mitad del s. XIII d.C.)

Sevilla sucumbe bajo el poder islámico en 712, un año después de la invasión de la Península, convirtiéndose en la residencia del gobierno durante algunos años hasta que se traslada a Córdoba, “sin duda mejor situada estratégicamente para la prosecución de la conquista” (Collantes de Terán 1977:87).

En época emiral (mediados del siglo IX-929), Sevilla vivió periodos de conflictos internos¹¹⁶ y foráneos¹¹⁷. A pesar de no ser la capital gubernativa, suponía una ciudad muy importante del *Al-Andalus* por ser la vía de abastecimiento interior y exterior, gracias a su rico entorno y su puerto fluvial.

Posteriormente con la creación del califato cordobés se restablece la paz interna, siendo la etapa califal (929-1030) para Sevilla un periodo de prosperidad y florecimiento.

La arquitectura islámica de Sevilla durante el periodo comprendido entre los siglos VIII al XI, se define por el uso de materiales reutilizados procedentes del acarreo, y de las técnicas clásicas, romanas y bizantinas¹¹⁸ relativas a la ejecución de muros de sillares pétreos. Responden a la existencia de un gran legado romano extendido por toda la ciudad y su entorno, al vacío tecnológico de la etapa visigoda y a la necesidad de crecimiento de la nueva sociedad andalusí.

Constructivamente los programas edilicios militares, religiosos, palaciegos o domésticos ejecutados durante este periodo de casi trescientos años, muestran la continuación de tradiciones anteriores adaptadas y evolucionadas en el empleo de las fábricas pétreas y mixtas. Podría

Estrecho, las cuales sabemos que tuvieron lugar en la segunda mitad del siglo II d.C., con una funcionalidad, por consiguiente, claramente defensiva. Por mi parte, me inclino por la primera de las hipótesis, de manera que si se toman en consideración las características arquitectónicas de la muralla de la *noua urbs* italicense, la de *Hispalis* constaría de un núcleo de *opus caementicium* y paramento de sillares.”

¹¹⁶ Collantes de Terán (1977:88-89): “Durante la grave crisis del emirato cordobés, bajo el gobierno de los emires que precedieron a Abd al-Rahman III, Sevilla permaneció casi independiente como tantas otras capitales del distrito de Al-Andalus, ejerciendo efectivamente el poder las dos poderosas familias sevillanas de los Banu Jaldun y Banu Hachchach, cuyos jefes respectivos Coraib e Ibrahim fueron, a partir del 888, las cabezas más destacadas de la rebelión contra los emires”.

¹¹⁷ Collantes de Terán (1977:88): “En 844 se presentaron ante Sevilla los normandos que habían remontado en sus naves el Guadalquivir”.

¹¹⁸ Azuar (2005:158): “Así se construyen las alcazabas de Mérida y Sevilla, cuyas plantas están inspiradas en precedentes bizantinos y sus rasgos constructivos son similares: se levantan en sillaría concertada, procedente del expolio, pero en donde se observa una organización en el acopio de materiales, los cuales se aparejan con argamasas de cal y es evidente la presencia cada vez mayor de canteros”.

considerarse una etapa de reciclaje del pasado conquistado para cimentar la base de un nuevo imperio. No será un periodo de avances tecnológicos sino más bien de adaptación al medio heredado, buscando como finalidad el afianzamiento de su cultura.

Pero la importancia que adquiere *Isbiliya* en el periodo islámico ocurre “Cuando la estructura política del califato cordobés se hundió estrepitosamente entre las revueltas de la *fitna* a principios del siglo XI, sonó la hora de Sevilla que asumió el primer papel en el islam español, que no había de abandonar hasta la caída en poder de los cristianos”. (Collantes de Terán 1977:90).

De manera casi análoga al periodo romano de principios de nuestra era, *Isbiliya* asume todo el poder político, administrativo y religioso del *al-Andalus*, lo que origina “un extraordinario grado de esplendor y poderío, traducido en múltiples y suntuosas construcciones y en un brillante florecimiento cultural...” (Collantes de Terán 1977:90).

El periodo taifa en Sevilla (siglo XI) supondrá un avance en arquitectura y la introducción de técnicas constructivas. El auge de la mampostería amalgamada con barro en el ámbito doméstico y palaciego, la proliferación del uso del ladrillo tanto de acarreo como de producción propia y el resurgimiento del tapial sobre todo en la arquitectura defensiva sustituyendo a la piedra. Se abandonan los programas constructivos clásicos, se inicia una etapa propia marcada por la diversidad en uso de materiales y el desarrollo tecnológico en sus métodos para edificar.

Pero serán las diferencias religiosas, la causa de conflictos internos entre los musulmanes de la Península (Reinos taifas) y los del norte de África (almorávides y almohades). Originándose periodos de enfrentamientos militares culminados con la victoria Almohade en la segunda mitad del siglo XII.

Sevilla no perderá su capitalidad con la dominación almohade (1148-1248), sino que alcanzaría “uno de los periodos más brillantes de su historia” (Collantes de Terán 1977:91), aunque inserta en constantes enfrentamientos militares con los cristianos.

El engrandecimiento y protección de *Isbiliya* permitirá avanzar en el desarrollo constructivo iniciado por los reinos taifas, por lo que el periodo almohade supondrá la culminación y avance de la arquitectura y la construcción islámica en el al-Andalus. Una muestra de ello fue la creación del mayor recinto¹¹⁹ amurallado hasta entonces conocido en la Península¹²⁰, generado desde finales del s.XII hasta el primer cuarto del siglo del siglo XIII.

La necesidad protectora les induce a perfeccionar un método constructivo, previamente

¹¹⁹ Canivell (2008:26) “El perímetro de la cerca es de aproximadamente unos 6 kilómetros, encerrando un área de 268,56 Ha, siendo al menos el mayor perímetro amurallado islámico de la península. En la actualidad se conservan unos 1500 metros de muralla exentos o emergentes.”

¹²⁰ Collantes de Terán (1977:97): “No creemos incurrir en exageración si decimos que, desde la época romana, en ningún periodo se desarrollo en Sevilla tan intensa labor constructiva como en el almohade.”

empleados por sus antecesores, el *tapial*. Este sistema les ofrecía ventajas como la economía de medios materiales y humanos, la agilización del proceso constructivo y la rápida puesta en servicio de la fábrica muraria.

Numerosos son los ejemplos de la construcción en *tapial* de esta época aún están presentes en nuestro patrimonio cercano y conservado (la muralla de Sevilla, el Alcázar, la Torre del Oro, etc.).

SEVILLA ROMANA vs SEVILLA ISLÁMICA

El siglo I d.C. para los romanos y XI d. C. para la cultura islámica supone el punto de inflexión en el que la ciudad de Sevilla se convierte, para cada uno de ellas, en centro neurálgico de su dominación, desarrollo y expansión.

El estudio sobre el uso del encofrado en Sevilla y su entorno desarrollado anteriormente, demuestra que tanto el *opus caementicium* como de *tapial* se enmarcan cronológicamente en las dos épocas de expansión para cada una de estas culturas. Implicando que estos sistemas de construcción encofrada fueron la mejor alternativa arquitectónica para crecer, desarrollarse y defenderse.

Comparando los periodos históricos de engrandecimiento de ambas sociedades, con un salto de algo más que un milenio de diferencia, la Sevilla romana y la islámica comparten la importancia de convertirse en un hito político, social, económico y cultural. Para el imperio romano, *Hispalis* sería una de sus colonias más preciadas, rodeadas de ciudades como Itálica, convertida en la Roma hispana, que manifestaban la grandeza de la romanización en el mundo. Y para la cultura islámica, *Isbilya* se convirtió en la capital del al-Andalus, merecedora de todo el esplendor y protección.

Una muestra de la relevancia que ocupó la ciudad en cada época es su legado arquitectónico, manifiesto a través de las edificaciones y yacimientos aún existentes. Gran parte de este patrimonio heredado ha permanecido gracias a los sistemas constructivos empleados, como el *opus caementicium* y el *tapial*. Técnicas sencillas y económicas pero sólidas, puestas en uso para construir rápida y eficientemente.

En conceptos de sencillez, eficiencia, economía, agilización, versatilidad, monolitismo y estandarización, ambos métodos alcanzan paralelismos y similitudes. Sin embargo, hay una gran diferencia entre estos sistemas constructivos, relativa a la significación o el lenguaje que transmitían sus edificaciones:

- Con el *opus caementicium* se pretendía proyectar una arquitectura a imagen y semejanza de Roma.¹²¹ Evidentemente con las variaciones propias del medio natural que les rodeaba y de las

¹²¹ Choisy (1999:160): "Al idear el sistema de construcción con hormigón los romanos se encontraron en poder también de un instrumento capaz de homogeneizar las reglas del arte de construir. Desde el día en que, sólo con la ayuda de peones y sin otros materiales que cal y guijarros informes, consiguieron levantar bóvedas colosales, también tuvieron a su disposición una forma de construir que con el tiempo podía hacerse universal. A través de las colonias, y por medio de las legiones, hicieron llegar sus nuevos métodos hasta los confines del

tradiciones constructivas locales, aunque empleando un método que era ejecutado de manera sistemática en cualquier territorio romano. Consiguen universalizar la construcción, primero por transmisión a través de sus legiones y posteriormente con la creación de escuelas de oficios¹²².

El *opus caementicium* supondrá una revolución y sistematización en el arte de construir, convirtiéndose en una de las mejores propagandas de la romanización. Obras de carácter público, como las Termas, el Anfiteatro y el Teatro de Itálica, serán la demostración plástica de la difusión adquirida de las técnicas constructivas romanas, quedando manifiesto que el arte de construir como en Roma era posible en todos sus territorios. La cultura romana mediante la difusión de sus sistemas constructivos unificaba también su imperio y globalizaba la arquitectura y la ingeniería civil, como identidad política¹²³.

- El tapial islámico comienza a ser empleado cada vez más en el al-Andalus debido a la economía que ofrecía frente a construcciones pétreas, a la oportunidad y aprovechamiento de recursos al alcance e indudablemente por la necesidad de defensa¹²⁴. El método se difunde y desarrolla amparado bajo estas premisas y no como una propaganda de su cultura.

Una cultura marcada por su carácter religioso que se funde con el poder político, donde el tapial supondrá más una manifestación de fortaleza frente al ataque que un signo de grandeza. Las murallas y torres de Sevilla construidas en época almohade pretendían no sólo ser intimidatorias por su fisonomía sino las primeras defensas activas y pasivas que tendrían frente al asedio cristiano. La arquitectura defensiva ejecutada en tapial será la fuerza motriz que impulse el desarrollo material y tecnológico de las estas fábricas murarías.

Imperio, pudiendo erigir así, y bajo dominación de Roma, ciudades enteras que recordaban por sus trazas la fisonomía de la metrópoli. Estas ciudades se convirtieron a su vez en otros tantos focos, desde los que irradiar una forma de entender la arquitectura acorde con las costumbres y usos romanos. Sin embargo, para aclimatarse a cada lugar esta manera uniforme de hacer debía perder alguna de sus características originales y subdividirse en una serie de escuelas, cuyos métodos formalmente distintos reflejan la infinita variedad de recursos y tradiciones locales.”

¹²² Manzano (2000:23): “Roma inventó la construcción industrializada y por oficios, y ello convirtió al arquitecto en un verdadero director de orquesta, similar al de nuestro tiempo.”

¹²³ Manzano (2000: 15-16): “La arquitectura romana constituye por sí, junto con el derecho –la *ius romana*- el más grande legado de Roma a la cultura de Occidente. Ningún pueblo tuvo una vocación arquitectónica y constructiva tan incardinada en su acción pública. La arquitectura fue la propia imagen plástica del Estado, que al conseguir unificar todo el entorno mediterráneo quiso y supo plasmarla en todos los pueblos conquistados, con una unidad de concepto compatible con la rica variedad forzada por la diversidad geográfica y por las tradiciones constructivas y materiales específicos de las distintas regiones.

Roma creó los grandes prototipos arquitectónicos que han sido base de la arquitectura occidental y esta plasmación de estereotipos está basada en un conjunto de tradiciones constructivas derivadas en la utilización de los materiales del *Latium* según viejas formulas ya adoptadas por los etruscos, y otras nacidas tempranamente a lo largo el fuerte impulso constructivo de la época republicana. Este periodo, especialmente los dos siglos anteriores a nuestra era, fueron el momento en que la arquitectura romana se constituye en colosal laboratorio de sí misma, ensayando tecnologías que permitieron la plasmación, de nuevas formas espaciales que, al crecer en tamaño, creaban exigencias constructivas que formaron la invención y puesta a punto de nuevos sistemas técnicos. Es un doble proceso, rapidísimo, que tuvo su cenit baja la larga dictadura de *Sylla*, en la cual cuaja definitivamente la teoría y la praxis de la arquitectura romana.”

¹²⁴ Azuar (1995:135): “Es decir, siempre resultará menos oneroso el construir un recinto amurallado con hormigón de tierra que con sillería: la tierra se encuentra en el lugar, no necesita su acarreo de canterías lejanas, etc; la fabricación de las tapias es una tarea casi sin especialización, al contrario de la sillería, que requiere de especialización y varios procesos de manipulación, ya sea en su extracción, talla y colocación.”

La importancia que adquiere Sevilla en estas épocas se manifestará en su desarrollo urbanístico, siendo el *opus caementicium* y del tapial islámico, las técnicas constructivas que favorecerán este crecimiento en gran medida. Fueron sistemas constructivos fruto de las necesidades políticas e históricas, de características sencillas y adaptables a las circunstancias y al entorno. Formas de construcción fruto de la oportunidad al alcance y del aprovechamiento máximo de los recursos disponibles.

Sin duda el momento político que atravesaron cada una de estas culturas fue diferente y estuvo marcado por la personalidad de estos pueblos. Los romanos mostraban descaradamente su poder con la grandeza y robustez de sus construcciones, mientras que el carácter intimista islámico primero protegía el territorio como defensa de su sociedad y reservaba el esplendor para sus espacios interiores donde sí vertían toda su capacidad artística.

10.2.- ANÁLISIS MATERIAL

El análisis de los distintos materiales que definen cada una de los sistemas constructivos en estudio se ha basado en la inspección visual realizada durante el estudio *in situ* en los enclaves elegidos y en la recopilación de datos obtenidos de documentación consultada.

La finalidad comparativa se establece a nivel básico y descriptivo, ya que para compararlos materialmente de manera exhaustiva debería ser objeto de un estudio determinado sobre muestras específicas y con una batería de ensayos y pruebas físicas y químicas concretas.

No es pretensión de este apartado arrojar datos empíricos sino mostrar como determinados materiales que componen las masas plásticas del *opus caementicium* o del *tapial islámico* afectaron a sus propiedades físicas (durabilidad, porosidad, docilidad, resistencia mecánica, etc.) y en consecuencia a un empleo masivo durante ciertos periodos históricos.

Compositivamente comparar el *opus caementicium* y el tapial islámico resulta a priori confrontar masas plásticas muy diferentes. Sin embargo comparten el uso de algunos materiales como son: la cal, ciertos conglomerantes (arenas y gravas de origen fluvial o cerámica triturada) y algunas adiciones (cenizas procedentes de la calcinación de la propia cal, de forja o carbón de madera), así como ladrillos, sillares y mampuestos.

Seguidamente se relacionan los materiales que ambas técnicas emplearon:

LA CAL

“La invención de la fabricación de una argamasa a partir de la cocción de una roca parece ser al menos tan antigua como el arte del alfarero, ya que en el sexto milenio se decoraron las paredes de la ciudad de Çatal Höyük con varios enlucidos de escayola, según parece, fue el Egipto del III^{er} milenio el primero en unir las piedras mediante una argamasa de yeso.” (Adam 2002:69).

Este material que permitió crear pastas con las que recibir otros materiales o ejecutar revestimientos desde la Antigüedad, cobra especial importancia durante la época romana¹²⁵, ya que su empleo se generaliza en el desarrollo de distintas técnicas constructivas, revestimientos y acabados.

El *opus caementicium* es un sistema constructivo definido materialmente por la alternancia de las capas de mortero de cal y de fragmentos varios, ejecutadas por tongadas apisonadas o sin apisonar. Realmente se asemeja a una fábrica de mampuestos, siendo un sistema bi-capa por tener que alternarse la disposición de mortero y fragmentos repetidas veces hasta completar el elemento a construir.

En su composición se advierte la importancia del mortero, realizado a base de la mezcla de áridos (conglomerantes), cal (aglomerante) y agua. La calidad del mortero de cal romano determina la calidad de este sistema constructivo. Como se ha advertido en apartados anteriores, la proporción de cal a añadir a la mezcla, según indicaciones de Vitruvio¹²⁶, era invariable (un volumen de cal) mientras que el resto de componentes, áridos y agua, podían alterar su proporción. Quizás la cal empleada en proporciones constantes permitió obtener morteros de similares características en cualquier región romana, desarrollar técnicas constructivas como el *opus caementicium* y generalizar su uso.

En relación a la materia compositiva del tapial más básico, cabe afirmar que realmente resulta aún más simple que la de *opus caementicium*. La argamasa para las tapias se componía de la mezcla de terreno arcilloso (aglomerante), arena y grava (conglomerantes) y agua. Prácticamente lo único que se precisaba era tener el material de naturaleza arcillosa al alcance y aglutinarlo con agua y áridos.

Sin embargo, la experimentación propia de la técnica del tapial indujo a incorporar a las arcillas grasas un desengrasante (paja o restos vegetales) y a las arcillas magras arena. Así el material arcilloso mejoraba sus condiciones de retracción cuando el agua de amasado se evaporaba, evitándose las fisuraciones de la masa por este efecto o bien proporcionar docilidad a la mezcla especialmente arcillosa.

Pero en el aumento de la calidad del sistema de fábricas murarias de tapial, también muestra importancia la adición a los aglomerantes de la cal. Este material le proporcionará mejores características físicas, como la dureza, mecánica, como un aumento en su resistencia a compresión y al desgaste o erosión por efecto de los agentes atmosféricos (humedad, lluvia, viento).

Las tapias de *Isbilya* desarrolladas desde época taifa se caracterizarán por el empleo de cal en su

¹²⁵ (Adam 2002:69): “La aportación fundamental de los romanos va a consistir en la utilización sistemática de la cal para preparar argamasas que unan las mamposterías careada en sustitución de la arcilla, obteniendo así una “cola” definitiva que permitirá la aplicación de la mampostería careada a construcciones mayores y, sobre todo, el desarrollo y la construcción de bóvedas cuyos arcos siguen siendo records.”

¹²⁶ Vitruvio (1981:37): “La proporción que debe tener la Arena con la Cal para que la Mezcla se buena, es tres parte de Arena de cava, ó dos de río ó de mar para una de Cal: y saldrá todavía mejor, si la Arena de mar ó de río se añade otra parte de Teja molida y bien cernida.”

masa siendo los porcentajes más elevados en la arquitectura militar que en la doméstica¹²⁷. Sin embargo, la tendencia de mejorar la tapia común adicionando cal para convertirlas en *aceradas* o *reales* es de origen norteafricano.¹²⁸

Gracias a la incorporación de la cal, ambas técnicas constructivas vuelven a encontrar un nexo común.



Fotografías 62 y 63: Presencia visible de nódulos de cal en muros de *opus caementicium* de la Casa de Exedra en Itálica (Santiponce) y en el tapial de Lienzos de la Muralla de Sanlúcar la Mayor.

¹²⁷ Graciani-Tabales (2008:144): “De este modo, en las construcciones domésticas, los porcentajes, muy similares entre sí, son medios-bajos: por ejemplo, en el Jardín Inglés del Alcázar de Sevilla (de fin del s. XI-principios del XII) 17,3 % de CaCO₃ y 13 % de cal en peso; en la vivienda del Barrio de San Juan de Acre (1200-1250), 15,6 % de CaCO₃. Sin embargo, en construcciones militares, pueden llegar a ser muy elevados; por ejemplo, en el Mirador Almohade de la Muralla de Marchena, alcanza un 45,6 % en la muralla, un 51,2 % en el almenado de barbacana y un 41,5% en el segundo recinto almohade.”

¹²⁸ Graciani-Tabales (2008:144): “Desde el punto de vista material, se evidencia una mejora de los tapiales de época norteafricana. Como desde la fase precedente venía siendo habitual en el área sevillana, no se trata de tapiales de tierra (*tapia*) sino de tapiales *mejorados*. La tendencia prenorteafricana más común, la de mejorar la argamasa con cal, es la que ahora se impone; será esto también lo que suceda en periodos posteriores y, en general, en todas las áreas geográficas que emplean esta técnica constructiva; por ello, se trata de tapiales *acerados* o *reales*.”

En los restos murarios ejecutados con cada una de las técnicas en estudio (Fotografías 63 y 64) se manifiesta la presencia de cal en sus masas. Comparten este aglomerante en su composición material. Sin embargo, el aspecto de un muro realizado con *opus caementicium* parece más compacto que el de una fábrica de tapial. Aunque son sistemas constructivos monolíticos ejecutados *in situ* y con características mecánicas similares a la piedra natural, la técnica constructiva islámica dependerá de más factores compositivos y de ejecución que la romana.

A priori el sistema del *opus caementicium* puede parecer más complejo que la técnica del tapial por la incorporación de la capa de fragmentos, pero realmente no lo es. Aunque el material básico del tapial es la tierra arcillosa, precisará una conjunción de factores como:

- La incorporación de la cal para mejorar sus cualidades resistentes y mecánicas.
- La adecuada proporción y adición de agua en la masa.
- El proceso de apisonado para conseguir fábricas compactas estables y duraderas.
- La utilización de un encofrado predeterminado.

En cambio, el *opus caementicium* solamente precisa de la fabricación de un mortero de cal de calidad para unir las capas depositadas de fragmentos contenidas entre sillares, ladrillos, maderas, por lo que su molde es más diverso y versátil.

LOS ÁRIDOS O CONGLOMERANTES

En relación a los áridos utilizados en ambos sistemas constructivos habrá que señalar la importancia del medio geográfico que influiría de manera específica en la selección de los conglomerantes a utilizar en la argamasa de tapias y en el mortero de cal para el *opus caementicium*.

Debido al carácter de aprovechamiento del entorno que tienen en común ambas técnicas constructivas, es indiscutible que también debió influir en su desarrollo aquellos materiales disponibles y procedentes de excedentes de fabricación o de la rotura (ladrillos, tejas, vasijas, canalizaciones), de desecho de operaciones de cantería generadas durante la talla de sillares o fruto del acarreo o expolio de construcciones anteriores.

Por tanto, no es sorprendente que en las masas de *opus caementicium* o de tapias de Sevilla estudiados, se observen arenas y gravas de origen fluvial, así como cascotes cerámicos triturados. Según Graciani-Tabales (2008)¹²⁹ compositivamente el tapial empleado en Sevilla durante la época

¹²⁹ Graciani-Tabales (2008:145-146): "En función de su composición material, en líneas generales, se observan dos variantes pues además de incorporar arcilla y cal, una incluye grava (media) y el otro cascote cerámico, siendo ambas, generalmente, calicestradas. En Sevilla, la primera variante, la ejecutada con grava media, cal y grava, se ha localizado en diferentes puntos de la muralla de Sevilla: en el muro oriental que hoy separa el Alcázar del Barrio de Santa Cruz (recinto I), realizada con zahorra; en la parte superior de la Muralla del Agua (de la segunda mitad del siglo XII), cuya fábrica de tapial es idéntica a la coetánea de la muralla de la Macarena (CAMPOS *et alii*, 1988); en los Jardines del Valle (GARCÍATAPIAL y CABEZA 1995); en los restos del Cabildo y de Menéndez y Pelayo (TABALES 2002a); también, en diferentes tramos de la ampliación Sur del Alcázar, de finales del XII, que fueron localizados en los sondeos IV y V realizados por Tabales Rodríguez (TABALES 2001a). De la segunda variante, la ejecutada con cascote cerámico, se han documentado ejemplos ya desde la segunda mitad del siglo XII y

almohade presenta dos variantes calicestradas, una con grava y otra con cascote cerámico (grande o menudo), utilizadas principalmente en el ámbito militar y palaciego. Diferencian estos de los tapias domésticos, donde apenas se empleaba cal y el conglomerante principal era el cascote cerámico menudo¹³⁰.

En los tramos estudiados de las murallas de Sevilla (Jardines del Valle y Macarena), de Sanlúcar la Mayor y San Juan de Aznalfarache se manifiestan el uso de la técnica del tapial calicestrado de grava, como una alternativa para la construcción de recintos defensivos de rápida ejecución y gran resistencia.



Fotografías 64: Tapia acerada con grava en tramos de la Muralla Almohade de Sevilla -Jardines del Valle-.

El aspecto visual que presentan estas tapias es muy similar respecto al tamaño del árido (grava) y la presencia de cal en la argamasa, mostrando cierta uniformidad respecto a la composición material, aunque se levantaran en distintas zonas y fechas. Esta aparente homogeneidad manifestaba el grado de sistematización de la técnica de tapial en estos recintos amurallados, aunque no es una constante general sino una variante, ya que también se empleó, como aglomerante, el cascote cerámico en otras

durante el XIII; entre ellos, la muralla primitiva de ingreso al Palacio de la Montería (s. XII, en el muro Este del actual Patio del León), los muros recientes del Palacio del Yeso (siglos XII-XIII) y los del Palacio de Crucero (siglos XII-XIII). La muralla aljama perimetral de la mezquita aljama (1172-1174) (Fig.8) responde, igualmente, a esta tipología.”

¹³⁰ Graciani-Tabales (2008:141): “...; las diferencias materiales detectadas están condicionadas —al igual que su espesor¹⁰— por el carácter militar o doméstico de la fábrica, estando mejoradas las de la primera mitad con cascotes cerámicos, árido natural (grava) y abundante cal, a diferencia de la fábrica de la Montería, en la que se utilizó cascote menudo.”

murallas como algunos tramos existentes en las del Patio del Príncipe, de la Galera y de la Cruz del Real Alcázar de Sevilla.¹³¹



Fotografías 65: Tapia acerada con grava en tramos de la Muralla Almohade de Sevilla -Muralla de la Macarena-.



Fotografías 66 y 67: Tapia acerada con grava en tramos de la Muralla Almohade de Sanlúcar la Mayor y San Juan de Aznalfarache.

¹³¹ Tabales (2001:98): “Las tipologías de tapias de época africana son las siguientes: 1. *Fábrica de tapial común de cascote grande de cajones bajos superpuestos* (II.3.d.1). ... Sirvan como ejemplo de esta tipología los restos hallados en la parte baja (+1,20 desde el suelo) de la muralla que hay en las traseras del Patio del Príncipe, de la Galera y de la Cruz (muestra 13) y que aflora incluso con dos torres. En este caso, es un tapial grisáceo, compuesto por grandes cascotes y abundante cal, aunque en su composición, a los áridos de machaqueo hay que añadir árido natral (grava)....”

LAS ADICIONES.

La experimentación y la diversidad de recursos al alcance según la zona geográfica introducirán variaciones en la masa del mortero de cal romano, con adiciones como la puzolana, cerámica triturada y cenizas de forja o madera. Aunque éstas fueron incorporadas para obtener distintas cualidades u objetivos relacionados con su puesta en obra. Dependiendo de la necesidad requerida por el elemento a construir o por el proceso constructivo se utilizaron para conseguir características hidráulicas, aligeramiento del peso propio de la masa y aceleramiento en el proceso de fraguado.

Entre las adiciones aportadas a la masa de las tapias de uso doméstico¹³² están el carbón de leña o cenizas procedentes de la forja, introducidas para acelerar el proceso de endurecimiento, aunque a costa de la pérdida de calidad resistente al incrementar la porosidad.

LADRILLOS, SILLARES Y MAMPUESTOS.

Estos materiales se introducirán en cada uno de los sistemas constructivos comparados por distintos motivos o necesidades:

- En el *opus caementicium*, trozos de ladrillo y sillares conformarán la capa de fragmentos, triturados se utilizaron como conglomerantes de la masa del mortero de cal, como capa de fragmentos y en piezas se convertían en moldes. Así quedará patente que el aprovechamiento de los recursos naturales o artificiales existentes en el entorno inmediato para construir con rapidez y eficiencia, fue la mejor fuente de inspiración para experimentar con la técnica. Combinando distintos materiales se originaría tan variaciones compositivas como necesidades y posibilidades se tuvieran para construir cualquier tipo de elemento constructivo o edificación y en cualquier territorio romano.
- En el *tapial* se emplearán los cascotes cerámicos como un tipo de conglomerante originando una variedad material en la argamasa de la tapia. Pero la introducción de ladrillos o mampuestos pétreos pondrá de manifiesto el grado de experimentación que alcanzaron estas fábricas para conseguir la mejora de las capacidades portantes y resistentes. Esta diversidad material de la técnica del tapial se originará durante la dominación almohade de *Isbilya*, donde las tapias alcanzarán el mayor avance compositivo y tecnológico, manifiesto sobre todo en la arquitectura defensiva¹³³; provocado

¹³² Graciani-Tabales (2008:141): “Aunque no se han caracterizado analíticamente los tapiales del patio del Yeso, la inspección visual evidencia también la incorporación de cal para la mejora de la argamasa; precisamente, la finalidad doméstica de la fábrica (frente al carácter defensivo de la de la ampliación del recinto) permitirá incorporar de forma intencionada cenizas que, como desengrasantes, favorecerían el secado de la fábrica y acelerarían su fraguado, sumando su efecto al de las impurezas generadas durante el proceso de cocción de la cal en el horno; pese a sus ventajas, una adición similar en fábricas de finalidad militar sería impensable ya que, al mismo tiempo, se incrementaría la porosidad de la fábrica que, en consecuencia, perdería calidad.”

¹³³ Tabales (2001:97): “Es precisamente a partir de la etapa almohade cuando prolifera la construcción de fábricas de tapial a todos los niveles, doméstico, religioso, público y, fundamentalmente –incluso desbancando a la construcción pétreo- el militar, generándose, en consecuencia, una mayor tipológica de fábricas de tapial en este periodo.”

por la búsqueda de la mejora estructural y de la agilización de su puesta en obra.

La variedad material utilizada en el *opus caementicium* existente en Itálica se puede apreciar en la gran diversidad en la composición material, así como de los encofrados empleados:

- TEATRO con muros del Cerro de San Antonio encofrados con madera y *opus caementicium* con restos de piedras o mampuestos pétreos (Fotografía 68).
- *TRAIANEUM* con cimentaciones con encofrado perdido de madera y permanentes de sillares, cuya masa de *opus caementicium* está ejecutada con restos de los sillares pétreos (Fotografías 69 y 70).
- TERMAS MENORES con fábricas murarias realizadas en *opus caementicium* donde el encofrado es de ladrillo y la capa de fragmentos de su núcleo está ejecutada con mampuestos pétreos. (Fotografía 71). En las cimentaciones de estos se ejecutaron empleando encofrados perdidos de madera.
- CASA DE LA EXEDRA con núcleo de *opus caementicium* ejecutado con bolos y donde el encofrado es de ladrillo (Fotografía 72).
- TERMAS MAYORES con cimentaciones y bóvedas encofradas con madera y muros con ladrillo, cuyo núcleo de *caementicium* fue ejecutado con trozos de mampuestos pétreos. (Fotografías 73 y 74).
- ANFITEATRO con bóvedas encofradas con madera recuperable y reutilizable y los muros con encofrados permanentes de ladrillo y de sillares. El núcleo de *opus caementicium* de estos elementos constructivos presenta fragmentos de la misma calidad de piedra que los sillares. Indica un claro aprovechamiento del desbaste pétreo (Fotografías 75 y 76).



Fotografía 68: Contrafuertes del muro superior occidental del Cerro de San Antonio-Teatro.



Fotografías 69 y 70: Cimentaciones en el *Traianeum*.



Fotografía 71: Cimentación y muros de las *Termas Menores*.



Fotografía 72: Muros en Casa de la Exedra.



Fotografías 73 y 74: Cimentación y Bóvedas de las Termas Mayores.



Fotografías 75 y 76: Bóvedas y muros del Anfiteatro.

10.3.- ANÁLISIS ESTRUCTURAL

El desarrollo estructural y tecnológico que alcanzaron las técnicas constructivas del *opus caementicium* y el *tapial islámico* está asociado a las necesidades y circunstancias por las que estos pueblos atravesaron durante la dominación de territorios foráneos e indudablemente a la propia experimentación en búsqueda de la eficiencia y economía.

Con ambas técnicas se consiguieron ejecutar elementos constructivos que se comportaban como macizos pétreos, es decir con comportamiento monolítico, compactos y con elevada resistencia a la compresión. Se obtenía resultados similares a la piedra natural, aunque ejecutada artificialmente *in situ* gracias al aprovechamiento de los recursos al alcance o del entorno y la experimentación.

La evolución estructural que comparten ambos sistemas tiene la particularidad de construir partes de una edificación (cimientos, muros o bóvedas) tan sólidas, resistentes y duraderas como si tratara de una obra ejecutada de naturaleza pétreo.

Estructuralmente el *opus caementicium* consiguió un alto grado desarrollo tecnológico en la construcción de la Antigüedad. La experimentación, versatilidad y sistematización de esta técnica encofrada permitió construir edificios al completo, desde la cimentación a las cubiertas, destinados a cualquier uso (público, civil, militar, doméstico) e incluso construir infraestructuras y obras de ingeniería.

Esta revolución en la construcción romana no sólo reside en la diversidad de elementos constructivos ejecutados sino en el grado de conocimiento que adquirieron del sistema. El *opus caementicium* se convirtió en una masa capaz de rellenar grandes cimientos en zanjas, pozos o plataformas, levantar potentes muros y estabilizar superficies alabeadas de cubrición. Curiosamente, un procedimiento que conseguía un producto compacto con características mecánicas que trabajaban por compresión simple y por peso propio gravitatorio, fue capaz de obtener incluso grandes cúpulas y bóvedas que por definición deben ser flexibles y soportar solicitaciones de tracción.

La construcción de estos elementos de cubrición fue el máximo desarrollo estructural que alcanzó el *opus caementicium*, ya que mediante la simple disposición horizontal¹³⁴ de hiladas alternas de mortero de cal con consistencia fluida y fragmentos, como si se tratara de la ejecución de un muro, sobre el correspondiente encofrado (cimbra y manto de la cimbra) se rellenada un espacio curvo o alabeado. Evidentemente éste fue el origen constructivo de las bóvedas y cúpulas, aunque por necesidades operacionales como:

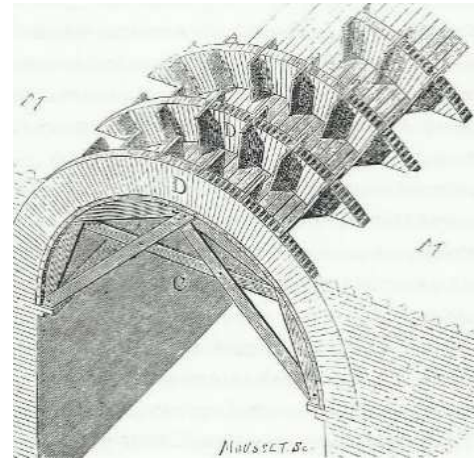
- El ahorro de moldes muy potentes que consumían mucha madera.

¹³⁴ Choisy (1999:29): "..., en una bóveda romana de hormigón la orientación de las juntas es siempre horizontal, ..."

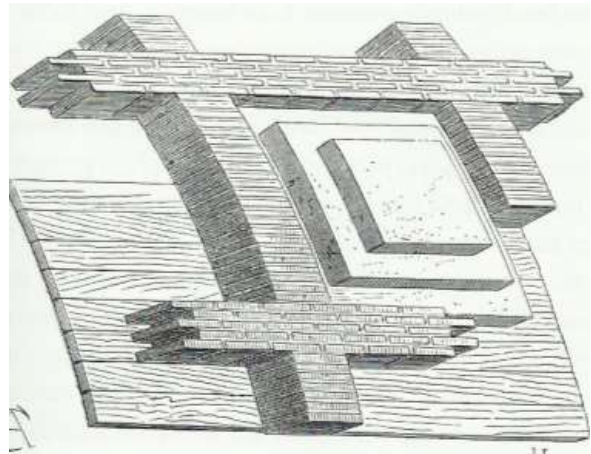
- La agilización de la puesta en obra.
- El aligeramiento del peso o la flexibilización de los elementos curvos o alabeados construidos con materiales tan rígidos y pesados como el mortero y los fragmentos.

Los principales avances estructurales se pueden resumir en la ejecución de:

- Nervios cerámicos en forma de arcos fajones o en cuadrículas embebidos en la curvatura (Imagen 23).



- Arcos tabicados realizados con material cerámico que sustituiría al manto de la cimbra (Imagen 24).



- Arbotantes y arcos tensores que conseguían descargar los esfuerzos horizontales de bóveda y cúpulas a los muros.
- Aligeramiento de la masa del *opus caementicium* introduciendo cerámica triturada o vasijas.

Semejante evolución estructural aún puede observarse en numerosos restos de edificaciones romanas dispersas por el territorio que ocuparon. Así en la zona de estudio como ha sido Itálica y concretamente en su anfiteatro se pueden comprobar cómo el *opus caementicium* relleno muros y bóvedas de variados tamaños y formas.

En este edificio lúdico romano se demuestra, desde las galerías hasta las gradas, que con mortero de cal y fragmentos de piedra dispuestos de manera ordenada y sistemática se podía construir

colosalmente y que incluso en aquellos muros donde el ladrillo o el sillar ha desaparecido, el *opus caementicium* ha sido capaz de perdurar al paso del tiempo y a la posterior acción humana.



Fotografías 77, y 78: Bóvedas del Anfiteatro de Itálica en Sala de tránsito a la tribuna del graderío Norte, en graderío oeste y sur.



Fotografía 79 y 80: Bóvedas del Anfiteatro de Itálica en las galerías subterráneas y en las galerías de acceso a la planta baja.

Los avances estructurales que se obtuvieron en el tapial islámico, tenían como objetivos principales el conseguir fábricas murarias cada vez más potentes y agilizar el proceso de ejecución. Debido a estos motivos surgen los tapias mixtos, como aquellos donde se introducen otros materiales como el ladrillo o la piedra que dispuestos en forma de fajas sobre o entorno a las agujas (tapias verdugados) o bien en cadenas (tapias encadenados) o pilastras reforzando los puntos más débiles o expuestos al deterioro como las esquinas, huecos de paso o encuentros entre muros.

Sin embargo a diferencia del *opus caementicium*, el desarrollo estructural que alcanza el *tapial islámico* no será igual en todos los territorios donde se utilizó esta técnica constructiva, dependiendo de:

- La diversidad material de cada zona invadida.
- La utilización en distinta proporción unos materiales u otros según la riqueza material existente en el entorno inmediato.
- La calidad y resistencia de estas fábricas dependerá del uso al que se fuera a destinar, no siendo igual de resistentes los muros de uso doméstico que los de defensa.

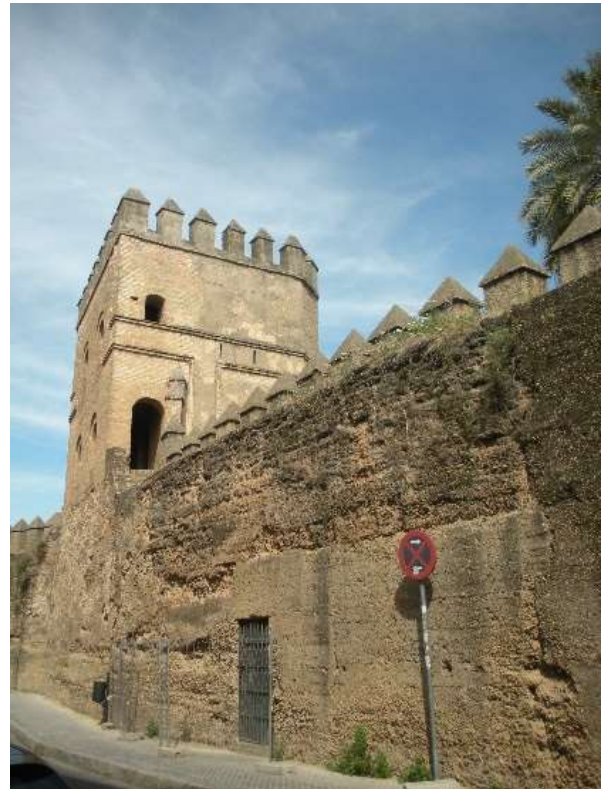
Tampoco debe obviarse que se inicia el uso del ladrillo a partir de época taifa y se generaliza¹³⁵ durante el periodo norteafricano (almorávide y almohade), potenciándose que los tapias evolucionaran asociados al momento histórico, región o materiales disponibles.

En Sevilla los cambios estructurales en los tapias se producirán durante la dominación almohade, dando lugar a las primeras soluciones mixtas (encadenada, verdugada o de fraga). Son el resultado del uso cada vez más generalizado de este sistema en todos los ámbitos, sobre todo en el militar, y la necesidad de crecimiento rápido debido al avance cristiano. La construcción de recintos amurallados y torres de esta época deben convertirse en auténticas fortalezas y la experiencia adquirida en la ejecución de tapias, les obligó a reforzar puntos singulares y más débiles.

Del estudio realizado se obtiene que tanto en torres de la Muralla del Valle como de la Macarena se utilizó el tapial verdugado de ladrillo. Y aunque no ha sido objeto de estudio específico en este trabajo de grado, la Torre del Oro es un ejemplo de mejora en los tapias islámicos con la intención de reforzarlos estructuralmente. Esta torre se construye como un avance de la muralla sobre el río para la vigilancia. Posee un cuerpo inferior ejecutado en tapial encadenado de sillares pétreos combinado con

¹³⁵ Navarro-Jiménez (2011: 102-103): “La generalización del uso del ladrillo a partir del siglo XII está documentada en buena parte de al-Andalus⁷⁶, aunque conviene, no obstante, matizar esta afirmación debido a la permanente regionalización, o incluso localismo, que impregnó en mayor o menor medida a las producciones artesanales y también a la arquitectura andalusí. En algún caso, la razón fue el aprovechamiento de los recursos que en forma de materiales proporcionara el entorno de los diferentes asentamientos; así por ejemplo, en las viviendas de la Zaragoza islámica abunda el alabastro y se le emplea en los umbrales. En esta última ciudad y en Córdoba también se utiliza el mármol para el mismo fin, fruto del expolio y reutilización de las construcciones romanas. En otros lugares en donde había abundancia de piedra, ésta se siguió utilizando en mayor o menor medida pese a que en general su uso se encontraba en decadencia. Un ejemplo de ello lo encontramos en Orihuela, ciudad que cuenta con excelentes canteras de caliza y calcarenita en sus inmediaciones que, según hemos podido atestiguar, continuó empleándose pródicamente hasta el momento de la conquista, a mediados del siglo XIII.”

tapial verdugado latericio.



Fotografías 81 y 82: Torres de la Muralla del Valle y Macarena de tapial verdugado de ladrillo



Fotografía 83: Torre del Oro de tapial encadenado de sillares pétreos en cuerpo inferior combinado con tapial verdugado de ladrillo.

Aunque el *opus caementicium* comparte con el tapial, la diversidad de materiales a emplear en sus masas compositivas, estructuralmente el procedimiento romano es mucho más uniforme y sistemático.

El sistema siguió siendo el mismo incluso cuando el uso generalizado dio lugar a una gran diversidad de fábricas (*opus incertum*, *testaceum*, etc) o cuando se introdujeron elementos estructurales o materiales de aligeramiento en las superficies alabeadas.

Sin embargo, en el tapial al introducir fajas y/o cadenas cerámicas o pétreas se estaba alterando no sólo su aspecto material sino también su capacidad portante.

La diferencia estructural entre estos sistemas constructivos residirá en el comportamiento mecánico, por ello:

- El *opus caementicium* se comporta siempre como un material monolítico. Mecánicamente es una masa continua a la que inadecuadamente a veces se le ha calificado de hormigón romano¹³⁶ por la excelente calidad y resistencia. Puede utilizarse en elementos sometidos a compresión simple (cimientos y muro) o a flexión (bóvedas y cúpulas).
- Con la creación de los tapiales mixtos se perdía el monolitismo quedando alterado al introducir materiales dispuestos en zonas y puntos determinados. Las tapias mixtas ya no son uniformes en su comportamiento, como sí ocurría en las comunes, siendo las cadenas y verdugadas responsables de refuerzos estructurales, de la mejora del asiento entre cajones y de la agilización del proceso constructivo. Aunque también convierten a estos muros en heterogéneos y expuestos a nuevas deformaciones, solicitaciones y asientos diferenciales¹³⁷ provocados por la incorporación de materiales con diferentes coeficientes de dilatación térmica (ladrillos y piedra) a los de argamasa.

Comparativamente una fábrica muraria de *opus caementicium* y una de tapial común calicastro son muy similares, una vez endurecidas se convierten en un bloque material con características mecánicas similares a la piedra natural.

Pero al comparar este sistema romano con el de tapial mixto aparecen diferencias ya que el *caementicium* sigue comportándose como un macizo homogéneo mientras que las tapias mixtas están

¹³⁶ Adam (2002:82): “Existe, sin embargo una diferencia entre el hormigón de las construcciones romanas y el hormigón moderno que estriba en la preparación: el hormigón romano es una mezcla de mortero y de cascajos que se realiza en la pared, mientras que el hormigón moderno es una mezcla de morteros y de cascajos preparada por adelantado y que se pone en obra entre los encofrados, sin añadir otros materiales posteriormente.

¹³⁷ Graciani-Tabales (2008-136): “El *tapial común o simple* es aquel en el que los cajones se superponen sin ningún elemento de otro material que los articule, por lo que la fábrica actúa monolíticamente y como un todo homogéneo.

Por el contrario, el *tapial mixto* incorpora un material de fábrica pétreo o latericia, con un doble objeto; por un lado, facilitar y acelerar el proceso constructivo; por otro, fortalecer mecánicamente la estructura, otorgando a la fábrica una estructura heterogénea, con diferentes comportamientos mecánicos según el material conformante, de modo que la fábrica queda expuesta a posibles asientos diferenciales.”

expuestas a distintas deformaciones dependiendo de los nuevos materiales introducidos que tienen que trabajar al unísono con la masa de tapial.

Los refuerzos en cadenas de ciertas zonas (esquinas, rincones, huecos de paso, etc) de los tapias mixtos mejoran la resistencia de los puntos débiles, pero precisarán de materiales de conexión o puente de unión, como el mortero de cal, entre el cajón de tapial y el machón de sillar o de ladrillos. Se obtendrán fábricas muy resistentes y duraderas pero expuestas a nuevas deformaciones y un comportamiento heterogéneo.

10.4.- ANÁLISIS CONSTRUCTIVO

El proceso constructivo del *opus caementicium* y el *tapial islámico* presentan algunos nexos de unión, pero igualmente que en restos de análisis planteados también sobre todo divergencias.

En común ambos sistemas constructivos se ejecutan *in situ* con material en estado plástico depositado por tongadas horizontales, comprendidas entre 10 a 15 cm, y precisan de un encofrado o molde que contenga las masas mientras endurecen.

Sin embargo, existen numerosas diferencias:

- El *opus caementicium* no precisa de una selección previa del material, basta con disponer sobre la capa de mortero de cal, la capa de fragmentos que incluso puede ser de variada naturaleza. En cambio, en el tapial hay que seleccionar la tierra, desprenderla de materia orgánica, dependiendo de la materia arcillosa agregarle desengrasantes (pajas o fibras vegetales) o arena si son muy magras, realizar una operación de mezclado o batido donde el aporte de agua es determinante. El exceso facilitará la operación de apisonado, pero afectará a la porosidad de la masa. Y la falta de agua en la mezcla puede provocar que no se compacte adecuadamente por la baja docilidad, originándose oquedades por no quedar sus componentes suficientemente aglomerados.
- En el *opus caementicium*, el mortero de cal es imprescindible pues es el material de unión entre las capas. En el *tapial islámico*, la adición de cal creará un tipo de tapia, las aceradas, que mejoraran la capacidad resistente y de durabilidad de la fábrica. Sin embargo, pueden ejecutarse tapias sin cal.
- Existen *opus caementicium* apisonado o no y será la no obligatoriedad de realizar la operación de apisonado lo que diferenciará claramente la puesta en obra frente al tapial, que si precisa de esta operación para alcanzar la resistencia, compacidad y durabilidad.
- La argamasa del tapial siempre precisa de la operación de mezclado y batido previo antes de ser depositado por capas, en cambio el *opus caementicium* sin apisonar es simplemente depositado. Es interesante destacar que en la técnica romana no se realiza una mezcla previa de todos sus materiales compositivos. La mezcla entre las capas sólo puede originarse durante el proceso de

ejecución por la acción del apisonado o por el propio peso de los materiales dispuestos por capas, pero nunca previamente al él.

- En los tapias mixtos, el procedimiento constructivo precisará de un replanteo previo de los machones o hiladas para posteriormente poder ejecutar el tramo de tapia y en los simples o comunes pueden realizarse de manera continua, creando juntas de trabajo o por tramos. En el *opus caementicium*, el proceso de ejecución es siempre homogéneo hasta completar el elemento a construir.
- El *opus caementicium* empleó diversidad de moldes u hormas (sillares, ladrillos, madera) que podían ser perdidos, permanentes, recuperables y/o reutilizables. En cambio, el tapial precisaba de un encofrado concreto, recuperable y reutilizable. La necesidad de este artilugio supone el ejemplo más evidente de la construcción encofrada como una técnica. Fue el responsable de la sistematización de esta técnica e incluso de la creación de un oficio específico, el de tapiador. También supuso un avance estandarizado en los procedimientos de construcción *in situ*. Y aunque el *opus caementicium* creó un método adaptable para construir cualquier elemento constructivo de una edificación, el tapial manifiesta el desarrollo de las fábricas de tierra apisonada hasta el punto de convertirse una tipología específica.
- Para mejorar la durabilidad y la resistencia a la erosión que podían provocar los agentes atmosféricos, las fábricas de tapial debían ser dotadas de un revestimiento continuo, normalmente enlucido de mortero de cal. En el *caementicium*, el propio encofrado permanente (sillares o ladrillos) ejercía la función de revestimiento. Pero si este desaparecía o el molde era recuperable como en las superficies alabeadas, no se encontraba afectaba la durabilidad del elemento. El acabado de las superficies respondía a una cuestión práctica, estética y/o decorativa.
- Como sistema constructivo el *opus caementicium* fue muy empleado durante los periodos de mayor dominación romana, debido a que a través de la arquitectura también se manifestaba la organización política, social y económica, como símbolo de identidad. Cuando el imperio romano se desmembró también se originó el desuso de sus procedimientos constructivos desarrollado durante siglos. La sencillez de método estuvo secundada por la planificación controlada por los constructores romanos que obedecían a un estado totalitario y globalizador, luego cuando se produjo su caída también cayeron las bases que lo habían propiciado. Por el contrario, el tapial islámico difundido en gran parte del territorio de al-Andalus, siguió empleándose tras la conquista cristiana. Entre las causas que motivaron la continuación de su empleo, es destacable la islamización que el pueblo hispano¹³⁸ había sufrido durante siglos de dominación y que gran parte de la

¹³⁸ Tabales (2000:1079). "...el pueblo hispanoromano, con sus propias peculiaridades desde etapas ibéricas, es el protagonista de la arquitectura islámica, ya que en dos siglos abrazará casi completamente la nueva religión, que, como ya dijimos, establece algunos preceptos

población islámica permaneció en la Península una vez reconquistada ésta.

Adaptada a nuevas necesidades, pero mantenida en esencia, la técnica del tapial sufre ligeras variaciones en su módulo o altura de cajón, en la calidad de la argamasa y en un desarrollo mayor de las fábricas mixtas, manifestándose su empleo desde la época mudéjar hasta incluso época contemporánea.

Mientras que el empleo del *opus caementicium* desapareció como se derrumbó el imperio romano, el tapial islámico hizo resurgir la ancestral construcción en tierra apisonada convirtiéndola en una técnica encofrada, perdurable en el tiempo, a otras culturas y sociedades.



Fotografía 84: Vista de distintos elementos constructivos (muros, arcos y bóvedas) del Anfiteatro de Itálica ejecutados con *opus caementicium*.



Fotografía 85: Detalle de torre del recinto amurallado de Sanlúcar la Mayor (Sevilla) ejecutados con *tapial*

formales cuya influencia sobre la arquitectura clásica fue sobre todo funcional y ornamental, pero escasamente constructiva. Se trata pues del mismo pueblo, que una vez islamizado, mantiene su propia tradición abriéndose a las nuevas influencias orientales.”

Del estudio de campo realizado sobre el Conjunto Arqueológico de Itálica y en algunos tramos de los recintos amurallados de Sevilla, Sanlúcar la Mayor y San Juan de Aznalfarache se extrae que ambas técnicas constructivas fueron desarrolladas siguiendo los procedimientos establecidos y bajo los criterios de máximo aprovechamiento de recursos gracias a la planificación de los trabajos de obra.

De la observación de los encofrados de los muros del cerro de San Antonio del Teatro y de las bóvedas del Anfiteatro de Itálica, se deduce que debieron ser objeto de cierta estandarización. En los muros, las dimensiones en altura de las tablas de la entibación permanecen constantes, aproximadamente 30 cm (un pie romano), y su disposición horizontal manifiesta la organización metódica de los trabajos de contención de tierras. Al igual sucede en las dimensiones de los moldes de las bóvedas de las galerías interiores de la planta baja del Anfiteatro. Las huellas muestran el proceso de reutilización al repetirse la altura de las tablas variando entre 20 a 21 cm y las longitudes siguen la traza y diseño de las curvas, en todo el recorrido.

Así mismo en los recintos amurallados de época almohade, se manifiestan la correspondencia métrica con módulos del cajón con alturas comprendidas entre 85 a 90 cm, corridos en la ejecución de torres y con características materiales similares (tapial común calicastro de grava). Pero hay otros parámetros dimensionales y formales que no presentan correspondencia, como la longitud de los tramos, la forma de la aguja, la separación entre ellas y número, incluso el número de tablas del costal.

En la Sevilla romana y luego islámica, las técnicas del *opus caementicium* y del *tapial islámico* fueron fieles a sus parámetros generales demostrando una estandarización de los procedimientos de ejecución basados en aprovechamiento de recursos, adaptación al medio y al uso, proporcionando la agilización de puesta en obra y obteniendo elementos constructivos resistentes y duraderos.

Analizados estos sistemas constructivos a partir de sus condicionantes socio-históricos, composición material, características estructurales y procedimiento constructivo además de obtener valores sobre técnicas de construcción encofradas, se consigue alcanzar también un acercamiento al conocimiento de la cultura de los pueblos que las utilizaron.

11. Conclusiones y líneas futuras de investigación

El estudio sobre EL ENCOFRADO: ORIGEN DE TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS ROMANAS E ISLÁMICAS planteado, merece una reflexión argumentativa de todos aquellos datos consultados y vertidos sobre este documento.

La información y los fundamentos teóricos, técnicos y prácticos expuestos sobre estos moldes, las técnicas constructivas que los emplearon y las características materiales que definían los elementos constructivos, han sido necesariamente imprescindibles para la comprensión de la importancia que supuso el uso de técnicas encofradas en el desarrollo edificatorio de las culturas romana e islámica.

El análisis comparativo ha permitido confrontar dos sistemas constructivos muy particulares y sencillos que ofrecían numerosas ventajas, siendo fruto de las circunstancias por las que atravesaron estas sociedades en un periodo de tiempo determinado. Comparten el empleo del encofrado como elemento auxiliar y fundamental para construir rápida y económicamente, aunque también existen diferencias tanto materiales como formales.

11.1.- CONCLUSIONES

En las siguientes líneas se sinteriza las similitudes y divergencias que existieron entre el opus caementicium y el tapial islámico, con la intención de generar una visión general del valor que alcanzaron estas técnicas constructivas para cada uno de estos pueblos. Y también se pretende dar respuestas a los interrogantes planteados al inicio de la investigación:

- ¿Qué civilización o pueblo comienza a emplear los encofrados por primera vez?
- ¿Qué convierte su uso en necesario para el desarrollo de la arquitectura y forma de construir en culturas del pasado?
- ¿Cómo se extiende el empleo de técnicas constructivas encofradas?
- ¿El uso del encofrado intervino en la sistematización de procesos constructivos?
- Constructivamente ¿Qué propiedades y posibilidades ofrecía su uso?
- **La necesidad de ocupación, crecimiento y defensa.**

Cuando los romanos inician su política de expansión y colonizadora advierten que precisan construir con sistemas que ofrezcan sobre todo mayor rapidez y economía.

Las influencias griegas relativas al uso de materiales como el mortero o de la técnica del *emplecton* les inducirán a modificar la construcción tradicional que estaban empleando mediante el uso de grandes sillares pétreos.

La observación y la necesidad agudizaron el ingenio romano, comenzando a cimentar y a rellenar los núcleos interiores entre grandes sillares con un método sencillo, consistente en la

preparación de un mortero de cal sobre el que dispondrían fragmentos de piedras y de cerámica en capas alternas hasta completar el elemento en construcción. Pronto son conscientes de las múltiples ventajas que ofrece esta técnica, surgiendo así el *opus caementicium* como un sistema constructivo fácilmente exportable a cualquier territorio y símbolo de la identidad constructora de Roma.

En el mundo islámico sucede de manera casi análoga, pero con la técnica constructiva del tapial. Desde que invaden la Península Ibérica (711 d.C) se inicia el asentamiento y también tuvieron las mismas necesidades de ocupación y crecimiento.

Comienzan aprovechando las tradiciones constructivas pasadas y propias del territorio invadido que se basaba en el empleo materiales procedentes del acarreo de sillares y en la ejecución de fábricas mixtas (época emiral y califal).

Pero la inestabilidad política interna (caída del califato y crecimiento de los reinos taifas), la invasión de convecinos norteafricanos (almorávides y almohades) y el avance reconquistador cristiano, también potenciara la necesidad de defensa. Todo ello hará resurgir la técnica de tapial por ser un método simple, económico y ágil basado en la construcción de tierra apisonada.

Tanto los constructores romanos como los islámicos tuvieron como clave fundamental para el desarrollo del *opus caementicium* y de las fábricas de tapial, la necesidad de ocupación, crecimiento rápido y defensa de los territorios invadidos. Abocándolos a modificar las tradiciones constructivas empleadas con anterioridad para construir con los recursos disponibles y con métodos más sencillos y eficaces.

- **El encofrado, elemento auxiliar que potenció el desarrollo de técnicas constructivas.**

En el desarrollo constructivo mediante *opus caementicium* o tapial, el molde fue fundamental e imprescindible para que estas técnicas alcanzaran la relevancia que nos han transmitido a través del tiempo, sus edificaciones.

Los romanos emplearon hormas de todo tipo: perdidas como las maderas empleadas en las entibaciones de cimentaciones, permanentes mediante sillares o ladrillos en la ejecución de muros y recuperables y/o reutilizables en superficies alabeadas (bóvedas y cúpulas).

Sin duda el empleo de los encofrados contribuyó al desarrollo la arquitectura y la ingeniería civil romana, pues permitía disponer de manera ordenada y sistemática materiales en estado plástico que adquirirían tras su endurecimiento cualquier forma y diseño, al tiempo que obtenían elementos constructivos tan resistentes, sólidos y duraderos como la piedra.

El uso de distintos materiales empleados como moldes también imprimió diversidad, generalizado la utilización del *opus caementicium* en la ejecución de edificios al completo, desde la

cimentación a las cubiertas.

Sin embargo, la dependencia de encofrados realizados en madera para superficies alabeadas provocará la evolución de la técnica caementicia. El material maderero no siempre se encontraba disponible y en la búsqueda de su ahorro, se introducen cambios en la ejecución del *opus caementicium* para conseguir construir bóvedas y cúpulas con el menor número de cimbras recuperables. Introducen nervios estructurales (Imágenes 23 y 24) ejecutados con material cerámico (ladrillos de diversos formatos) que se convierten en moldes permanentes, aligeran el peso de los materiales compositivos incluyendo cerámica triturada y piedras o cenizas de origen volcánico, sustituyen la madera de cimbras y sus mantos (Imagen 25) moldeando con piezas cerámicas (bóvedas tabicadas), racionalizan la tablas del manto de las cimbras (Imagen 26), ingenian cimbras móviles (Imagen 27) e incluso dispondrían dentro de las masas de *caementicium* recipientes cerámicos huecos como vasijas.

En detrimento del desarrollo de los métodos encofrados se produjo la gran revolución en la construcción romana. El *opus caementicium* pasó a ser material de relleno de todos los elementos constructivos de una edificación donde las distintas formas de en moldar originará una gran diversidad de fábricas (*opus incertum* -Imagen 20-, *opus reticulatum* -Imagen 21-, etc), así como el gran avance estructural de superficies curvas romanas que los convirtieron en únicos e innovadores en el arte de construir de la Antigüedad.

En la construcción de muros de tapial, el encofrado fue siempre un elemento necesario, siendo responsable directo de la sistematización de la ejecución de fábricas murarias de tierra apisonada. Sin molde no existiría esta técnica, ya que entre las características que diferencian la construcción de fábricas de tierra mediante la simple disposición capas y la de tongadas apisonadas, es precisamente el cajón. Sin este elemento auxiliar no habría sido posible realizar la operación de apisonado que es la que se confiere compacidad a la argamasa y por tanto la mejora de sus capacidades portantes, resistentes y duraderas. Al ser recuperable y reutilizable a la vez que desmontable permitió ejecutar muros de manera continua o por tramos, de cualquier dimensión respecto a su anchura y al que se le podían incorporar machones, cadenas, fajas o verdugadas de materiales pétreos o cerámicos con los que obtener fábricas más resistentes en sus zonas débiles (esquinas, encuentros y huecos o vanos) al tiempo que se agilizaba la puesta en obra.

El uso generalizado del tapial, sobre todo a partir de la época almohade (1148-1248), como sistema encofrado de fábricas murarias potenció el crecimiento constructivo ya que era aplicable a cualquier uso (doméstico, civil, religioso y militar) e intervino en el resurgir de la construcción en tierra. Precisamente al difundirse su empleo en cualquier ámbito de la sociedad islámica del al-Andalus, se favoreció la experimentación variando, tanto la materia compositiva como el molde, en

función de los recursos disponibles en cada zona y a las necesidades de cada momento. La adaptación imprimirá diversidad a las tapias y al procedimiento constructivo, introduciendo ingeniosamente piezas (Imágenes 29 a 33) y métodos de atirantado que estabilizarán el cajón, obteniendo el máximo rendimiento de la horma para construir tapias cada vez más potentes.

Es evidente que la técnica del tapial quedará definida por su molde. Gracias a él, se podía realizar la operación de apisonado, imprescindible para conferirle compacidad a la argamasa, y en consecuencia mejorar las características de resistencia y durabilidad de las fábricas de tierra.

- **Las técnicas encofradas también permitieron el aprovechamiento de recursos materiales y humanos.**

Aunque en apariencia los sistemas de ejecución en estudio y los encofrados empleados en cada una de las técnicas constructivas citadas, son dispares e incluso contrapuestos en algunos aspectos, tienen nexos de unión como la necesidad de ocupación territorial y el aprovechamiento de los recursos materiales y humanos a su alcance.

El *opus caementicium* y el tapial tiene en común que son sistemas constructivos que utilizaron los materiales disponibles y localizables en cualquier entorno inmediato, como la tierra, los áridos e incluso restos o desechos pétreos o cerámicos. La optimización de los recursos materiales más básicos potenciaría que la construcción se convirtiera en una manifestación más de la expansión y crecimiento de estos pueblos. La diversidad material será unas características de estos sistemas, diferentes según la zona geográfica y época pero que respondían a un sistema invariable de puesta en obra planificado y ordenado.

También compartirán la sencillez de los procedimientos constructivos que no precisaron de mano de obra cualificada. Los operarios realizaban labores basadas en el aprovisionamiento y acopio de la materia prima, áridos de distintas granulometrías, tierra de naturaleza arcillosa, cal, fragmentos pétreos fruto del acarreo y del desbaste, restos cerámicos de los excedentes de fabricación, del expolio, de la reutilización y de las roturas. Tras seleccionar los materiales, se elaboraba el mortero de cal para el *opus caementicium* y la argamasa para las fábricas de tapial. Únicamente era necesario disponer el molde para proceder a una puesta en obra muy simplista consistente en el vertido de mortero de cal y colocación de fragmentos varios en capas alternas para construir en *opus caementicium* por compresión o no y al vertido y apisonado por tongadas de la argamasa en los muros de tapial.

Sin más preparación que la de conocer las fases del sistema constructivo, cualquiera podía ejecutar *opus caementicium* o tapial. Precisamente la falta de especialización de la mano de obra y la gran disponibilidad de recursos humanos originado tras la dominación, favoreció que ambas técnicas se desarrollaran en cada uno de estos pueblos.

- **Sencillez, economía y rapidez propiciaron la estandarización de los sistemas constructivos encofrados.**

El opus caementicium y el tapial comparten numerosas ventajas. Permitieron construir de manera sencilla, económica y rápida, optimizando los recursos humanos y materiales al alcance. Ambos sistemas constructivos eran versátiles y adaptables a formas, espesores y a cambios compositivos en sus materiales y estructuras.

Unido a la experimentación generada por la generalización de su uso consiguieron la estandarización de los procesos y técnicas constructivas y en ambos casos se trataba de la ejecución de elementos encofrados.

Gracias al uso de moldes, la construcción romana e islámica permitió planificar y organizar las distintas fases y tareas de la puesta en obra, para obtener el máximo rendimiento. Mientras grupos de operarios se dedicaban a las labores de acarreo y selección de los materiales compositivos, otros preparaban las masas y otros se dedicaban a la ejecución. Se obtiene una planificación de operaciones y la organización de la mano de obra no cualificada con lo que se estandarizaría tanto el acopio de materias primas como la puesta en obra. En consecuencia, se reducen los costes materiales y humanos a la vez que se aceleran los procesos constructivos.

Dado que el opus caementicium y el tapial no necesitaba de operarios especializados y materiales específicos (ladrillos o sillares), la construcción se simplificaba, era más barata y también más ágil. No necesitarán la existencia cercana de canteras, ni de grandes bosques donde obtener madera para poder construir edificios, ni siquiera producir cerámica. Ahora sólo era primordial organizar las tareas y aprovechar el entorno inmediato, siendo así como estandarizaron la construcción y generalizaron el uso de estos sistemas constructivos encofrados.

- **¿Se produjo la estandarización de los moldes?**

La respuesta a este interrogante es una de las motivaciones que también han impulsado este trabajo. Numerosos son los investigadores y estudiosos que se han interesado por las técnicas constructivas del pasado, consiguiendo valiosas aportaciones sobre materiales, sistemas y procedimientos constructivos, y demostrándose que los mayores avances originados en la arquitectura e ingeniería están asociados a épocas de desarrollo económico y a políticas invasivas.

El uso del encofrado en la construcción romana e islámica es una muestra más del avance constructivo que alcanzaron estas culturas. Gracias a estas hormas o cajones se potenció la estandarización de técnicas constructivas como el *opus caementicium* y el *tapial*.

El recorrido realizado a través de las fuentes consultadas y del trabajo de campo en Itálica, Sevilla, Sanlúcar la Mayor y San Juan de Aznalfarache demuestran que las huellas e improntas de

los encofrados son todavía un importante referente de información pendiente de un minucioso estudio.

Las edificaciones y yacimientos que han sido estudiados en Sevilla y su entorno han arrojado datos claros sobre la posible estandarización de los moldes empleados en la ejecución de *opus caementicium* y *tapial islámico*, tales como:

- Se ha comprobado que, en los muros del cerro de San Antonio del Teatro romano de Itálica se emplearon tableros de madera de alturas constantes de aproximadamente 30 cm (un pie romano=29,7 cm) pero con longitudes variables e imposibles de determinar. Estos debieron estar unidos, rigidizados o sujetos con maderos (costales) de secciones (25 x 15-20 cm) más potentes en las zonas sometidas a mayores solicitaciones de empujes del terreno (muro superior occidental) que en las menos expuestas (contrafuertes con maderos de 14 x10 cm o muro sur e inferior occidental de 10 x10 cm). Todo ello demuestra claramente que responden a una lógica constructiva y a una planificación de las operaciones de corte y seccionado de los piezas que conformaron el encofrado-entibación de esta construcción monumental e induce a asentir que los moldes romanos de estas cimentaciones fueron preparados de manera estándar.

Ello ha llevado incluso a planear una hipótesis sobre un módulo de encofrado, el cual pudo ser empleado en la construcción de los muros inferior y superior occidentales del Cerro de San Antonio anexo al Teatro romano de Itálica (Ver Anexo 13.3).

- Igualmente las comprobaciones realizadas en distintos edificios del Conjunto Arqueológico de Itálica, demuestran la sistematización en la ejecución de la técnica del *opus caementicium* aunque las dimensiones más empleadas de tableros y costales en las cimentaciones de las Termas Mayores (tableros de 80 a 102 x 22 cm y costales de 14 a 17 x 10 a 14 cm), Menores (tableros de 90 a 105 x 21 a 24 cm y costales de 18 x 10 cm), y *Traianeum* (tableros de 90 x altura sin determinar cm y costales de 22 x17 cm), son variables pero solo ligeramente dispares.
- El edificio que muestra más claramente la homogeneidad en la confección de encofrados, es el Anfiteatro. Las tablas que formaron el manto de las cimbras de las bóvedas de las distintas galerías tienen dimensiones constantes en altura (20 a 21 cm en bóvedas de las galerías de planta baja y 20 a 24 cm en el resto) y de longitudes variables en función del desarrollo curvo. Esto viene a demostrar que responden a procesos de reutilización de los encofrados siendo posible admitir que sus dimensiones fueran preestablecidas a propósito.

Todo ello podría demostrar que los encofrados utilizados en cada una de las técnicas estudiadas son fruto de cierto oportunismo en función de los recursos disponibles, de la importancia de la obra a

ejecutar que precisaba mayor organización y la planificación de tareas e incluso de la versatilidad que el opus caementicium y el tapial comparten como característica. Sin embargo, aunque son respuestas muy evidentes, no pueden considerarse como definitivas.

11.2.- LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Todo el proceso de estudio, consulta, indagación y análisis realizado en este Proyecto Fin de Grado podría ser la llave para otras vías de investigación futuras.

La autora ha pretendido con este estudio realizar un avance relacionado con el mejor conocimiento de técnicas constructivas que fueron empleadas en la construcción de gran parte de nuestro patrimonio histórico, que aún siguen arrojando datos y podrían ser fuente de nuevas hipótesis.

Se destacan las siguientes líneas investigativas:

LÍNEA 1: CONTINUACIÓN DEL ESTUDIO AMPLIANDO EL ÁMBITO GEOGRÁFICO

EL ESTUDIO SOBRE EL USO DE TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS ENCOFRADAS ROMANAS E ISLÁMICAS EN SEVILLA DEL ENCOFRADO EN EL ÁREA DE SEVILLA (desarrollado en apartado 9 y anexos del PFG) ha venido a corroborar cierta sistematización de las técnicas constructivas que los emplearon. Pero también ha mostrado que los moldes o encofrados merecen más atención debido a la información que aún arrojan sus huellas.

También a través del estudio de los métodos constructivos se puede llegar a valorar el desarrollo de sociedades, considerando que, si la historia de la arquitectura muestra las tendencias artísticas de un pueblo, la construcción puede informar sobre las necesidades de crecimiento, desarrollo y/o defensa, el grado de organización socio-económica e el nivel tecnológico alcanzado.

Todo ello ha dejado de manifiesto que analizando elementos o sistemas constructivos se obtiene una valiosa fuente de datos y de consulta para disciplinas distintas a la Arquitectura e Ingeniería, como la Antropología, la Arqueología y otras ramas humanísticas.

El valor de los estudios sobre métodos, técnicas o procedimientos constructivos abre sin lugar a dudas novedosas líneas de investigación y de trabajo multidisciplinar donde el personal técnico en Edificación tiene mucho conocimiento que aportar.

Permitirá ampliar el conocimiento sobre sociedades pasadas, las causas que motivaron su expansión en determinados territorios o espacio temporal, también surgirán nuevas respuestas, perspectivas o consideraciones que al mismo tiempo mejorarán indirectamente y a futuro su posible puesta en valor que es una apuesta por la conservación del patrimonio heredado.

Sin duda un estudio más amplio, extensible a otras zonas geográficas y asociados a una cronología concreta pueda determinar que los encofrados fueron fruto de un proceso de estandarización.

LÍNEA 2: RESURGIR DE LA CONSTRUCCIÓN EN TIERRA APISONADA Y TAPIAL.

Actualmente hay un interés especial y justificado por desarrollar tecnologías, sistemas y métodos constructivos o relacionados con la eficiencia energética. En el Grado en Edificación se forma a los futuros profesionales en diversas asignaturas y disciplinas que se imparten actualmente.

Este proyecto fin de grado ha definido dos técnicas constructivas encofradas que tienen como características comunes, la sostenibilidad y la eficiencia. Ambas aprovechaban los materiales inertes (trozos de cerámica, fragmentos pétreos, tierra, áridos, etc) más cercanos o al alcance para reutilizarlos. Pero de las dos, el tapial consigue ser la técnica constructiva más sostenible pues simplemente se basa en el empleo de amalgama apisonada.

No se ha podido determinar fecha concreta sobre el origen, pero es probable que el barro apisonado pueda considerarse el antecesor de la técnica de tapial ya que en algún momento determinado se debió precisar de un molde adecuado. Con este elemento auxiliar se conseguirían contener las tierras o barro a apisonar siendo capaz de soportar las solicitaciones del proceso de compactación y en consecuencia mejorar la durabilidad de las fábricas.

Sin duda, las mejoras en las capacidades portantes y mecánicas de los muros desembocarían en la posteriormente aparición o invención de un cajón para construir tramos de muros de tierra “in situ”. Es evidente que no debió ser casual, tuvo que ser fruto del sedentarismo de los pueblos primitivos, de la reflexión y la experimentación del uso de la tierra arcillosa fácilmente localizable y abundante en las zonas próximas a los ríos o con afluentes de agua donde se produjeron los asentamientos humanos más primitivos.

Luego está técnica constructiva milenaria sigue incorporándose actualmente a la sociedad formando parte de la ejecución edificaciones denominadas ecológicas de o emisiones cero y de proyectos divulgativos sobre construcción sostenible. Ejemplos de ello son:

- **ECOinteligencia** (<https://www.ecointeligencia.com/>)

Es un sitio web creado como plataforma divulgativa sobre sostenibilidad, energías alternativas y medio ambiente. En ella podemos encontrar información sobre técnicas constructivas como el tapial.

- **SOLARpedia** (<https://www.solarpedia.info/bioconstruccion/casas-de-tierra-apisonada/>)

Web que difunde contenido sobre Arquitectura sustentable, bioconstrucción y casas ecológicas, entre otros contenidos. Se pueden visualizar actuales construcciones ejecutadas con tierra apisonada.



Imagen de <https://www.solarpedia.info/bioconstruccion/casas-de-tierra-aponada/>

En definitiva y en la actualidad están resurgiendo técnicas constructivas ancestrales por ser eficientes y sostenibles, como el tapial o la tierra apisonada. Ampliar el conocimiento material para mejorar la estabilización de los muros y adaptar los sistemas encofrados a la tecnología actual puede generar un nicho de oportunidades laborales para el Graduado en Edificación.

12. Bibliografía y fuentes de información

ADAM, J.P. (2002): *“La construcción Romana. Materiales y Técnicas”*. Traducción de Cristina Colinas Carbajo. León, Editorial de los Oficios. 2ª edición en castellano.

ALEJANDRE, J.(1998): “Los morteros en la Antigüedad “ en *“La técnica de la arquitectura en la Antigüedad”*, Sevilla. Amparo Graciani (ed.). Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones. 1ª ed. 79-96.

ALEJANDRE, F.J. (2002): “Los morteros en la Edad Media“en *“La técnica de la arquitectura medieval”*, Sevilla. Amparo Graciani (ed.). Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones. 1ª ed. 235-250.

ALGORRI, E - VÁZQUEZ M. (1996): “Enmienda a dos de los errores más comunes sobre el tapial” en las Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Madrid 19-21 septiembre de1996. Eds. A. de las Casas, S. Huerta, E. Rabasa. Madrid: I. Juan de Herrera CEHOPU. 19-23.

AMORES, F. (2010): “Análisis arqueológico de los paramentos y sondeos en las escalinatas exteriores de la Torre del Oro (Sevilla). Anuario Arqueológico de Andalucía 2004.2. Sevilla.848-862.

ANGLADA, R. (2005): “La vivienda tradicional en Carmona. Ensayos de Documentación y Sistematización desde la Arqueología.” Anuario Arqueológico de Andalucía 2002, tomo III, Actividades de Urgencia volumen 2. Sevilla. 411-417.

AZUAR, R. (1995): “Las técnicas constructivas en al-Andalus. El origen de la sillería y del hormigón de tapial”. Actas de la V Semana de Estudios Medievales (1994), Nájera 125-142.

AZUAR, R. (2005): “Las técnicas constructivas en la formación de al-Andalus” en Arqueología de la Arquitectura 4 (Ejemplar dedicado a: Aparejos constructivos medievales en el Mediterráneo Occidental: estudio arqueológico de las técnicas constructivas). Madrid/Vitoria.149-160.

BÁRCENA, P.-BAULUZ, G. (1992): *“Bases para el diseño y construcción con tapial”*. Madrid. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Centro de Publicaciones.

BÁRCENA, P.-BAULUZ, G. (2004): “Uso actual de antiguas tecnologías castellanas de edificación con tierra en los procesos de autoconstrucción de viviendas en América Central y Andina: (la vivienda de tapial en Castilla y América)”. Colegio Oficial de Arquitectos de Castilla-La Mancha. Demarcación de Toledo.

BORJA, F. - JIMÉNEZ, A.(2015): “El Teatro de Itálica y su entorno. Evolución del paisaje urbano entre el s. II ac. y el cambio de era”, Revista Tarraco, Biennal 2º Congrès Internacional d’Arqueologia i Món Antic August i les províncies occidentals 2000 Aniversari de la mort d’August, Volumen 2 (p: 87-93).

BOURBON, F.-LIBERTATI, A. (2005): *“Grandes Civilizaciones del pasado. Roma Antigua”*. Barcelona. Ediciones Folio, S.A.

CALAMA, J.M. (1998): “La fábrica en la Antigüedad“en *“La técnica de la arquitectura en la Antigüedad”*, Sevilla. Amparo Graciani (ed.). Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones. 1ª ed. 153-165.

CANIVELL, J. (2008): “Puesta en valor de las fortificaciones realizadas en tapial. La Muralla de Sevilla” Trabajo Fin de Máster. Universidad de Sevilla.

CANIVELL, J. (2011): “Metodología de diagnóstico y caracterización de fábricas históricas de tapias. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla.

CASTILLO, F.J. (2003): “La técnica del tapial en la construcción tradicional de la provincia de Albacete” en Revista de Tradiciones Populares *Zahora* nº 45. Trabajo subvencionado por el Programa de Ayudas para la investigación y Difusión del Patrimonio Etnológico de Castilla-La Mancha por la Consejería de Cultura. Edita: servicio de Educación, Cultura, Juventud y Deporte. 9-113.

CATÓN (1975): “*Del’ Agriculture*”. Texto en latín traducido por Goujard, Raoul. Paris: Les Belles Lettres.

CHOISY, A. (1999): “*El arte de construir en Roma*”, Edición a cargo de Santiago Huerta Fernández y Francisco Javier Girón Sierra; traducción de Manuel Manzano-Monís López-Chicheri; ensayo introductorio y bibliografía de Enrique Rabasa Díaz. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

COLLANTES DE TERÁN, F. (1977): “*Contribución al estudio de la topografía sevillana en la Antigüedad y en la Edad Media*”. Sevilla. Edita Real Academia de bellas Artes de Santa Isabel de Hungría.

CÓMEZ, R. (2001): “*Los Constructores de la España Medieval*”. Sevilla. Edita la Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones.

CORZO, R. (2000): “La construcción del teatro de Cádiz” 40-42 en “La arquitectura Romana” en “*Historia de las técnicas constructivas en España*”. Madrid. Edita Fomento de Construcciones y Contratas.

CORZO, S. (2010): “Intervención Arqueológica en C/ Siete Dolores de Nuestra Señora nº8 de Sevilla.” Anuario Arqueológico de Andalucía 2006. Sevilla. 4422-4430.

CORZO, R – JIMÉNEZ, A. (1980): “*Organización territorial de la “Baetica”*”. Madrid. Edita C.S.I.C Separata de Archivo Español de Arqueología.

CORZO, S.-MORENO, P.-KALAS, Z. (2010): “Intervención Arqueológica Preventiva en el entorno de la Ermita de Cuatrovititas, Bollullos de la Mitación (Sevilla).” Anuario Arqueológico de Andalucía 2006. Sevilla. 4412-4421.

CUCHI, A. (1996): “La técnica tradicional del tapial” en las Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Madrid 19-21 septiembre de 1996. Eds. A. de las Casas, S. Huerta, E. Rabasa. Madrid I. Juan de Herrera CEHOPU. 160-165.

DONALD, M. (2005): “*Grandes Civilizaciones del pasado. Europa Medieval*”. Título original: “*Cultural Atlas of Medieval Europe*”. Traducción: Thema Equipo Editorial, S.A. Barcelona. Ediciones Folio, S.A.

FERNÁNDEZ, G. (1922): “La arquitectura humilde de un pueblo del páramo leonés” en Revista Arquitectura nº38. Madrid: Sociedad Central de Arquitectos. 225-246.

FERNÁNDEZ, A.-RODRÍGUEZ, A. (2001): “Intervención Arqueológica en Edificio Siete puertas de Sevilla (C/ Puente y Pellón 11/11a, Alonso El Sabio, 3 y 5 y Cedaceros 4 (Sevilla)”. Anuario Arqueológico de Andalucía 1998, tomo III, Actividades de Urgencia volumen 2. Sevilla. 656-670.

FERNÁNDEZ, A.-RODRÍGUEZ, A. (2003): “Intervención Arqueológica en C/ Placentines 7 .Aportación al conocimiento de Híspalis, su delimitación, topografía y el carácter de las edificaciones del sector oeste de la ciudad romana”. Anuario Arqueológico de Andalucía 2000, tomo III, Actividades de Urgencia volumen 2. Sevilla. 952-970

FERNÁNDEZ, A.-RODRÍGUEZ, A. (2003): “Intervención Arqueológica en C/ Diego Deza 3 y 5. Evolución edilicia de la cerca islámica tras la conquista cristiana, siglos XIV a XX”. Anuario Arqueológico de Andalucía 2000, tomo III, Actividades de Urgencia volumen 2. Sevilla. 971-991.

FLORES, V. (1998): “La arcilla como material de construcción en la Antigüedad “en “*La técnica de la arquitectura en la Antigüedad*”, Sevilla. Amparo Graciani (ed.). Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones. 1ª ed. 69-77.

GARCÍA, E.-DÍAZ, R. (2001): “Excavación Arqueológica de Urgencia en la Calle Zurbarán nº2 en Marchena (Sevilla). Anuario Arqueológico de Andalucía 1997. Sevilla. 610-612.

GARCÍA, E.-DÍAZ, R. (2001): “Excavación Arqueológica de Urgencia en la Calle Carrera, 35 (Marchena, Sevilla). Anuario Arqueológico de Andalucía 1997. Sevilla. 613-619.

GONZÁLEZ, D. (2007): “FORMA URBIS HISPALENSIS. El urbanismo de la ciudad romana de Híspalis a través de los testimonios arqueológicos”. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla.

GONZÁLEZ, I. (2000): “La Ingeniería Romana” en “*Historia de las técnicas constructivas en España*”. Madrid. Edita Fomento de Construcciones y Contratas. 45-77.

GONZÁLEZ, J. (2010) “Intervención Arqueológica Preventiva en C/ San Francisco 8-12 de Écija (Sevilla). Nuevos datos en torno a evolución histórica del Centro Urbano.” Anuario Arqueológico de Andalucía 2005. Sevilla. 3101-3110.

GONZÁLEZ, M.A.-MEJIAS, J.C. (2001): “Intervención Arqueológica de Urgencia en solar nº55 de la C/ Baños de Sevilla”. Anuario Arqueológico de Andalucía 1996. Sevilla. 584-594.

GONZÁLEZ, A.-PONCE, M. (2006): “Protocolo de Caracterización de Construcción con Tierra Cruda: la Tapia” en Construir con Tierra Ayer y Hoy. V Siacot Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra y I Seminario Argentino de Arquitectura y Construcción con Tierra (5). Num. 5. Cricyt, Mendoza, Argentina. Zeta Editores, Srl. 136-138.

GONZÁLEZ, I.- VELÁZQUEZ, I. (2005): “Ingeniería Romana en “Hispania”: historia y técnicas constructivas”. Madrid. Fundación Juanelo Turriano.

GRACIANI, A. (1998): “Sistemas de cubiertas en la Antigüedad “en “*La técnica de la arquitectura en la Antigüedad*”, Sevilla. Amparo Graciani (ed.). Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones. 1ª ed. 167-209.

GRACIANI, A. (2002): “Los equipos de obra y los medios auxiliares en la Edad Media” en “*La técnica de la arquitectura medieval*”, Sevilla. Amparo Graciani (ed.). Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones. 1ª ed. 175-206.

GRACIANI, A. (2008-2009): “Fábricas islámicas del Mirador Almohade de la Muralla de Marchena (Sevilla). Tramos de la Alcazaba y el parque”. Sevilla. Universidad de Sevilla. Laboratorio de Arte 21.

GRACIANI, A. (2009): “La técnica del Tapial en Andalucía occidental”. Monografías del Conjunto Monumental de la Alcazaba II. Construir en *Al-Andalus*. Actas de las Jornadas del conjunto Monumental de la Alcazaba. Edita: Junta de Andalucía. Consejería de Cultura. 113-140.

GRACIANI, A.-TABALES, M.A. (2008): “El tapial en el área sevillana. Avance cronotipológico estructural” en *Arqueología de la Arquitectura*, 5, enero-diciembre 2008. Madrid/Vitoria. 135-158.

GURRIARÁN, P. (2000): “Arquitectura y Técnicas constructivas en al-Andalus durante la época Almohade” en “*Historia de las técnicas constructivas en España*”. Madrid. Edita Fomento de Construcciones y Contratas. 109-121.

HERRERO, E. (1998): “La cimentación en la Antigüedad” en “*La técnica de la arquitectura en la Antigüedad*”, Sevilla. Amparo Graciani (ed.). Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones. 1ª ed. 139-151.

HUERTE, R.-TABALES, M.Á. (2001): “Necrópolis romana de incineración en el sector nororiental de Sevilla. Intervención Arqueológica de Urgencia en C/ Mahatacas 9-11 Imperial 37 de Sevilla”. *Anuario Arqueológico de Andalucía* 1997. Sevilla. 453-468.

HUNT, M.A. (2001): “Excavación Arqueológica en el Castillo de San Jorge (Sevilla)”. *Anuario Arqueológico de Andalucía* 1998. Sevilla. 811-823.

HUNT, M.A.-POZO, F.-LÓPEZ, P.-VÁZQUEZ, J.-MARTÍNEZ, M.D.- MÉNDEZ, E.-GIL, R.M.-GUIJO, J.M.-PECERO, J.C.-SÁNCHEZ, O.- CASA, I. (2010): “Excavación Arqueológica en la “Estación Puerta de Jerez”, Fase I-A. Línea 1 del Metro de Sevilla (Calle San Fernando, Sevilla).” *Anuario Arqueológico de Andalucía* 2006. Sevilla. 4481-4512

INÉS, M.P. (2005): “La casa almohade de la C/ Sorda. Intervención Arqueológica de Urgencia.” *Anuario Arqueológico de Andalucía* 2002, tomo III, Actividades de Urgencia volumen 2. Sevilla. 205-210.

JALDUN, I. (1985): “*Introducción a la historia: Antología*”. Selección, traducción y prólogo Rafael Valencia. Sevilla Editoriales Andaluzas Unidas.

JALDUN, I. (1997): “*Introducción a la Historia Universal (AL-MUQADDIMAH)*”, Traducción de Juan Feres. México D.F.: Fondo de Cultura Económica (1ª ed. en español).

JIMÉNEZ, A. (2002): “Excavación Arqueológica en dos pilares de la Catedral de Sevilla”. *Anuario Arqueológico de Andalucía* 1999, tomo III, Actividades de Urgencia volumen 2. Sevilla. 883-898.

JIMÉNEZ, A. (2003): “Excavación en el patio de los Naranjos de la Catedral de Sevilla. Una Mezquita Amurallada”. *Anuario Arqueológico de Andalucía* 2000, tomo III, Actividades de Urgencia volumen 2. Sevilla. (905-922).

JIMÉNEZ, A. (2012): "Nuevas aportaciones sobre la construcción y evolución del graderío del Teatro de Itálica: Los resultados de las campañas de excavación de 2.009 y 2.011". *ITÁLICA. REVISTA DE ARQUEOLOGÍA CLÁSICA DE ANDALUCÍA* // N.º 02. 2.012. ISSN 21 74-8667 (p: 99-125).

JIMÉNEZ, D. (2011): "SEVILLA AMURALLADA. Ensayo de reconstrucción del trazado y las características arquitectónicas de los recintos defensivos de la colonia IULIA ROMULA HISPALIS y MADINAT ISBILYA (Siglo I a.C.- Siglo XIII)". Tesis doctoral. Universidad de Sevilla.

JIMÉNEZ, D.-MOSULÉN, G.-FRANCO, C.-SÁNCHEZ, O. (2001): "Informe de Intervención Arqueológica de Urgencia en la C/ Enladrillada 7-9 Sevilla". *Anuario Arqueológico de Andalucía 1996*. Sevilla. 405-414.

JIMÉNEZ, D.-MOSULÉN, G.-SÁNCHEZ, O.-RODRÍGUEZ, R. (2001): "Intervención Arqueológica de Urgencia en Reyes Católicos nº3/Almansa nº6 (Sevilla)". *Anuario Arqueológico de Andalucía 1998*, tomo III, Actividades de Urgencia volumen 2. Sevilla. 683-688.

JUÁREZ, J.M.-SERRANO, M. (2010): "Intervención Arqueológica Preventiva en el recinto amurallado de Estepa (Lienzos y Torres surorientales). Excavaciones Arqueológicas." *Anuario Arqueológico de Andalucía 2006*. Sevilla.4071-4119.

LADERO, M.Á. (1975): "*Historia de Sevilla II: La ciudad Medieval (1248-1492)*". Sevilla. Edita Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.

LAMPRECHT, H.-O- (1985): "*Opus Caementitium*". Düsseldorf Beton-Verlag, 1985.

LARREY, E.-RAMÓN, F.J.-VERDUGO, J. (2001): "Intervención Arqueológica en el Anfiteatro de Itálica. Campaña de 1998". *Anuario Arqueológico de Andalucía 1998*, tomo III, Actividades de Urgencia volumen 2. Sevilla.1081-1096

LARREY, E.-RAMÓN, F.J.-VERDUGO, J. (2001): "Intervención Arqueológica de Urgencia en el solar nº12 de la C/ Silio de Santiponce incluido en la Zona Arqueológica de Itálica". *Anuario Arqueológico de Andalucía 1998*, tomo III, Actividades de Urgencia volumen 2. Sevilla. 1097-1102.

LARREY, E.-RAMÓN, F.J.-VERDUGO, J. (2003): "Seguimiento Arqueológico de apoyo a los trabajos de conservación en el COLLEGIUM de la EXEDRA de Itálica en Santiponce (Sevilla)". *Anuario Arqueológico de Andalucía 2000*, tomo III, Actividades de Urgencia volumen 2. Sevilla.1389-1400.

LEÓN, P. (1988): "*TRAIANEUM de Itálica*". Sevilla, Obra cultural Monte de Piedad y Caja de Ahorros de Sevilla.

LÉVI, É. (1973): "*España musulmana, hasta la caída del Califato de Córdoba: (711-1031 de J.C.)*". Madrid. Espasa-Calpe, 1973.

LÓPEZ, F.J. (2003): "Tapiería en las fortificaciones medievales de la región de Murcia". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.

LÓPEZ, P.M.-MORO, F.J. (2010): "Intervención Arqueológica Preventiva en C/ San Luis nº93 (Sevilla)". *Anuario Arqueológico de Andalucía 2005*. Sevilla.3177-3187.

LÓPEZ, M.R.-VERA, M. (2010): “Intervención Arqueológica Preventiva en el inmueble de la C/ Santiago nº31, antiguo Palacio de los Marqueses de Villapanés y Torreblanca (Sevilla).” Anuario Arqueológico de Andalucía 2005. Sevilla. 3188-3200.

LUQUE, M.-MORENO, P.J.-NAVARRO, E.-KALAS, Z.-BALDA, F.-LÓPEZ, D. (2010): “Intervención Arqueológica Preventiva en Plaza de San Julián 2-4, Sevilla.” Anuario Arqueológico de Andalucía 2005. Sevilla.3056-3067.

MANZANO, R. (2000): “La arquitectura Romana” en “*Historia de las técnicas constructivas en España*”. Madrid. Edita Fomento de Construcciones y Contratas. 13-44.

MARIN, R. (2000): “*La construcción griega y romana*”. Valencia. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Construcciones Arquitectónicas.

MARTÍNEZ, M.D.-POZO, F.-GIL, R..M.-MÉNDEZ, E (2010): “Intervención Arqueológica Preventiva en C/ Placentines 8, 10,12 y 14, Argote de Molina 27, Sevilla.” Anuario Arqueológico de Andalucía 2006. Sevilla.3761-3783.

MATA, J.-CERVERA, L.-DOMÍNGUEZ, E.L.- GARCÍA, E. (2010): “Actividad Arqueológica de Urgencia en C/ Santa Ángela de la Cruz nº11, Sevilla.” Anuario Arqueológico de Andalucía 2006. Sevilla.4299-4313.

MORA, G.M.-ROMO, A.S. (2003): “Intervención Arqueológica de Urgencia en Palacio Arzobispal de Sevilla. Sectores de Archivo y Tribunal. Primera Fase de los trabajos. Sondeos I-II-IV. Aportaciones a la Sevilla Republicana.” 179-196.

MORENO, E.-CÁCERES, P. (2001): “Intervención Arqueológica de Urgencia en C/ Imperial 37 de Sevilla”. Anuario Arqueológico de Andalucía 1996. Sevilla. 443-453.

MORO, J. (2009): “Intervención Arqueológica Preventiva en la C/ Moravia 1 (Sector Santa Lucía-Santa Paula, Sevilla).” Anuario Arqueológico de Andalucía 2004.1. Sevilla. 3644-3657.

NAVARRO, J.-JIMÉNEZ, P. (2011): “Materiales y técnicas constructivas en la Murcia andalusí (siglos X-XIII)” en *Arqueología de la Arquitectura*, 8 enero-diciembre 2011. Madrid/Vitoria. 85-120.

OLCESE, M. (1993): “Arquitecturas de tierra: tapial y adobe”. Valladolid. Colegio Oficial de Arquitectos de Valladolid.

OLIVA, P.-HUARTE, R. (2005): “Intervención Arqueológica de Urgencia en C/ Abades nº11, Sevilla”. Anuario Arqueológico de Andalucía 2002, tomo III, Actividades de Urgencia volumen 2. Sevilla. 151-162.

PALLADIO, A. (2003): “*Los cuatro libros de arquitectura de Andrea Palladio*”. Traducidos del italiano al castellano por Juan del Ribero Rada; estudio introductorio, edición y notas M^a Dolores Campos Sánchez-Bordona. León: Junta de Castilla y León, Consejería de Cultura y Turismo: Universidad de León.

PAVÓN, B. (1990): “*Tratado de arquitectura hispanomusulmana 1, Agua: (aljibes, puentes, ganats, acueductos, jardines, desagües de ciudades y fortalezas, ruedas hidráulicas, baños, corachas)*”. Madrid. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, D.L.

PAVÓN, B. (1999): *“Tratado de arquitectura hispanomusulmana 2, Ciudades y Fortalezas”*. Madrid. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, D.L.

PAVÓN, B. (2005): *“Tratado de arquitectura hispanomusulmana 3, Palacios”*. Madrid. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, D.L.

PLINIO (1860): *“Historia Natural”*. Traducción de Hernández, Francisco & Huerta, Jerónimo de. Madrid: Visor Libros 1999 (2ª ed.). 1103.

POZO, F. (2001): “Seguimiento Arqueológico de obras en C/ Torneo nº47 (Sevilla)”. Anuario Arqueológico de Andalucía 1998, tomo III, Actividades de Urgencia volumen 2. Sevilla.729-733.

POZO, F. (2001): “Seguimiento Arqueológico de obras en C/ Torneo nº48-49 (Sevilla)”. Anuario Arqueológico de Andalucía 1998, tomo III, Actividades de Urgencia volumen 2. Sevilla. 734-738.

POZO, F. (2003): “Control Arqueológico de los movimientos de tierra en la C/ Torneo 40-41, Sevilla”. Anuario Arqueológico de Andalucía 2000, tomo III, Actividades de Urgencia volumen 2. Sevilla.1102-1108.

RODRÍGUEZ, G. (2002): Seguimiento Arqueológico en la Barriada de Nuestra Señora de Loreto en San Juan de Aznalfarache (Sevilla). Anuario Arqueológico de Andalucía 1999, tomo III, Actividades de Urgencia volumen 2. Sevilla. 1054-1061

RODRÍGUEZ, G. (2005): “Intervención Arqueológica de Urgencia en C/ Divina Enfermera 22 y Plaza de Europa s/n. Sevilla”. Anuario Arqueológico de Andalucía 2002, tomo III, Actividades de Urgencia volumen 2. Sevilla. 258-266.

RODRÍGUEZ, G. (2005): “Intervención Arqueológica de apoyo a la Restauración. Estudio Arqueológico-Paramental de la fachada de la C/ Pureza 72, Sevilla.” Anuario Arqueológico de Andalucía 2002, tomo III, Actividades de Urgencia volumen 2. Sevilla. 317-325.

RODRÍGUEZ, G.-SUÁREZ, J. (2009): “La Intervención Arqueológica Preventiva en el inmueble sito en la C/ Santa Paula 16-Sánchez de Castro s/n. Sevilla”. Anuario Arqueológico de Andalucía 2004.1. Sevilla. 3449-3457.

RODRÍGUEZ, O.-VERA, M. (1999): “Nuevas intervenciones en el Teatro romano de Itálica: Algunas apreciaciones sobre su evolución constructiva y su sistema de accesos.” Spal 8 (1. 189-205.

ROLDÁN, L. (1992): *“Técnicas constructivas romanas en Carteia (San Roque, Cádiz)”*. Madrid. Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Prehistoria y Arqueología.

ROLDÁN, L. (1993): *“Técnicas constructivas romanas en Itálica (Santiponce, Sevilla)”*. Madrid. Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Prehistoria y Arqueología.

ROMÁN, L. (2010). “Actividad Arqueológica Preventiva en la C/ Argote de Molina 11-13, Sevilla.” Anuario Arqueológico de Andalucía 2006. Sevilla. 4743-4762.

ROMO, A. (2001): “El tramo defensivo islámico de la intervención en C/ Cano y Cueto-Paseo de Catalina de Ribera. (Sevilla). Anuario Arqueológico de Andalucía 1996. Sevilla. 559-566.

ROMO, A.-ORTEGA, M. (2005): “De la Cárcel de Caballeros a Corral de las Herrerías. La Casa de la Moneda de Sevilla”. Anuario Arqueológico de Andalucía 2002, tomo III, Actividades de Urgencia volumen 2. Sevilla. 189-204.

ROMO, A. -VARGAS, J.M.- ORTEGA, M. (2003): “Antiguo Hospital de los inocentes y el sustrato previo: C/ San Luis nº29 de Sevilla”. Anuario Arqueológico de Andalucía 2000, tomo III, Actividades de Urgencia volumen 2. Sevilla. 1064-1081.

SAN ISIDORO DE SEVILLA (2004): “*Etimologías*”. Madrid. Biblioteca de Autores Cristianos. Texto latino, versión española y nota por José Oroz Reta y Manuel-A. Marcos Casquero. Introducción general por Manuel C. Díaz y Díaz. Libro XV. Acerca de los edificios y los campos. 1045-1093.

SOLIS, J.A. (1998): “La economía de la Construcción en la Antigüedad” en “La técnica de la arquitectura en la Antigüedad”, Sevilla. Amparo Graciani (ed.). Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones. 1ª ed. 97-105.

SOLIS, J.A. (2002): “Las fábricas de la Edad Media” en “La economía de la construcción de la Edad Media”, Sevilla. Amparo Graciani (ed.). Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones. 1ª ed. 137-150.

TABALES, M.Á. (1996): “Intervención Arqueológica en la C/ Imperial 41- 45. Contribución al conocimiento de la transformación urbana del Barrio de San Esteban de Sevilla”. 415-430.

TABALES, M.A. (2000): “Algunas reflexiones sobre tapias y cimentaciones sevillanas en el periodo islámico”. Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Sevilla 26-28 octubre 2000. Sevilla Eds. A. Graciani, S. Huertas, E Rabasa, M Tabales. Madrid: I. Juan de Herrera. SEdHC. U. Sevilla. Junta de Andalucía. COAAT Granada. CEHOPU. 1077-1088.

TABALES, M.Á. (2001): “Análisis Arqueológico del Real Alcázar de Sevilla. 2000-2005. Memoria General de Investigación. Fase II. 2001. Analítica I”.

TABALES, M.Á. (2001): “Intervención Arqueológica en C/ Menéndez Pelayo nº19. El antemuro de la Muralla Islámica en el sector oriental de Sevilla”. Anuario Arqueológico de Andalucía 1996. Sevilla. 475-485.

TABALES, M.Á. (2001): El Hospital de las Cinco Llagas. Primera Fase de Estudios Arqueológicos. 1998. Anuario Arqueológico de Andalucía 1998, tomo III, Actividades de Urgencia volumen 2. Sevilla. 751-768.

TABALES, M.Á. (2002): “Contribución al Estudio de la muralla Islámica de Sevilla. Investigación en Menéndez Pelayo 43-45, Sevilla”. Anuario Arqueológico de Andalucía 1999, tomo III, Actividades de Urgencia volumen 2. Sevilla. 716-734.

TABALES, M.Á. (2010): “Alcázar de Sevilla. Campaña 2005. Investigaciones Arqueológicas en la Portada de la Montería.” Anuario Arqueológico de Andalucía 2005. Sevilla. 2716-2741.

TABALES, M.Á. (2010): “Intervención Arqueológica en el Jardín Inglés. Real Alcázar de Sevilla.” Anuario Arqueológico de Andalucía 2006. Sevilla. 4607-4647.

TABALES, M.Á-ROMO, A.-GARCÍA, E.-HUERTE, R. (2001): “Análisis Arqueológico del sector oriental de la Catedral de Sevilla”. Anuario Arqueológico de Andalucía 1996. Sevilla. 393-404.

VALENZUELA, E.M. (2002): “Las fábricas de la Edad Media” en “*La técnica de la arquitectura medieval*”, Sevilla. Amparo Graciani (ed.). Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones. 1ª ed. 209-234.

VARGAS, J.M.-ROMO, A. (2001): “El lienzo de la Muralla de la C/ Torneo nº39 esquina C/ Narciso Bonaplata (Sevilla)”. Anuario Arqueológico de Andalucía 1998, tomo III, Actividades de volumen 2. Sevilla. 832-840.

VARRONT, MT (1978): “*Economie Rurale*”. Texto en latín y traducido al francés por Heurgon, Jacques. Paris: Les Belles Lettres.

VERDUGO, J.-RAMÓN, F.J.-LARREY, E. (2003): “Intervención Arqueológica de Urgencia en el solar nº11 de la C/de las Musas de Santiponce incluido en la Zona Arqueológica de Itálica”. Anuario Arqueológico de Andalucía 2000, tomo III, Actividades de Urgencia volumen 2. Sevilla. 1370-1388.

VILLANUEVA, J. (1984): “*Arte de Albañilería*”. Edición preparada por Ángel Luis Fernández Muñoz. Madrid: Editorial Nacional.

VIOLLET LE DUC, E. (1996): “*La construcción medieval: el artículo “Construcción” del Dictionnaire raisonné de l’architecture française du Xleau XVI e siècle*”. Madrid Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo. Edición a cargo de Enrique Rabasa Díaz y Santiago Huerta Fernández. Prólogo y traducción y notas de Enrique Rabasa Díaz. Introducción y bibliografía Rafael García García.

VITRUVIO, M.J.P. (1981): “*Compendio de los Diez Libros de Arquitectura de Vitruvio*”, Madrid, Agrupación de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Andalucía. Escrito en francés por Claudio Perrault de la Real Academia de las Ciencias de Paris. Traducido al castellano por Joseph Castañeda, teniente director de Arquitectura de la Real Academia de san Fernando. Estudio introductorio de Joaquín Bérchez Gómez.

WEBS CONSULTADAS. (Periodo comprendido entre el 11 de abril y 31 agosto 2022)

<http://www.architetturadi Pietra.it/wp/?p=483>

<http://sappo.uab.cat/>

<http://www.biografiasyvidas.com/biografia/v/varron.htm>

http://canalsocial.net/GER/ficha_GER.sp?id=8309&cat=historia.

<http://dialnet.unirioja.es/>

<http://bib.us.es/servicios/index-ides-idweb.html>

<http://www.rae.es/rae.html>

<http://arqarqt.revistas.csic.es/>

<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/>

<http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es/>

<http://materconstrucc.revistas.csic.es/>

<http://estudiosgeol.revistas.csic.es/>

<http://www1.ccul.junta-andalucia.es/cultura/web/areas/bbcc/catalogo>

<http://www1.ccul.junta-andalucia.es/cultura/museos/CAI/>

<http://sapiens.ya.com/jrcuadra/jr-codo.htm>

<http://educacion.comohacerpara.com/n3580/como-hacer-la-portada-de-una-tesis-de-grado.html>

<http://elsobrino.wordpress.com/category/arquitectura-de-arahal/>

<http://www.alcazarsevilla.org/website/produccion-cientifica/memorias/>

http://www.laac.es/index.php?option=com_content&task=view&id=57&Itemid=42

http://digital.csic.es/bitstream/10261/10105/1/Reales_alcazares.pdf

<http://www.500px.com/?lang=es>

<https://www.juntadeandalucia.es/organismos/culturaypatrimoniohistorico/areas/bienes-culturales/actividades-arqueologicas/anuario-arqueologico.html>

<https://www1.sedecatastro.gob.es/Cartografia/mapa.aspx?del=41&mun=89&refcat=1081030TG3408S0001TG&final=&ZV=NO&anyoZV=>

<https://www.juntadeandalucia.es/eboja.html>

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1985-12534>

<https://www.boe.es/buscar/pdf/2008/BOE-A-2008-2494-consolidado.pdf>

<https://guiadigital.iaph.es/bien/inmueble/4607/sevilla/santiponce/ciudad-romana-de-italica>



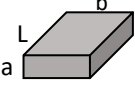
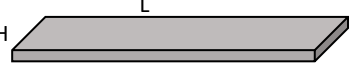
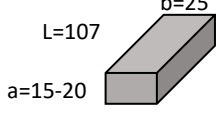

<https://www.ecointeligencia.com/>



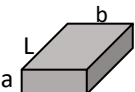

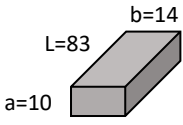

<https://www.solarpedia.info/>



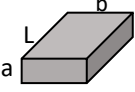

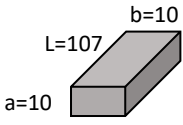

https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=sUJz2SMC&id=C7C584F5BA818C062BBBDD298C052C18D6AADF2F&thid=OIP.sUJz2SMC5I9ZRDkDci_NUgHaFn&mediaurl=https%3a%2f%2f3.bp.blogspot.com%2ftkRtGVKvnMM%2fU48aGKdhvNI%2fAAAAAAAAAZc%2f7UkV15Xg9WQ%2fs1600%2fImagen4.jpg&cdnurl=https%3a%2f%2fth.bing.com%2fth%2fid%2fr.b14273d92302e48f59443903722fcd52%3frik%3dL9%252bq1hgsBYwp3Q%26pid%3dImgRaw%26r%3d0&exph=696&expw=917&q=imagenes+del+yacimiento+akar%3a%7ay+tepe+en+turqu%c3%ada&simid=608002941008556570&FORM=IRPRST&ck=43F76C8ED892A131E45C3E15F7834AB9&selectedIndex=0&idpp=overlayview&ajaxhist=0&ajaxserp=0



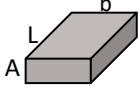

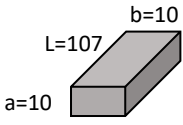
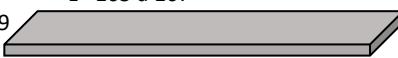
13. Anexos



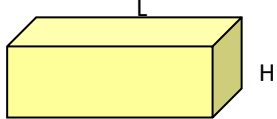
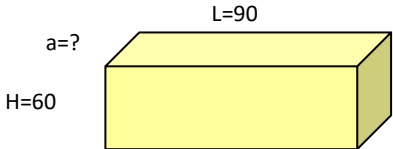
13.1.- ESTUDIO SOBRE EL USO DEL *OPUS CAEMENTICIUM* EN LA CIUDAD ROMANA DE *ITÁLICA*



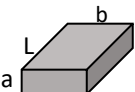

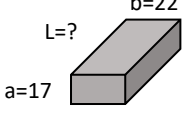

TEATRO -Muros del Cerro de San Antonio-	
	 <p style="text-align: center;">Muro occidental superior</p>
Tipología según puesta en obra	<i>Opus caementicium</i> apisonado
Tipo de encofrado	Perdido de madera
Piezas del encofrado	Dimensión de las piezas de encofrado (cotas en cm)
COSTALES 	b = 16,17,18,24,25,22,26,20,22,24,22,25,22,26,24,25,25
	a = 13,13,18,18,18,15,20,15,15,20,15,20,16,20,20,20,20
	L = 107,105,110,112,114,110,112,105,107,108,109,110,107
TABLEROS 	L = 108,95,86,84,89,90,98,112,111,106,108, 90,92,90
	H = 28,29,28,28,28,29,28,29,28,28,29,28,27,28,28,29
Tamaño de piezas más empleado (cotas en cm)	
COSTALES 	
TABLEROS 	



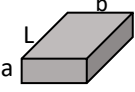

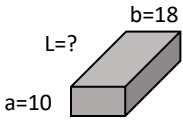
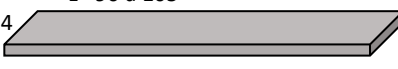
TEATRO -Muros de Cerro de San Antonio-	
	 <p style="text-align: center;">Contrafuertes muro occidental superior</p>
Tipología según puesta en obra	<i>Opus caementicium</i> apisonado
Tipo de encofrado	Perdido de madera
Medición de huellas e improntas	
Piezas del encofrado	Dimensión de las piezas de encofrado (cotas en cm)
COSTALES 	b = 11-13,12,14,14,11,14,14,15,14,13,12,14,14,14
	a = 10,10,10,10,10,11,10,10,11,10,11,10,10,10
	L = 70,83,83,74,101,83,84,75,100,83,69,83,101
TABLEROS 	L = 83,83,106,83,95,90,106,83,95,97,105,83,84,83
	H = 28,29,28,28,28,29,28,29,28,28,29,28,27,28,28,29
Tamaño de piezas más empleado (cotas en cm)	
COSTALES 	
TABLEROS 	



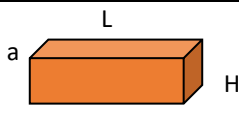
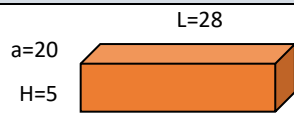
TEATRO -Muros del Cerro de San Antonio-	
	 <p style="text-align: center;">Muro occidental inferior</p>
Tipología según puesta en obra	<i>Opus caementicium</i> apisonado
Tipo de encofrado	Perdido de madera
Medición de huellas e improntas	
Piezas del encofrado	Dimensión de las piezas de encofrado (cotas en cm)
COSTALES 	b = 8,9,10,10,8,9,10,10,8,9,10,10,10,10,10,10,10
	a = 8,7,8,9,8,7,8,9,8,7,8,9,8,7,8,9,10,10,10,9,9,10,10
	L = 107,105,107,105,110,105,107,110,105,107,107
TABLEROS 	L = 115,125,126,120,148,125,128,150,125, 125
	H = 28,29,29,29,28,29,30,29,29,30,28,29,29,29,29
Tamaño de piezas más empleado (cotas en cm)	
COSTALES 	
TABLEROS 	




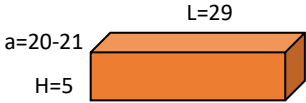


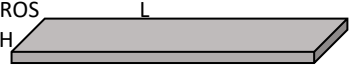
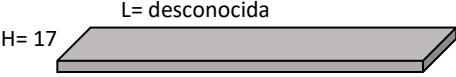
TEATRO -Muros del Cerro de San Antonio-	
	 Muro sur superior
Tipología según puesta en obra	<i>Opus caementicium</i> apisonado
Tipo de encofrado	Perdido de madera
Medición de huellas e improntas	
Piezas del encofrado	Dimensión de las piezas de encofrado (cotas en cm)
COSTALES 	b = 8,9,10,10,8,9,10,10,8,9,10,10,10,10,10,10,10
	a = 8,7,8,9,8,10,10,9,8,10,8,9,8,7,8,9,10,10,10,9,9,10,10
	L = 107,105,107,105,107,105,107,110,105,107,107
TABLEROS 	L = 115,125,126,120,148,125,128,150,125, 125
	H = 28,29,29,29,28,29,30,29,29,30,28,29,29,29,29
Tamaño de piezas más empleado (cotas en cm)	
COSTALES 	
TABLEROS 	



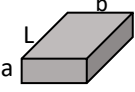

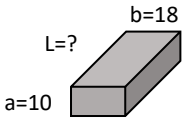
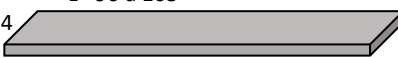
TRAIANEUM	
	 <p style="text-align: center;">Cimentación</p>
Tipología según puesta en obra	<i>Opus caementicium</i> apisonado
Tipo de encofrado	Permanente de sillares pétreos
Medición de huellas e improntas	
Piezas del encofrado	Dimensión de las piezas de encofrado (cotas en cm)
	L = 90,100,90,88,92,93,90,90,90
	a= desconocido
	H= 60,60,58,59,60,60,58,59,60,60,60,60,60,59,58
Tamaño de piezas más empleado (cotas en cm)	
	




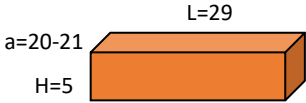


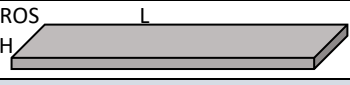
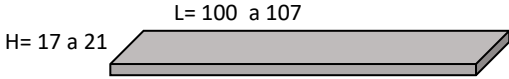
TRAIANEUM	
	 <p style="text-align: center;">Cimentación</p>
Tipología según puesta en obra	<i>Opus caementicium</i> apisonado
Tipo de encofrado	Perdido de madera
Medición de huellas e improntas	
Piezas del encofrado	Dimensión de las piezas de encofrado (cotas en cm)
COSTALES 	b = 21,24,25,22,22
	a = 14,15,16,15,15
	L = desconocida
TABLEROS 	L = 88,90,90
	H = desconocida
Tamaño de piezas más empleado (cotas en cm)	
COSTALES 	b=22 L=? a=17
TABLEROS 	L= 90 H=?



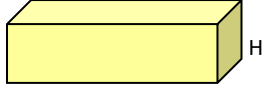
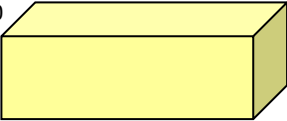




TERMAS MENORES	
	 <p style="text-align: center;">Cimentación</p>
Tipología según puesta en obra	<i>Opus caementicium</i> apisonado
Tipo de encofrado	Perdido de madera
Medición de huellas e improntas	
Piezas del encofrado	Dimensión de las piezas de encofrado (cotas en cm)
COSTALES 	b = 14,10,16,18,19,17,18,15,17,16,18,18,18,20,20,18,18,22
	a = 10,10,11,10,11,10,11,10,10,10,11,10,10,10,10,11
	L = desconocida
TABLEROS 	L = 92,95,90,95,104,100,121,102,117,88,117,105,113,109
	H = 24,21,24,21,24,21,24,21,24,24,21,21,24,24,24,21,24
Tamaño de piezas más empleado (cotas en cm)	
COSTALES 	
TABLEROS 	

TERMAS MENORES	
	 <p style="text-align: center;">Muros de estancias</p>
Tipología según puesta en obra	<i>Opus caementicium</i> sin apisonar
Tipo de encofrado	Permanente de ladrillos
Medición de huellas e improntas	
Piezas del encofrado	Dimensión de las piezas de encofrado (cotas en cm)
	L = 28,29,28,28,29,28,28,28,28,29,28
	a = 20,21,20,20,21,20,20,20,20,21,20
	H = 5,6,5,6,5,5,5,5,6,5,5
Tamaño de piezas más empleado (cotas en cm)	
	

CASA DE LA EXEDRA	
	 <p style="text-align: center;">Muros de estancias</p>
Tipología según puesta en obra	<i>Opus caementicium</i> sin apisonar
Tipo de encofrado	Permanente de ladrillos
Medición de huellas e improntas	
Piezas del encofrado	Dimensión de las piezas de encofrado (cotas en cm)
	L = 28,29,28,28,29,28,28,28,28,29,28 a = 20,21,20,20,21,20,20,20,20,21,20 H = 5,6,5,6,5,5,5,5,6,5,5
Tamaño de piezas más empleado (cotas en cm)	
	
	 <p style="text-align: center;">Bóveda</p>
Tipología según puesta en obra	<i>Opus caementicium</i> sin apisonar
Tipo de encofrado	Recuperable y/o reutilizable de madera
Medición de huellas e improntas	
Piezas del encofrado	Dimensión de las piezas de encofrado (cotas en cm)
TABLEROS 	L = desconocida H = 17,16,17
Tamaño de piezas más empleado (cotas en cm)	
TABLEROS 	

TERMAS MAYORES	
	 <p style="text-align: center;">Cimentación</p>
Tipología según puesta en obra	<i>Opus caementicium</i> apisonado
Tipo de encofrado	Perdido de madera
Medición de huellas e improntas	
Piezas del encofrado	Dimensión de las piezas de encofrado (cotas en cm)
COSTALES 	b = 14,17,14,13,15,14,11,17,13,13,17,16,17,16,15,14,10,12
	a = 12,10,11,12,15,14,11,13,14,15,15,10,14,10,12,13,8,9,10
	L = desconocida
TABLEROS 	L = 100,80,77,102,110,95,95,107,104,136,108,130,174,113
	H = 22 sin poder precisar
Tamaño de piezas más empleado (cotas en cm)	
COSTALES 	
TABLEROS 	

TERMAS MAYORES	
	 <p style="text-align: center;">Muros de estancias</p>
Tipología según puesta en obra	<i>Opus caementicium</i> sin apisonar
Tipo de encofrado	Permanente de ladrillos
Medición de huellas e improntas	
Piezas del encofrado	Dimensión de las piezas de encofrado (cotas en cm)
	L = 28,29,28,28,29,28,28,28,28,29,28 a = 20,21,20,20,21,20,20,20,20,21,20 H = 5,6,5,6,5,5,5,5,6,5,5
Tamaño de piezas más empleado (cotas en cm)	
	
	 <p style="text-align: center;">Bóvedas</p>
Tipología según puesta en obra	<i>Opus caementicium</i> sin apisonar
Tipo de encofrado	Recuperable y/o reutilizable de madera
Medición de huellas e improntas	
Piezas del encofrado	Dimensión de las piezas de encofrado (cotas en cm)
	L = 102,110,105,107,110,100,98,101,100,102,104,100 H = 21,20,17,18,20,22,21,18,17,20,24,24,23,22,21,18
Tamaño de piezas más empleado (cotas en cm)	
	

ANFITEATRO	
	
Muros de gradas y galerías	
Tipología según puesta en obra	<i>Opus caementicium</i> sin apisonar
Tipo de encofrado	Permanente de sillares pétreos
Medición de huellas e improntas	
Piezas del encofrado	Dimensión de las piezas de encofrado (cotas en cm)
	L = 90,100,90,88,92,93,90,90,90
	a = 45,45,30,29,29,44,30,31,44, 30,43,45,29,30,45,30
	H = 60,60,58,59,60,60,58,59,60,60,60,60,60,59,58,60
Tamaño de piezas más empleado (cotas en cm)	
	
	
Muros pódiom y gradas	
Tipología según puesta en obra	<i>Opus caementicium</i> sin apisonar
Tipo de encofrado	Permanente de ladrillos
Medición de huellas e improntas	
Piezas del encofrado	Dimensión de las piezas de encofrado (cotas en cm)
	L = 29, 28,29,28,28,29,28,28,28,28,29,28
	a = 20,21,20,20,21,20,20,20,20,21,20
	H = 5,6,5,6,5,5,5,5,6,5,5
Tamaño de piezas más empleado (cotas en cm)	
	

ANFITEATRO	
Bóvedas de las galerías	
Tipología según puesta en obra	<i>Opus caementicium</i> sin apisonar
Tipo de encofrado	Recuperable y/o reutilizable de madera
Medición de huellas e improntas	
Piezas del encofrado	Dimensión de las piezas de encofrado (cotas en cm)
TABLEROS 	L= Variable al depender de la intersección de los cañones H= 20,21,20,20,21,20,21,21,21,21,20,21,21,20,20,20
Tamaño de piezas más empleado (cotas en cm)	
TABLEROS H= 20 a 21 L= variable 	
Bóvedas de las salas anexas a las gradas	
Tipología según puesta en obra	<i>Opus caementicium</i> sin apisonar
Tipo de encofrado	Recuperable y/o reutilizable de madera
Medición de huellas e improntas	
Piezas del encofrado	Dimensión de las piezas de encofrado (cotas en cm)
TABLEROS 	L= 100,105,104,108,110,100,105,102,100 H= 21,24,21,20,21,24,20,21,20
21,24,21,20,21,24,20,21,20	
TABLEROS H= 20 a 24 L= 100 	

13.2.- ESTUDIO SOBRE EL USO DEL TAPIAL ISLÁMICO EN RECINTOS AMURALLADOS DE SEVILLA, SANLÚCAR LA MAYOR Y SAN JUAN DE AZNALFARACHE.
MURALLA DE JARDINES DEL VALLE -SEVILLA-


Lienzos de muralla

Tipología según composición material	Tapial común
Tipo de zócalo o pie de aguja	No visible
Tipo de aguja	Planas y/o rollizas, bajo el hilo y sin remate
Medición de huellas e improntas	
Piezas del encofrado	Dimensión de las piezas de encofrado (cotas en cm)
AGUJAS 	S = 60,65,67,90,62,65,66,68,70,85,62,60,70,72,72,71,70
	b = 7,7,8,7,7,7,7,7,7,8,7,7,8,7 - 5,5,6,5,5,6,5,5,5
	a = 3,3,4,3,3,3,3,3,3,4,3,3,4,3 - 5,5,6,5,5,6,5,5,5
	L = 45,50,40,50,41,45
CAJÓN 	L = 210,220,225,230,210,220,225,230,220,221,220
	H = 85,87,88,90,85,91,85,86,87,90,90,85,90,88,85,90,85,85
	Nº de tablas / cajón = 5 a 6 de tablas entre 15 a 18 cm
Tamaño de piezas más empleado (cotas en cm)	
AGUJAS 	S = 65 a 70
CAJÓN 	L = 210 a 230

MURALLA DE JARDINES DEL VALLE -SEVILLA-


Torres

Tipología según composición material	Tapial común
Tipo de zócalo o pie de aguja	No visible
Tipo de aguja	Planas y/o rollizos, bajo el hilo y sin remate
Medición de huellas e improntas	
Piezas del encofrado	Dimensión de las piezas de encofrado (cotas en cm)
AGUJAS 	S = b = 7,7,8,7,7,7,7,7,7,8,7,7,8,7 - 5,5,6,5,5,6,5,5,5 a = 3,3,4,3,3,3,3,3,3,4,3,3,4,3 - 5,5,6,5,5,6,5,5,5 L = 50,30,41,40,40,50,35,38,40,42,40
CAJÓN 	L= Corrido H= 86,85,85,88,90,87,85,86,87,90,92,85,85,90,90,85 Nº de tablas / cajón = 5 a 6 de tablas entre 15 a 18 cm
Tamaño de piezas más empleado (cotas en cm)	
AGUJAS 	S = 40 a 70 L = 40
CAJÓN 	L= corrido H=85-90

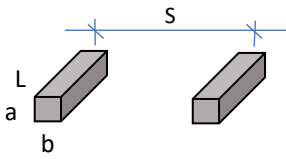
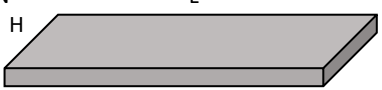
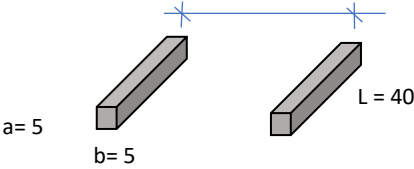

MURALLA DE LA MACARENA -SEVILLA-


Lienzos de muralla

Tipología según composición material	Tapial común
Tipo de zócalo o pie de aguja	No visible
Tipo de aguja	Planas bajo el hilo y sin remate
Medición de huellas e improntas	
Piezas del encofrado	Dimensión de las piezas de encofrado (cotas en cm)
AGUJAS 	S = 60,64,65,70,60,65,65,60,70,70,60,65,63,64,60,62,71 b = 7,8,7,7,9,7,8,9,7,7,7,7,8,7,7,7,7,8,9,7,7,7 a = 3,4,3,3,4,3,4,4,3,3,3,3,4,3,3,3,3,4,4,3,3,3 L = 60,60,70,60,70,60,70,60,60,60,60,62,63,65,64,60,60,
CAJÓN 	L = 220,225,230,224,235,230,220,221,222,220,228,220 H = 80,82,84,80,85,81,80,82,80,85,80,80,85,80,81,80 Nº de tablas / cajón = 4 a 6 de tablas entre 12 a 15 cm
Tamaño de piezas más empleado (cotas en cm)	
AGUJAS 	S = 60-70 L = 60-70
CAJÓN 	L = 220-230 H = 80

MURALLA DE LA MACARENA -SEVILLA-


Barbacana

Tipología según composición material	Tapial común
Tipo de zócalo o pie de aguja	No visible
Tipo de aguja	Rollizos o sección circular, bajo el hilo y sin remate
Medición de huellas e improntas	
Piezas del encofrado	Dimensión de las piezas de encofrado (cotas en cm)
AGUJAS	S = 60,66,68,70,60,65,68,70,74,75,60,74,75,68,70,65,75
	b = 5,5,5,5,6,5,5,5,6,5,5,6,5,5,6,5,5,5,5,5,5,5,5,5,6,5,5
	a = 5,5,5,5,6,5,5,5,6,5,5,6,5,5,5,5,5,5,5,5,5,5,5,5,6,5,5
	L = 40,41,45,40,38,40,45,42,40,40,40,39,38,37,40,40
CAJÓN	L = 220,230,225,222,220,220,220,220,230,225,220,220
	H = 80,80,79,80,81,80,80,80,79,80,78,80,80,80
	Nº de tablas / cajón = 4 a 6 de tablas entre 12 a 15 cm
Tamaño de piezas más empleado (cotas en cm)	
AGUJAS	S = 60-70
	
CAJÓN	L = 220
	

MURALLA DE LA MACARENA -SEVILLA-


Torres

Tipología según composición material	Tapial común
Tipo de zócalo o pie de aguja	No visible
Tipo de aguja	Planas bajo el hilo y sin remate
Medición de huellas e improntas	
Piezas del encofrado	Dimensión de las piezas de encofrado (cotas en cm)
AGUJAS 	S = 60,61,62,60,65,65,64,68,69,70,70,65,60,67,68,70
	b = 7,7,7,7,8,7,7,8,7,7,8,7,7,7,7,8,7,7,7
	a = 3,3,3,3,4,3,3,4,3,3,4,3,3,3,3,4,3,3,3
	L = 45,50,40,45,42,41,44,45,45,50,48,50,50,45,50
CAJÓN 	L = 220,225,220,220,221,222,225,220,220,220
	H = 80,81,85,80,80,83,80,82,80,80,80,81,80,80,80
	Nº de tablas / cajón = 4 a 6 de tablas entre 12 a 15 cm
Tamaño de piezas más empleado (cotas en cm)	
AGUJAS 	S = 60 a 70
CAJÓN 	L = 220 H = 80

MURALLA DE SANLÚCAR LA MAYOR -SEVILLA-


Lienzos de muralla

Tipología según composición material	Tapial común
Tipo de zócalo o pie de aguja	Sin zócalo
Tipo de aguja	Planas, bajo el hilo y sin remate
Medición de huellas e improntas	
Piezas del encofrado	Dimensión de las piezas de encofrado (cotas en cm)
AGUJAS 	S = 65,70,68,75,80,60,5,75,80,75,80,65,70,80
	b = 7,7,7,7,8,7,7,9,7,8,7,8,7,7,9,7,7,7,7,7
	a = 3,3,3,3,4,3,3,4,3,3,4,3,3,4,3,3,4,3,3,3,3
	L = 50,55,60,50,65,50,50,55,57,58,59,60,64,63
CAJÓN 	L = 360,280,300,225,270,300,320,300
	H = 90,88,90,88,87,90,85,90,90,90,85,90,90,90,90
	Nº de tablas / cajón = No se aprecian las huellas. Lienzos muy erosionados
Tamaño de piezas más empleado (cotas en cm)	
AGUJAS 	S = 65 a 80
CAJÓN 	L = 300 a 360

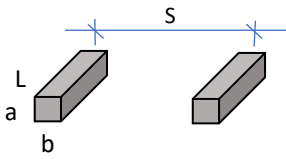

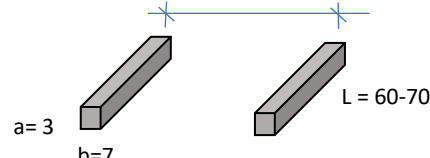

MURALLA DE SANLÚCAR LA MAYOR -SEVILLA-


Torres

Tipología según composición material	Tapial común
Tipo de zócalo o pie de aguja	Sin zócalo
Tipo de aguja	Planas, bajo el hilo y sin remate
Medición de huellas e improntas	
Piezas del encofrado	Dimensión de las piezas de encofrado (cotas en cm)
AGUJAS 	S = 60,65,70,40,50,0,62,60,70,60,60,60
	b = 7,7,7,7,7,8,7,7,9,7,8,7,8,7,7,9,7,7,7,7,7
	a = 3,3,3,3,4,3,3,4,3,3,4,3,3,4,3,3,4,3,3,3,3
	L = 45,40,50,41,42,40,45,40,45,40,41,42,45,42,43,40,40
CAJÓN 	L= Corrido
	H= 90,88,90,90,90,87,88,89,90,90,90,90
	Nº de tablas / cajón = No se aprecian las huellas. Lenzos muy erosionados
Tamaño de piezas más empleado (cotas en cm)	
AGUJAS 	S = 60 a 70
CAJÓN 	L= corrido

MURALLA DE SAN JUAN DE AZNALFARACHE -SEVILLA-


Lienzos de muralla

Tipología según composición material	Tapial común
Tipo de zócalo o pie de aguja	Sillares de piedra
Tipo de aguja	Planas, bajo el hilo y sin remate
Medición de huellas e improntas	
Piezas del encofrado	Dimensión de las piezas de encofrado (cotas en cm)
AGUJAS	S = 60,64,65,70,60,65,65,60,70,70,60,65,63,64,60,62,71
	b = 7,8,7,7,9,7,8,9,7,7,7,8,7,7,7,8,9,7,7,7
	a = 3,4,3,3,4,3,4,4,3,3,3,4,3,3,3,4,4,3,3,3
	L = 60,60,70,60,70,60,70,60,60,60,60,62,63,65,64,60,60,
CAJÓN	L = 220,225,230,224,235,230,220,221,222,220,228,220
	H = 85,87,90,90,88,90,90,88,89,90,90,88,89,90,90,90,90
	Nº de tablas / cajón = 4 a 6 de tablas entre 12 a 15 cm
Tamaño de piezas más empleado (cotas en cm)	
AGUJAS	S = 60 a 70
	L = 60-70
CAJÓN	L = 220 a 230
	H = 90

13.3.- HIPÓTESIS DEL ENCOFRADO DE MUROS JUNTO AL TEATRO ROMANO DE ITÁLICA

La hipótesis que se plantea sobre el módulo de encofrado que puede ser utilizado en la construcción de muros de contención el Cerro de San Antonio junto al Teatro romano de Itálica se ha basado a un proceso de reflexión sobre los datos obtenidos del estudio *in situ*.

Consiste en dos piezas de madera formando un conjunto e independientes para ser colocadas cada una de ellas sobre las paredes de la excavación y arriostradas en el interior para evitar el vuelco.

Las dimensiones de cada una de las piezas se detallan en los croquis que se insertan como imágenes.

