

# TEATRO ROMANO DE CARTAGENA. LOS MATERIALES DE LA CISTERNA Y PAVIMENTO, SEMEJANZAS ENTRE SUS CARACTERÍSTICAS Y TÉCNICA DE APLICACIÓN

Isabel García-Galán, Fundación Teatro Romano, miggr37@yahoo.es  
Reinaldo Sotolongo, JJR0S Restauración S.L., reinaldosl@hotmail.com

## INTRODUCCION

La caracterización de los materiales empleados en la construcción del teatro (morteros, hormigones, materiales pétreos,...), se ha realizado con objeto de complementar la documentación del yacimiento, y establecer criterios objetivos en la selección y aplicación de los materiales de reparación utilizados dentro del proceso de restauración (1) que se desarrolla actualmente en la *cavea* del Teatro, bajo la gestión de la Fundación Teatro Romano de Cartagena (2).

Durante el análisis de los resultados de caracterización de materiales se encontró una semejanza entre las características morfológicas de los materiales que componen el pavimento del *aditus* oriental, y de aquellos empleados para construir la cisterna que se localiza en el perímetro exterior de la *summa cavea*, a la izquierda de la Iglesia de Santa María, actual enclave del Parque de Cornisas (Figura 1).

El presente artículo recoge los resultados del estudio de diagnóstico realizado en estas dos zonas del yacimiento. Hasta el presente sólo se había establecido hipótesis sobre la posible funcionalidad de la cisterna en el teatro, sin existir un hecho que relacionara objetivamente la construcción coetánea del teatro con la cisterna.

## ZONAS DE ESTUDIO

### La cisterna

Fue excavada durante la campaña de 1999 por el equipo de arqueólogos del Teatro(3). De ellas sabemos que eran utilizadas para la recogida y almacenamiento de agua sin que existieran normas concretas para su construcción.

En relación con la cisterna Egea Vivancos señaló: “... De carácter monumental también son las dos cisternas localizadas en la campaña 1999- 2000 del Teatro Romano. Situadas en la parte posterior de la *cavea*, con toda seguridad sirvieron para almacenar el agua necesaria para la limpieza y mantenimiento del edificio...”

La obra está formada por dos naves de planta rectangular (5,5 x 2,4 m<sup>2</sup>), con cubierta de bóveda de medio cañón, actualmente perdida. Ambas naves están separadas mediante un muro. El agua entraba por la nave

izquierda y pasaba a la siguiente por reboso a través de una abertura practicada en el muro medianero a una altura de 1,28 m. Las paredes, suelo y bóvedas se encuentran realizadas en *opus caementicium*, con revestimiento interior de *opus signinum*, que conforma, además, las medias cañas o cordones hidráulicos sobre aristas para garantizar la estanqueidad del recinto frente al agua. El grosor de los muros en el arranque de las bóvedas es de 0,47 m, siendo mayor en su base. En el interior de la cisterna se conservan restos de un estucado fino de cal.

“...Cisterna para almacenamiento de agua construida con ese mismo aparejo...” (Vitruvio, 8.7.14-15); se construye cavando en la tierra unas zanjas que servirán como encofrado para los muros perimetrales de la cisterna. Dentro de ellas se van depositando el mortero y las piezas de piedra en capas bien apisonadas. Finalmente, se vacía la tierra del interior y se asienta el fondo del receptáculo.

### **Pavimento del *aditus* oriental**

En cuanto al *aditus* oriental, lugar donde se conserva el pavimento de *opus signinum*, Ramallo Asensio nos dice: “... En los tramos iniciales situados junto a las entradas de los *aditi* el parapeto se inicia con un frente articulado en dos nichos cuadrangulares pavimentados con *opus signinum* separados por un tramo recto de 2,10 m;...”

*Opus signinum* viene del latín *opus* que significa: obra, aparejo y de la palabra latina *signinum* procedente de Signia, ciudad de la región italiana del Lacio, rica en alfares, hoy Segni. Con este nombre se conocieron varios aparejos usados en la arquitectura e ingeniería hidráulica romanas y las obras realizadas con ellos. Vitruvio designa así un aparejo formado por un mortero de cal, arena y fragmentos pequeños de roca silíceas que se apisonaba para compactarlo.

Plinio el Viejo (*Naturalis Historia*, 35.46.165) se refiere con estos términos a un mortero de cal y cerámica triturada que se usaba para la confección de paramentos impermeables. Este es el material que se usaba para sellar los canales de los acueductos y demás elementos de los sistemas hidráulicos.

La base del pavimento del *aditus* está formada por *opus caementicium*, aunque de apariencia más frágil que aquella que compone la estructura de la cisterna.

El *opus caementicium* está presente en toda la estructura del Teatro, un hormigón o aparejo compuesto de un mortero de cal y arena con guijarros o trozos irregulares de piedra que por su versatilidad daba una gran libertad de construcción en muros y bóvedas.

Una de las referencias más antiguas del *opus caementicium* la hace Catón ( S.II a.C) que describe la construcción *ex calce et caementis*. Su fecha exacta de introducción no se sabe aunque tenemos datos claros de

que su uso se generaliza en los dos últimos siglos de la república en que se desarrolla y generaliza.

Vitrubio (4) es la fuente más completa sobre su utilización. Por él sabemos que la mezcla de los materiales se hacía en proporción de una unidad de cal por tres de arena o dos por cinco, según la calidad de la arena. Menciona también el empleo de adiciones tales como cenizas volcánicas o la teja picada, unos materiales que confieren a los morteros romanos propiedades hidráulicas.

## ANALÍTICAS

El acceso practicado en los muros de la cisterna durante su reutilización como vivienda en época tardía, y la ruptura del pavimento en el *aditus* oriental, justo encima del canal de desagüe (*euripus*), permitió tomar una muestra de los materiales constituyentes (sección en corte) de ambas zonas con objeto de analizar su composición, características y técnica de ejecución.

Las muestras tomadas en el yacimiento fueron tratadas como sigue:

- Lavado con agua destilada y cepillo de celda suave;
- Secado en estufa a  $60 \pm 5$  °C;
- Delimitación del número de capas y separación de cada una por medios mecánicos;

Estudios del *opus*:

- Análisis de las propiedades hídricas del revestimiento y suelo a partir del ensayo de absorción de agua por inmersión aplicando vacío [RILEM, 1980].

Estudio de la matriz (mortero):

- Separación de las distintas fracciones granulométricas, previa separación de los cascotes de piedra (*opus caementicium*) y cerámica triturada (*opus signinum*);
- Cálculo de la composición básica;
- Análisis mineralógico del conglomerante y los áridos a través de las técnicas:
  - ✓ Difracción de rayos X,
  - ✓ Espectroscopia de absorción infrarroja,
  - ✓ Evaluación de posibles tratamientos orgánicos de impermeabilización sobre restos del estuco de la cisterna empleando la técnica de cromatografía de gases.

Los resultados de este estudio, recogidos en las Tablas I y II, se complementan con los siguientes ensayos realizados en el yacimiento:

- Dureza a indentación, evaluado sobre la superficie del pavimento, utilizando un durómetro Shore C (UNE EN 102 - 031).

- Resistencia al impacto, obtenida con un martillo Schmidt tipo PM, marca PROCEQSA, previo calibrado en el laboratorio para el tipo de material a caracterizar. La resistencia a compresión estimada se ha calculado a partir de la siguiente ecuación experimental:
  - $R_c = 0,27774 R_i - 1,11072$
- *donde*:  $R_c$  es la resistencia a compresión estimada,
- $R_i$  es la resistencia al impacto medida con el esclerómetro.
  
- Permeabilidad al agua, utilizando el método de la pipeta Karsten (RILEM, 1980). La permeabilidad se mide en la superficie del pavimento y muros de la cisterna. La columna de agua contenida dentro de la pipeta ejerce una presión de 961,4 Pa, que se corresponde con la presión dinámica equivalente a la caída del agua de lluvia con viento de 142,6 Km/h. Sobre la base de este ensayo, y en el marco de los estudios europeos sobre materiales y tratamientos de superficie frente a la humedad (De Witte & Col, 1997), se considera que un material es resistente a la penetración del agua de lluvia sí el contenido de agua absorbida por el material entre 5 y 15 minutos (WAP) es igual o inferior a 0,5 cm<sup>3</sup>.

**TABLA I A**  
**CARACTERIZACIÓN DEL PAVIMENTO**

		<b>Espesor (mm)</b>
Nº de capas: 2	<b>Base:</b> <i>Opus caementicium</i> (1)	-
	<b>Superficie:</b> <i>opus signinum</i> (2)	<b>20 - 30</b>

**Capa integral (*opus signinum*)**

<b>Ensayo</b>	<b>Suelo</b>
Absorción por inmersión de agua al vacío (%)	<b>13,5</b>
Porosidad accesible al agua (%)	<b>25,4</b>
Densidad aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	<b>1880</b>
Resistencia a la indentación (Shore C):	
seco	<b>97</b>
húmedo	<b>95</b>
Resistencia al impacto (índice de rebote)	<b>55</b>
Resistencia a compresión equivalente (N/mm <sup>2</sup> )	<b>14,2</b>
Permeabilidad WAP (cm <sup>3</sup> )	<b>0,10</b>

**TABLA I B**  
**CARACTERIZACIÓN DEL PAVIMENTO**

**Sólo el mortero**

Ensayo	en Capa	
	1	2
Relación conglomerante / árido (en volumen)	1 / 5,2	1 / 0,5
Identificación básica	Cal y finos silíceos	Cal y finos silíceos
Granulometría de la arena (mm):	% que pasa	
4,000	43,8	100
2,000	28,9	100
1,000	19,6	100
0,500	12,6	98,1
0,250	8,1	88,7
0,125	3,9	58,7
0,063	1,0	23,6

**TABLA II A**  
**CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DE LA CISTERNA**

		Espesor (mm)
Nº de capas: 2	<i>Opus caementicium</i> (1)	-
	<i>Opus signinum</i> (2)	20
	<i>Opus signinum</i> (3)	5 - 25
	Estuco (4)	1,5 - 2

**Capa integral (*opus signinum*)**

Ensayo	Revestimiento	
	2	3
Absorción por inmersión de agua al vacío (%)	18,9	22,9
Porosidad accesible al agua (%)	32,6	36,5
Densidad aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	1720	1580
Resistencia al impacto (índice de rebote)	-	56
Resistencia a compresión equivalente (N/mm <sup>2</sup> )	-	14,4
Permeabilidad WAP (cm <sup>3</sup> )	-	0,05 – 0,21

La resistencia al impacto del suelo del cisterna fue 78, para una resistencia a compresión equivalente a 20 N/mm<sup>2</sup>

**TABLA II B**  
**CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DE LA CISTERNA**

**Sólo el mortero**

Ensayo	en Capa		
	1	2	3
Relación conglomerante / árido (en volumen)	1 / 2,0	1 / 0,4	1 / 0,6
Identificación básica	Cal y finos silíceos	Cal y finos silíceos	Cal y finos silíceos
Granulometría de la arena (mm):	% que pasa		
4,000	71,3	100	100
2,000	53,9	100	100
1,000	40,5	100	100
0,500	27,9	97,2	97,0
0,250	16,5	89,8	80,6
0,125	8,8	61,7	44,3
0,063	2,5	29,3	17,7

El estucado (capa 4) presenta una relación conglomerante / árido = 1 / 0,3, presentando la arena un tamaño máximo en 0,5 mm.

**RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN**

Los resultados analíticos sobre caracterización de propiedades de los aparejos de época romana, desarrollados simultáneamente en ambas zonas, han permitido encontrar puntos de coincidencia no sólo en la composición y dosificación de los materiales utilizados en su construcción, sino también en cuanto a su técnica de aplicación.

El *opus caementicium* que constituye la estructura de muros y bóvedas de la cisterna difiere del empleado como base para el pavimento del *aditus* oriental. En el primer caso, la matriz de mortero que aúna los cascotes de piedra tiene una función portante al tener que soportar el empuje del agua contenida, mientras que el *opus caementicium* que sirve de base al pavimento está constituido por un mortero más pobre cuya única función es la nivelación del terreno para recibir el *nucleus* de pavimento. No obstante las diferencias encontradas en cuanto a dosificación e incluso granulometría de los áridos (Tablas I y II), la composición mineralógica de ambas muestras analizadas es similar como se recoge en la figura 2. La fracción fina de los morteros está constituida por un 68 % de carbonato de calcio, con cuarzo, micas y posibles trazas de dolomita y feldespato, unos resultados similares a los obtenidos en morteros de relleno de la *ima cavea* y recogido en un Informe Técnico previo al proceso de restauración actual (5)

Las semejanzas de las que se ha hecho referencia son más marcadas en el revestimiento de las cisternas y pavimento del *aditus* oriental. En ambos aparejos se ha utilizado teja triturada con tamaño muy uniforme. La matriz en todos los casos estaba constituida por cal hidratada y arena fina cribada a 1 mm, en proporción muy rica en cal, constituyendo una mezcla propia de estuco, compactada con esmero hasta integrar perfectamente los trozos de cerámica (Figura 3).

Matizando las semejanzas encontradas entre los materiales analizados, resulta significativo el hecho de que las diferencias entre la granulometría de las dos capas del revestimiento de la cisterna sean mayores que entre el pavimento y los revestimientos en sí; resultados todos dentro de los límites granulométricos tolerados actualmente para áridos en morteros de albañilería (prEN 13139). Semejanzas se detectan, también, cuando comparamos la estructura del pavimento y el revestimiento de la cisterna (Figura 4)

Los espectros de adsorción ir de la fracción fina del *nucleus* en el *opus signinum* de ambas zonas (Figuras 5 y 6), muestran una composición similar, rica en carbonato de calcio, con presencia de silicatos procedentes de la arena y la propia arcilla triturada.

Las propiedades hídricas del *opus signinum* son adecuadas y similares a las que presentan los morteros tradicionales de cal, con una absorción de agua al vacío mayor en los revestimientos de la cisterna. Es lógico que la porosidad accesible sea mayor en los morteros de revestimiento de muros, ya que la fuerza de repretado en vertical nunca va ser mayor que aquella que se ejerce sobre el material en horizontal, caso del pavimento y el propio suelo de la cisterna. No obstante, los resultados de absorción son orientativos del comportamiento frente al agua del *opus signinum*, ya que su comportamiento impermeable está relacionado directamente con la estructura compacta, de poros cerrados, que exhibe su superficie expuesta al agua. Los resultados de permeabilidad WAP corroboran lo anterior.

El grado de compactación alcanzado en el *opus signinum* se evidencia en los resultados mecánicos recogidos en las Tablas I y II, donde destaca la resistencia del suelo de la cisterna, en torno a los 20 N/mm<sup>2</sup>, gracias a la compactación aplicada durante su construcción.

El ensayo de extracción de fases orgánicas y aplicación de la cromatografía de gases para identificar, y evaluar, posibles tratamientos de protección han dado un resultado negativo. La función de protección y estanqueidad en la capa externa del *opus signinum* se logró gracias a la técnica de aplicación utilizada, y al efecto del estuco aplicado en su día como garantía de la ya mencionada estanqueidad al agua de la cisterna.

Toda referencia escrita sobre empleo del *opus signinum* (6) en la construcción de piscinas, cisternas y pavimentos, dado sus características de impermeabilidad al agua y dureza, queda corroborada con los resultados del presente estudio.

El comportamiento logrado en el *opus signinum* empleado en el teatro se debe:

- ✓ a la utilización de una técnica de aplicación depurada, que implica el perfecto repretado del aparejo en estado fresco para garantizar buena estabilidad de volumen, libre de retracciones que puedan afectar su comportamiento físico – mecánico, comprometiendo su durabilidad.
- ✓ a la dosificación empleada en el *nucleus*, rica en cal, base indiscutible de la experiencia sobre aplicación de estucados en la protección de los paramentos y recintos destinados a contener agua.

## NOTAS

1. JJROS Restauración S.L.
2. Dicha fundación esta integrada por la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, el Ayuntamiento de Cartagena, la fundación Caja Murcia y Saras Energía.
3. Bajo la dirección científica de Don Sebastián Ramallo y Doña Elena Ruiz.
4. (NH, XXXV, 46, 164):*quid non excogitat vita fractis etiam testis utendo,sic ut firnius durent,tunsis calce addita,quae vocant signina!quo genere etiam pavimenta excogitavit.*
5. García- Galán, M.,Informe Técnico de la Restauración del Teatro Romano de Cartagena, 2002, sin publicar.
6. C.F.Giuliani 1992, pp. 89-94.

## BIBLIOGRAFIA

ADAM, J-P., *La Construcción Romana. Materiales y Técnicas*, 2ª Ed., León, 2002, 373p.

DE MEDRANO, L., Aparejos de Construcción Romanos (opus), La web, <http://centros5.pntic.mec.es/ies.lucia.de.medrano/CBG/opus.htm>, 06/07/2005

DE WITTE, E. & COL., <<Measurement Techniques>>, *Evaluation of the performance of surface treatments for the conservation of historic brick masonry*, Research report N° 7, EUR 17979 EN, p. 69 – 88.

EGEA VIVANCOS, A., “Ingeniería hidráulica en Carthago Nova: Las cisternas”, *Mastia* n° 2, ED. Ligia Comunicación y Tecnología, Sl., Cartagena, 2003.

GARATE ROJAS, I.: *Artes de la Cal*, Ed. Munilla-Lería, Madrid, 2002.

GIULIANI,C.F: “ Opus signinum e cocchiopesto”, *L´edilizia nell´antichità*, Ed. Roma: La Nuova Italia Científica, Roma, 1992.

GOMEZ PENA, L., *Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte*, Ed. Cátedra, Madrid, 2002.

MATTEINI, M.; MOLES, A., *Ciencia y restauración*, Ed. Nerea, Hondarrubia, 2001.

Norma UNE – EN 102 – 031, “*Yesos y escayolas de construcción. Métodos de ensayo físicos y mecánicos*”, AENOR, España, 1998.

PLINIO EL VIEJO, *Historia Natural*, Ed. Gredos, Madrid, 1998.  
Proyecto de norma EN 13139, “*Aggregates for mortar*”, AENOR, España.

RAMALLO ASENSIO, S.; RUIZ VALDERAS, E., *El Teatro Romano de Cartagena*, Ed KR, Murcia, 1998.

RAMALLO ASENSIO, S. F.; RUIZ VALDERAS E., “*Teatro Romano de Cartagena. Campaña 1999-2000*”, *Resúmenes de las XII Jornadas de Patrimonio Histórico y Arqueológico Regional*, Ed. Ligia Comunicación y Tecnología, S.L Murcia, 2001.

RILEM, Commission 25 PEM, <<Essais recommandés pour mesurer l’altération des pierres et évaluer l’effetementé des methodes de traitement>>, *Matériaux et Constructions*, n° 75, Paris, 1980, p. 175 – 253.

SAN ANDRES MOYA M., *Fundamentos de química y física para la conservación y restauración*, Ed. Síntesis, Madrid, 2004.

VITRUBIO M. L., *Los Diez Libros de Arquitectura*, Ed. Iberia, Barcelona, 1997.

### **FIGURA 1**

Vista aérea del yacimiento arqueológico previo trabajo de restauración.

### **FIGURA 2**

Espectro de difracción de rayos X  
superior: *opus caementicium* cisterna; inferior: *opus caementicium* pavimento.

### **FIGURA 3**

Sección en corte del pavimento de *opus signinum*, mostrando su estructura compacta y perfecta integración matriz (*nucleus*) – cerámica.

### **FIGURA 4**

Semejanzas en la estructura del *opus signinum* empleado como pavimento (izquierda) con la del revestimiento de la cisterna (derecha).

**FIGURA 5**

Composición del *nucleus* del *opus signinum* en revestimiento de cisterna (Espectroscopia IR).

**FIGURA 6**

Composición del *nucleus* del *opus signinum* en pavimento del *aditus* oriental (Espectroscopia IR).

**M<sup>o</sup> Isabel García-Galán Ruiz.**

Diplomada en Restauración de Material Arqueológico por la Escuela de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Galicia.

Licenciada Historia Antigua y Arqueología por la Facultad de Historia de la Universidad de Murcia. Título de la tesis: Procesos de alteración y tratamientos de Conservación-Restauración en los yacimientos arqueológicos: El Teatro Romano de Cartagena (en proceso de redacción).

Actualmente lleva la codirección de la restauración del Teatro Romano de Cartagena.

**Reinaldo Sotolongo Lorente.**

Licenciado en Química, especialista en Materiales de Construcción con más de 20 años de experiencia en el estudio y diseño de morteros y hormigones.