

ESTUDIO DE MORTEROS TRADICIONALES DE CAL EN ÁREA MAYA. COMPORTAMIENTO DE DISTINTOS ÁRIDOS FRENTE A ENSAYOS FÍSICO-QUÍMICOS

Francisca Lorenzo Mora y Begoña Carrascosa Moliner

*Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio
Universitat Politècnica de València.*

Autor de contacto: Begoña Carrascosa Moliner becarmo@crbc.upv.es

RESUMEN: *Los estudios arqueométricos dirigidos a los estucos mayas han ayudado a conocer gran parte de su composición; pero varios procedimientos en el apagado de la cal, así como diferentes aditivos orgánicos pudieron ser empleados, influyendo directamente en sus características.*

En base a las técnicas de manufactura prehispánicas, se están estudiando diversas composiciones de mortero que puedan ser empleadas en la reintegración de los estucos incisos que se conservan en el sitio arqueológico La Blanca, en Petén, Guatemala.

En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos en los ensayos de permeabilidad al vapor de agua y resistencia a la cristalización de sales, que se han realizado a probetas de mortero con distintas composiciones y dosificaciones.

PALABRAS CLAVE: Estuco, maya, cal, aditivo orgánico, permeabilidad, cristalización, conservación.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de los estucos de cal de la antigua cultura maya ha interesado a numerosos investigadores del ámbito de la arqueología desde la primera mitad del pasado siglo. Hasta la fecha existen cuantiosos estudios que han indagado en diferentes aspectos relacionados con la producción de estos revestimientos, tales como el empleo de aditivos orgánicos extraídos de diversas cortezas de árboles, la producción tradicional de la cal, o la caracterización y experimentación de la técnica de fabricación de los estucos.

La piedra caliza se explotaba en canteras abiertas para ser calcinada después en piras de leña de gran tamaño, de distinta tipología, pero presumiblemente, de madera con alto contenido en agua con la que se conseguía un quemado lento y controlado de la piedra (Schreiner: 2002).

Al obtenerse el óxido de calcio, o cal viva, tras la quema de la piedra, se procedía a su apagado para poder ser empleada como conglomerante en la fabricación de los estucos y morteros. El proceso del apagado pudo haberse realizado de varias formas que, según fuentes etnohistóricas, pudo haber dependido de la zona geográfica (Muñoz: 2006).

El apagado por inmersión consistió en introducir la cal viva en balsas de agua en las que previamente se habían dejado macerar cortezas de algunas especies arbóreas específicas, produciéndose la disolución de sus gomas en el agua, y actuando éstas como aditivos orgánicos de carácter glutinosos, modificando las características del

producto final, consiguiendo un estuco más fuerte y resistente.

En el apagado por pudrición, por el contrario, la cal viva se dejaba expuesta a la intemperie, donde el agua contenida en el alto porcentaje de humedad ambiental, producía el apagado de ésta, formándose el hidróxido de calcio necesario para la elaboración de estos estucos. Ambos procesos pudieron haberse realizado sólo con la cal, o bien mezclando el árido junto con la cal para su apagado (Magaloni: 1995).

El árido empleado en la mezcla, bien pudo variar dependiendo de la geología de la zona en que estuviera ubicado el asentamiento. El *sascab*, una arena blanca muy fina, pudo haber sido el componente árido más empleado. Este árido se encuentra de forma natural en depósitos del subsuelo y su formación de debe a la intemperización de la piedra caliza y la combinación con otros minerales arcillosos presentes en el subsuelo (Littman: 1957).

Con estos materiales brindados por el entorno, los antiguos mayas elaboraron excelentes pastas de cal, alcanzando un gran nivel técnico, sobretodo hacia el periodo Clásico (500-900 d.C), con la realización extraordinarios trabajos como revestimientos pintados, grandes relieves ornamentales y estelas, muchos de ellos conservados en parte, hasta la actualidad.

Con la proliferación en el tiempo de las excavaciones arqueológicas en área maya, estos estucos, convertidos hoy en vestigios, se están viendo muy afectados por la

exposición a la intemperie, llegando en muchos casos incluso a perderse en muy poco tiempo.

Las condiciones ambientales propias de un clima tan extremo, provocan la mayoría de patologías sobre los materiales expuestos ya que crean un ambiente saturado de humedad, por las continuas lluvias, que se depositan sobre el suelo y sobre el basamento de las ruinas, para ascender después por capilaridad, hasta llegar a los muros constructivos de éstas, y por ende, a los estucos que los recubren. Este proceso es cíclico e inevitable.

Desde el momento en que las ruinas son expuestas a la luz, se rompe el equilibrio que las había protegido y conservado en el tiempo, viéndose afectadas por unas condiciones nuevas mucho más dañinas. A esto debemos sumarle el brusco cambio que el paisaje ha experimentado desde tiempos prehispánicos, ya que la deforestación actual, en zonas selváticas como El Petén guatemalteco avanza ferozmente, promovida por la explotación agraria y ganadera. Las ruinas se hallan ahora en un entorno desprovisto de la vegetación que tiempo atrás las resguardó y contribuyó a crear un clima menos agresivo.

La Blanca es un sitio arqueológico ubicado en el departamento de El Petén, cuyas ruinas han sido investigadas por el Proyecto desde el año 2004. Durante estos años se ha sacado a la luz la zona de la Acrópolis de esta antigua ciudad, compuesta por grandes estancias habitacionales, en cuyo interior se han hallado importantes restos de estuco, repletos de grafitos incisos, de temática y técnica muy variada.

Anualmente, se han estado realizando intervenciones de urgencia sobre estos estucos en zonas muy puntuales, así como actuaciones de carácter preventivo y de protección de esos paramentos.

Desde el año 2008, se está llevando a cabo una investigación con el propósito de recoger y experimentar la metodología maya de elaboración de estucos de cal para aplicarla en la búsqueda de un mortero de reintegración que pueda ser empleado en la restauración definitiva de estos revestimientos, de forma que sea una intervención económica, accesible y sostenible.

2. OBJETIVOS

Los objetivos generales de esta investigación son:

- Comparar mediante la experimentación práctica los posibles métodos de elaboración de estucos que emplearon los antiguos mayas, según las fuentes etnohistóricas y etnográficas, recogidas en la bibliografía existente, referentes a estudios mayas.

- Hallar diferencias significativas en las características de estos morteros mediante su estudio, a través de diversos ensayos físico-mecánicos y físico-químicos.

- Determinar aquellos materiales naturales y procesos de elaboración que ofrecen un estuco más afín a los revestimientos que se conservan en La Blanca, y así poder ejecutar una propuesta de intervención para su restauración definitiva.

Objetivos concretos del presente trabajo:

- Someter a ensayo de permeabilidad al vapor de agua y resistencia a la cristalización de sales, dos tipos de mortero realizados con distintos áridos locales y con diferentes porcentajes de aditivos orgánicos.

- Valorar los resultados que muestren para comprender diferencias en sus características que pueden variar, tales como la porosidad, compactación, o la resistencia a los agentes salinos.

3. METODOLOGÍA

Las probetas sometidas a ensayo corresponden a dos campañas de trabajo distintas en el sitio arqueológico La Blanca. En 2011, se realizó el primer grupo de probetas de mortero de manera más experimental, recogiendo la arena blanca más cercana de la que se disponía en las inmediaciones de La Blanca.

En la temporada 2013, se descubrió un depósito de *sascab*, con lo que se decidió emplear este árido tan referenciado en diversos estudios. Asimismo; los aditivos orgánicos de que se dispusieron fueron los derivados de las cortezas de tres árboles que crecen de forma abundante en el entorno de La Blanca, y que se conocen desde tiempos prehispánicos.

En las probetas de 2011, las maceraciones se realizaron empleando la misma cantidad, en volumen, de cortezas en la misma cantidad de agua. Para las probetas de 2013, se realizó previamente un ensayo de cocción (Lorenzo y Carrascosa: 2014), para la extracción y medición del exudado que produce cada corteza, con el objetivo de poder cuantificarlo y añadirlo de forma intencionada en los morteros en dos porcentajes distintos: 0,5% y 2%.

3.1 Elaboración de las probetas.

Los materiales empleados para estos dos grupos de probetas fueron los brindados por el entorno de La Blanca; se recolectaron en el momento de ser empleados, no excediéndose en la extracción de más material del necesario. (Tabla 1)

Tabla 1. Procedencia de los materiales empleados para cada grupo de probetas.

Material	Origen	
	2011	2013
Cal apagada	Sitio arqueológico Yax-Há. Sitio muy cercano a La Blanca, donde calcinan y apagan la cal en balsas de agua.	Cal viva de la calera de San Benito, apagada por inmersión con agua corriente.
Cal viva	Obtenida de la calera de San Benito, población cercana a La Blanca	Obtenida de la calera de San Benito, población cercana a La Blanca
Arena blanca	Obtenida del subsuelo del sitio La Blanca.	
<i>Sascab</i>		Depósito de la localidad de Paxcaman, cercano a La Blanca.
Cortezas de árbol Ramón (<i>Brosimum Alicastrum</i>) Cortezas de árbol Pixoy (<i>Guazuma Ulmifolia</i>) Cortezas de árbol Habin (<i>Piscidia Piscipula L.</i>)	Obtenidas de los propios árboles que se encuentran en el entorno de La Blanca.	Obtenidas de los propios árboles que se encuentran en el entorno de La Blanca.
Agua	Obtenida de la laguna de La Blanca	Obtenida de la laguna de La Blanca

Las probetas se realizaron en el estudio-taller del Proyecto, ubicado en la localidad de Flores, próxima al sitio arqueológico La Blanca.

Se dejaron orear a temperatura ambiente durante 5 días, tras los cuales se pudieron desmoldear para favorecer la penetración de aire.

Las condiciones ambientales durante el proceso de elaboración de las probetas fueron registradas mediante

Las condiciones ambientales durante el proceso de elaboración de las probetas fueron registradas mediante un termohigrómetro Escort Data Logger; con una media de 24,1°C y 95,1% HR. Los diferentes tipos de estuco realizados que se han sometido a ensayo se resumen en la siguiente tabla. (Tabla 2)

Figura 1. Conjunto de probetas sometidas a ensayo.



Tabla 2. Materiales y porcentajes empleados en la elaboración de cada grupo de probetas.

Año	G	Cal	Agua de apagado	%	Árido	Agua añadida	%	N
2011	A	Cal viva	Maceración de Ramón	-	Arena blanca	Macerado de Ramón	-	CAR
			Maceración de Habin	-		Macerado de Habin	-	CAH
			Maceración de Pixoy	-		Macerado de Pixoy	-	CAP
	Y	Cal apagada	-		Arena blanca	Macerado de Ramón	-	CYR
			-			Macerado de Habin	-	CYH
	P	Cal apagada	-		Arena blanca	Agua corriente		P11
2013	V	Cal viva	Maceración de Ramón	0,5	<i>Sascab</i>	Macerado de Ramón	0,5	CVR5
				2			2	CVR2
			Maceración de Habin	0,5		Macerado de Habin	0,5	CVH5
				2			2	CVH2
			Maceración de Pixoy	0,5		Macerado de Pixoy	0,5	CVP5
				2			2	CVP2
	A	Cal viva	Agua corriente		<i>Sascab</i>	Macerado de Ramón	0,5	CAR5
							2	CAR2
						Macerado de habin	0,5	CAH5
							2	CAH2
						Macerado de Pixoy	0,5	CAP5
							2	CAP2
P	Cal viva	Agua corriente		<i>sascab</i>	Agua corriente		P13	

3.2 Justificación de los ensayos realizados.

El paso continuo de agua a través del interior del estuco, provoca además de la disolución de parte de sus

componentes, la transmisión de sales solubles que, al evaporar hacia la superficie van cristalizando a su paso, disgregando el material al romper su estructura interna. Por ello, es importante caracterizar el comportamiento hídrico de los morteros experimentales. Con estos dos

ensayos físico-químicos, las probetas se enfrentan a varios agentes de deterioro fundamentales; el agua, el calor y las soluciones salinas.

a) Determinación de la permeabilidad al vapor de agua.

Con este ensayo se pretende comprobar la transpiración de los estucos fabricados y la influencia que las distintas gomas vegetales y los dos procedimientos de apagado de la cal tienen en la porosidad y permeabilidad de estos estucos. Este parámetro es de gran importancia ya que el estuco susceptible de ser empleado en la restauración de los revestimientos originales, ha de ser lo suficientemente permeable para favorecer la libre transpiración de la humedad contenida en el soporte pétreo, así como evitar la cristalización de sales solubles entre ambos estratos.

Este ensayo ha sido realizado conforme a la norma española UNE-EN 15803, empleando tres probetas cilíndricas de cada tipo de estuco de dimensiones 4x1cm, siendo un total de veintiuna probetas para los morteros de 2011 y treinta y nueve para las probetas de 2013. El procedimiento realizado se denomina cubeta húmeda y aporta directrices sobre el comportamiento de los materiales en condiciones de humedad elevada. A una humedad elevada, los poros de la probeta empiezan a llenarse de agua lo que aumenta el transporte de agua en estado líquido y reduce el de vapor de agua.

Los resultados de este ensayo proporcionan información sobre el transporte de agua en estado líquido en los materiales porosos.

Las probetas se montan sobre un recipiente del mismo diámetro y se sella la unión mediante Parafilm "M"[®], consiguiendo una junta de estanqueidad adecuada. Previamente en el recipiente se introduce una solución salina saturada, en este caso nitrato potásico (KNO₃), para conseguir una humedad relativa de 93% en el aire, a una temperatura de 23°C. Se realizan diferentes pesadas en intervalos de tiempo.

Para cada serie de probetas se calcula la variación de la masa acumulada (Δm_i) en %, mediante la siguiente formulación:

$$\Delta m_i = \frac{m_i - m_0}{m_i} \cdot 100$$

b) Resistencia a la cristalización de sales.

Dada la elevada humedad pero también la elevada temperatura en los sitios arqueológicos del área maya, sobretodo si se encuentran expuestos a las condiciones ambientales, es un factor de deterioro muy grave la cristalización de sales tanto en el interior como en el exterior del estuco en forma de eflorescencias, ya que provoca de forma rápida la desintegración de su

estructura interna, en forma de material pulverulento y resquebrajado.

Con este ensayo de deterioro por acción de un agente agresivo, en este caso sales, se evalúa la resistencia relativa que los distintos tipos de estuco fabricados poseen frente a las alteraciones que provocan los ciclos de cristalización de sales.

El ensayo se ha realizado conforme a la norma española UNE-EN 12370: 1999, empleando cuatro probetas cúbicas de cada tipo de estuco de dimensiones 2x2x2 cm, siendo en total veintiocho las probetas ensayadas para el grupo de 2011 y cincuenta y dos para el grupo de 2013.

Después de secar hasta masa constante, las probetas se marcan con una etiqueta y se sumergen en una solución de sulfato sódico al 14% durante dos horas.

Seguidamente se secan en estufa de aire caliente a 60°C durante 24h. Este ciclo se repite quince veces, o hasta que las probetas se quiebren o desagan. Se determina la variación de la masa en porcentaje, expresado como una diferencia de la masa relativa ΔM (pérdida o ganancia de masa), con respecto a la masa seca inicial M_d , o bien como el número de ciclos necesarios para provocar la degradación de la probeta, mediante la fórmula:

$$\Delta M = \frac{m_f - m_{d1}}{m_d} \cdot 100$$

4. RESULTADOS

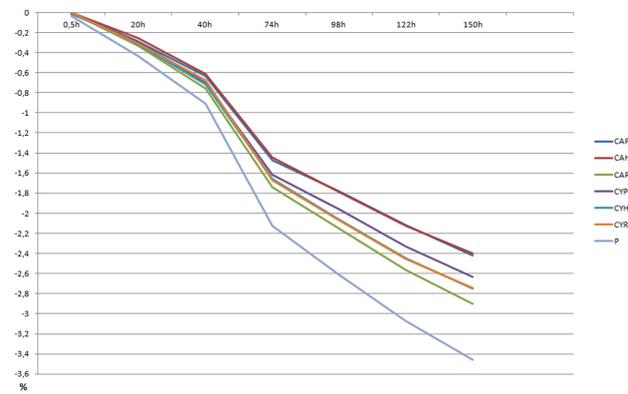
4.1. Probetas 2011.

a) Determinación de la permeabilidad al vapor de agua.

En el gráfico representativo se observan curvas muy parecidas en las primeras 40h para todas las probetas excepto para la probeta P, que siempre se mantiene por debajo del resto mostrando una mayor permeabilidad al perder masa más rápidamente, llegando a una pérdida de 3,46% de masa. (Figura 2)

A partir de las 72h, las probetas CAP y CAH se mantienen en la misma línea, registrando una pérdida de 2,42 y 2,39 % respectivamente. Las probetas CAR, CYP, CYH y CYR, mantienen una curva similar, siendo poca la variación entre ellas, y siendo la probeta CAR la más permeable con un 2,90% de pérdida, exceptuando la probeta P.

Figura 2. Curva de permeabilidad al vapor de agua que describen las probetas de 2011.



La diferencia que se observa entre los grupos A y Y, fabricados con aditivos orgánicos, y el grupo P, estuco realizado sin ningún aporte de goma orgánica, puede ser indicadora de cierto efecto impermeable en las probetas con aditivos orgánicos, ya que su pérdida de masa es considerablemente menor, como resultado de una menor permeabilidad, posiblemente por la reducción de porosidad en el estuco (Tabla 3).

Tabla 3. Variación de masa acumulada por horas y grupos A, V y P.

PROBETAS	0,5h	20h	40h	74h	98h	122h	150h	PROMEDIO
CAP	-0,013336001	-0,286724011	-0,633460025	-1,473628059	-1,780356071	-2,120424085	-2,420484097	-1,24691605
CAH	0	-0,257313109	-0,609425785	-1,442307692	-1,787648971	-2,126218852	-2,397074756	-1,231427024
CAR	0	-0,327708827	-0,760005578	-1,736159531	-2,154511226	-2,565890392	-2,900571747	-1,492121043
PROMEDIO	-0,004445334	-0,290581983	-0,667630463	-1,550698428	-1,907505423	-2,270844443	-2,5727102	-1,323488039
CYP	0	-0,291302538	-0,700513247	-1,616035511	-1,962824247	-2,330420308	-2,635594396	-1,362384321
CYH	0	-0,317350811	-0,717488789	-1,65574336	-2,062780269	-2,449120386	-2,752673336	-1,422165279
CYR	0	-0,306684324	-0,676099533	-1,672823587	-2,070119189	-2,453474594	-2,746218722	-1,417917135
PROMEDIO	0	-0,305112558	-0,698033857	-1,648200819	-2,031907902	-2,411005096	-2,711495484	-1,400822245
P	-0,036271309	-0,435255713	-0,906782735	-2,125498731	-2,611534276	-3,075807037	-3,460282916	-1,807347531

b) Resistencia a la cristalización de sales.

Las probetas de este grupo 2011 fueron sometidas a quince ciclos de deterioro por cristalización de sales

Figura 3. Estado de las probetas 2011 tras los quince ciclos de cristalización de sales.



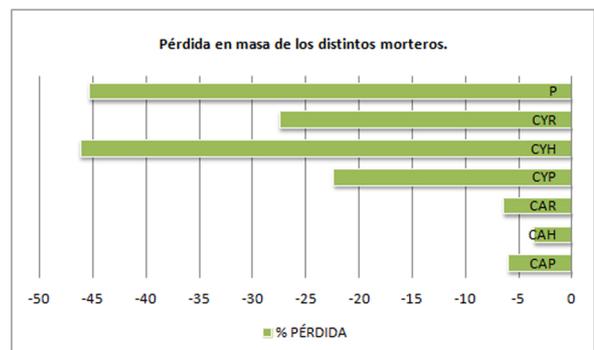
Se pudieron observar los primeros resultados en la cuarta inmersión en solución salina, ya que se fragmentaron parte de las probetas CYH2, CYH3, CYP2, CYH1, P1, P3 y P4, quedando las probetas del grupo A intactas.(Figura 3)

Tras el quinto baño se descartan CYH2, CYH3, P4, CYP2 y CYP3 por estar desintegradas. En el sexto baño se descartan las probetas P2, P3, P1, CYH1 y CYH4; y tras el séptimo baño las probetas CYR2, CYR4 y CYP4.

Las probetas son secadas y pesadas después del ensayo. Al calcular los porcentajes de pérdida de masa, obtenemos un gráfico muy representativo en el que se observa una gran diferencia entre el grupo A, realizado mediante el apagado de la cal con la maceración de las cortezas vegetales, y el grupo Y, con un pequeño aporte orgánico tras el apagado en agua de la cal.

Las probetas del grupo A han resistido perfectamente los quince ciclos de cristalización, presentando pérdida de masa en un porcentaje muy bajo; por el contrario, el grupo Y presenta grandes pérdidas de masa desde los primeros ciclos, llegando al máximo porcentaje de pérdida para la probeta CYH, con un 46,08%, que supera incluso a las probetas P, sin aditivo orgánico, que se queda en un 45,2%.(Figura 4)

Figura 4. Porcentaje de pérdida de masa por tipo de estuco para el grupo de 2011.



En conclusión puede decirse que tras este ensayo en el que todas las probetas han experimentado pérdida de masa, se observa una gran diferencia en cuanto a la

resistencia que ofrece el grupo A frente a los grupos Y y P, siendo el primero más firme.

Este resultado lleva a pensar en la posibilidad de que la metodología empleada en el apagado de la cal, empleando tres maceraciones de cortezas diferentes, tiene una influencia directa con la compactación del estuco, su dureza y sobretodo su resistencia a las continuas cristalizaciones de soluciones salinas en su interior.

Tabla 4. Promedio de pérdida de masa acumulada por grupos A, V y P y por tipo de aditivo orgánico empleado.

PROBETA	0,5h	20h	44h	68h	92h	116h	140h	164h	188h	212h	PROMEDIO
CVP5	-0,014784151	-0,199586044	-0,443524542	-0,783560024	-1,11620343	-1,633890285	-1,870231835	-2,18066233	-2,483737433	-2,875517445	-1,360169752
CVP2	-0,013740982	-0,288560632	-0,508416352	-0,851940914	-1,16111302	-1,662887377	-1,825949149	-2,191686706	-2,542081759	-2,892476812	-1,39388537
CVR5	-0,01473948	-0,331638293	-0,50114231	-0,869629302	-1,186528116	-1,698975455	-1,824534161	-2,240400914	-2,586778687	-2,970005159	-1,422437188
CVR2	-0,014670285	-0,256729993	-0,498789701	-0,836206264	-1,158952542	-1,694666569	-1,901014855	-2,259223942	-2,596640505	-3,000073351	-1,421696801
CVH5	0	-0,233727601	-0,424959275	-0,722430767	-1,026984914	-1,497981443	-1,677197217	-1,968977973	-2,316028047	-2,627664849	-1,249595209
CVH2	-0,007526153	-0,285993829	-0,549409197	-0,910664559	-1,286972228	-1,859099804	-2,07185448	-2,445999849	-2,837359825	-3,236245955	-1,549112588
	-0,010910175	-0,266039399	-0,487706896	-0,829071972	-1,156125708	-1,674583489	-1,86179695	-2,214491952	-2,560437709	-2,933663929	-1,399482818
CAP5	0	-0,220813448	-0,427380868	-0,762162547	-1,068452169	-1,559940167	-1,749000571	-2,051428164	-2,371963815	-2,720991524	-1,293213327
CAP2	-0,022081555	-0,228176064	-0,456352127	-0,787575445	-1,104077727	-1,564455569	-1,772408705	-2,068305609	-2,406889445	-2,730752245	-1,314107449
CAR5	-0,006856359	-0,1851217	-0,37709976	-0,66506685	-0,93932122	-1,357652222	-1,54554197	-1,78950977	-2,091189578	-2,392869386	-1,135022882
CAR2	-0,007566013	-0,257244458	-0,514488916	-0,885223576	-1,240826209	-1,763014528	-1,972236972	-2,300068094	-2,678368767	-3,064235454	-1,468327299
CAH5	-0,014309222	-0,257566001	-0,465049725	-0,787007226	-1,094655505	-1,602862254	-1,796858188	-2,139228733	-2,482650068	-2,811762181	-1,34519491
CAH2	-0,015350372	-0,291657073	-0,583314145	-0,982423824	-1,381533502	-1,999692945	-2,257331999	-2,647939213	-3,070074449	-3,530585617	-1,675990314
	-0,011027254	-0,240096457	-0,470614257	-0,811576578	-1,138144389	-1,641269614	-1,848896401	-2,16607993	-2,516856021	-2,875199401	-1,37197603
P	-0,014170327	-0,21255491	-0,42510982	-0,729771858	-1,013178404	-1,48100907	-1,689860835	-1,976760663	-2,302678192	-2,642766048	-1,248786013

Realizado el gráfico representativo, se observan patrones de curvas muy similares para los tres grupos de probetas. Tanto para el grupo V, realizado mediante el apagado de la cal con el agua de las distintas maceraciones en dos porcentajes distintos, para el grupo A, realizado mediante el apagado de la cal con agua más la adición de agua de maceración durante la elaboración del mortero y para el grupo P, sin aditivos orgánicos.

En el primer grupo, la curva que se describe con la variación de masa acumulada, es suave y progresiva. Hasta las 92h, todos los tipos de estuco de este grupo experimentan una pérdida de masa bastante similar, manteniéndose juntos en la curva gráfica.

A partir de las 92h de ensayo, los morteros realizados con la maceración de Habin se van distanciando, quedando CVH5, por debajo de todos al experimentar la menor variación de masa, con un 1,16% de pérdida, y CVH2, por encima de los demás, experimentando la mayor pérdida de masa con un 1,44%.(Figura 5)

El resto de morteros realizados con la maceración de Pixoy y de Ramón, se mantienen muy juntos en el gráfico, con variaciones de masa muy similares.

En el grupo A, se observa un patrón de variación equivalente, si bien, la separación de las curvas en el gráfico se produce más rápido, ya en las primeras 44h de ensayo.

4.2 Probetas 2013.

a) Determinación de la permeabilidad al vapor de agua.

Tras 212 horas, se da por finalizado el ensayo de permeabilidad, no habiéndose alcanzado la masa constante, pero teniendo suficientes datos para evaluar el resultado (Tabla 4).

A partir de aquí, todos los morteros se distancian, siendo la probeta CAH2, de nuevo la que mayor pérdida de masa acumulada experimenta con un 1,61%.

La probeta realizada con el menor porcentaje de maceración de Ramón, CAR5, sólo pierde un 1,09%, y las probetas realizadas con la maceración de Pixoy tanto al 0,5% como al 2%, se mantienen juntas en el gráfico, con variaciones muy similares (Figura 6).

Figura 5. Curva de permeabilidad al vapor de agua para el grupo V

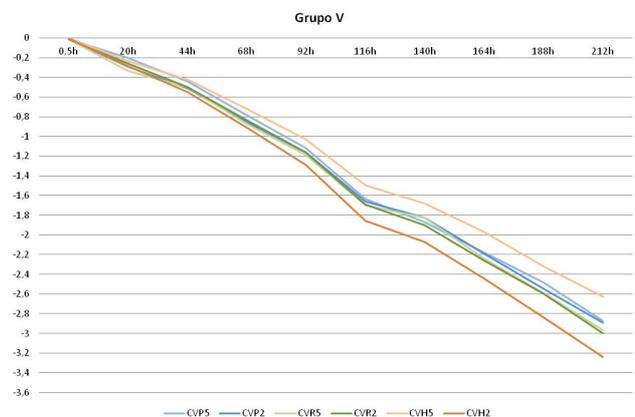
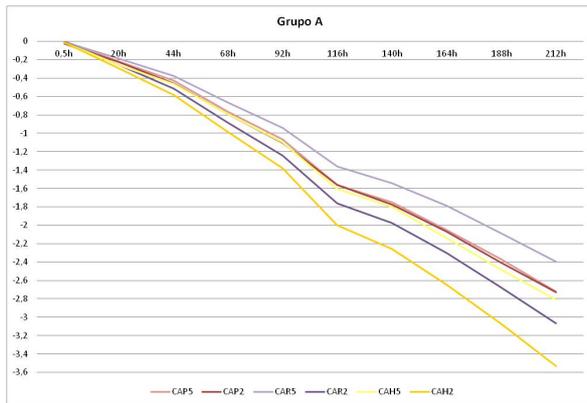
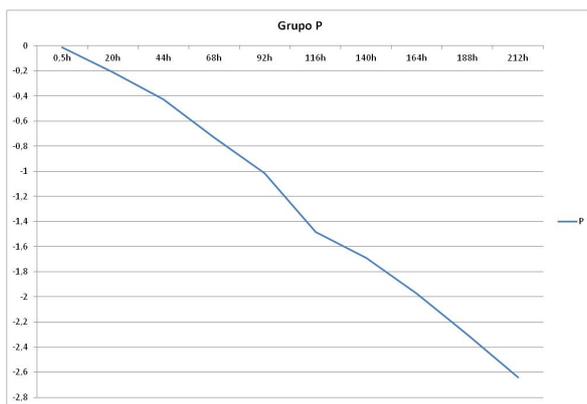


Figura 6. Curva de permeabilidad al vapor de agua del grupo A.



La probeta patrón presenta una curva muy similar al grupo de probetas V, con descenso gradual, con una pérdida final de 1,164%, siendo las probetas que menor pérdida experimentan de todos los tipos de mortero (Figura 7).

Figura 7. Curva de permeabilidad al vapor de agua para el grupo P.



b) Resistencia a la cristalización de sales

Este ensayo se realizó dos veces dado el rápido resultado del primero y por descartar errores en la práctica del ensayo. Con el segundo ensayo, se pudo verificar la poca resistencia que las probetas de este grupo 2013 presentan, independientemente de la metodología de apagado de la cal realizada, o del aporte de aditivo orgánico presente (Figura 8).

Figura 8. Probetas 2013 antes de introducirse en el primer baño salino.



Figura 9. Probetas tras 2h de baño en solución salina.



Las probetas de este grupo 2013, se desintegran ya en el primer baño salino. Aún así, se introdujeron en estufa caliente para completar un ciclo, aunque fue imposible determinar después su peso dado el grado de desintegración y la imposibilidad de manipularlas (Figura 4).

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en estos dos ensayos físico-químicos, revelan importantes diferencias en el comportamiento de los distintos morteros fabricados, sobretodo en el segundo ensayo realizado de resistencia a la cristalización de sales.

En cuanto a la permeabilidad al vapor de agua, se observan gráficos que describen una curva similar para las probetas del año 2011, elaboradas con arena blanca local y con dos cales distintas, y para las probetas del grupo 2013, elaboradas con *sascab* y con dos metodologías de pagado de la cal. En ambos grupos las curvas son similares para todos los tipos de estuco independientemente de la tipología de cal, árido o aditivo orgánico.

Con respecto a los porcentajes de pérdida de masa, encontramos que no hay diferencias significativas entre

las probetas de los distintos años, con distinto árido, ni entre sus grupos, es decir, con distinto método de apagado de cal.

Tampoco se observan patrones que atiendan a los distintos aditivos orgánicos empleados. Pero cabe destacar, que mientras en las probetas del año 2011, el grupo P es el que mayor pérdida experimenta con un 1,80%, frente al 1,32% del grupo A y el 1,40% del grupo Y, siendo indicativo de que este último tipo, al no contener aditivos orgánicos es más permeable al vapor de agua; en las probetas de 2013 ocurre al contrario.

Mientras el grupo de probetas V, realizado con el apagado de la cal viva con el agua de maceración de las tres cortezas en dos porcentajes distintos, presenta una pérdida de 1,30% y el grupo A, realizado mediante el apagado de la misma cal viva con agua y añadida después una parte de agua de estas maceraciones, pierde un 1,32%; el grupo P, sin ningún aporte orgánico, sólo pierde 1,16% de su masa inicial, indicando que el flujo de transmisión de vapor de agua es menor en esta probeta patrón que en las que contienen aditivos orgánicos.

En resumen, las probetas de 2011, compuestas por arena blanca local, de apariencia compacta y dura, transpiran menos a mayor cantidad de aditivo orgánico contenido y realizando el apagado de la cal con el agua de las maceraciones. Las probetas de 2013, de apariencia más pulverulenta y blanda, son más permeables a menor cantidad de aditivo contenido y no muestran diferencias con respecto al método de apagado de la cal.

De forma muy diferente, se observa un resultado distinto para el ensayo de resistencia a la cristalización de sales, ya que el grupo de probetas de 2013 no ha podido completar el ensayo, anotándose que tienen una resistencia nula a los ciclos de cristalización. Por el contrario, en las probetas de 2011, se produce una clara diferencia entre los grupos A, Y y P, ya que el grupo A, independientemente de la maceración que contenga, resiste perfectamente los quince ciclos de cristalización de sales, no alterándose apenas. Mientras, los grupos Y y P, realizados con cal apagada con agua, se van fracturando y desintegrando paulatinamente y son retirados en los sucesivos ciclos.

De este resultado podemos deducir que las probetas realizadas con *sascab* en 2013 son muy poco porosas al ser este árido muy fino, no resistiendo su estructura interna a la cristalización y produciéndose la desintegración total de ésta. Sin embargo, las probetas realizadas con arena blanca, al tener una porosidad mayor, no se ven tan afectadas por la formación de cristales de sales en su interior, resistiendo los sucesivos ciclos.

Como conclusión, comparativamente encontramos mejores resultados en las probetas 2011 formadas por

arena blanca local, no tanto en cuanto a su permeabilidad, ya que ambos grupos presentan un correcto flujo de vapor de agua, pero sí de manera decisiva en cuanto a la resistencia al paso y formación de sales en su interior.

Teniendo en cuenta que las eflorescencias y subeflorescencias es una de las patologías más graves que afecta a los revestimientos que se conservan en los sitios mayas, es importante que el mortero experimental adecuado sea muy resistente a este agente de deterioro.

Actualmente se están ensayando nuevas composiciones y métodos de apagado de la cal, siguiendo con esta investigación experimental, en la que esperamos hallar aquellos compuestos y sistemas más adecuados y afines tanto al material original como a las condiciones ambientales en las que se hallan.

6. AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen expresamente su apoyo al Vicerrectorado de Alumnado y Extensión Universitaria de la Universitat Politècnica de València, a los Proyectos “La arquitectura maya. Sistemas constructivos y conservación” (BIA2011-28311-C02-01) y “Arquitectura maya. Sistemas constructivos, estética formal y nuevas tecnologías” (BIA2014-53887-C2-1-P); ambos financiados por el Ministerio de Ciencia e Innovación del gobierno Español; y por último, a la dirección del Proyecto La Blanca y a todas las personas que han formado y forman parte de su equipo y hacen que el Proyecto siga adelante.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AA.VV, (2009): “Estudio y caracterización de morteros para la restauración arquitectónica”. *En X Congreso latinoamericano de patología y XII Congreso de calidad en la construcción*. CONPAT, Chile.

Carrascosa B, Lastras M y Lorenzo F., (2009): “La conservación de los grafitos de La Blanca. Investigaciones sobre materiales, procesos y técnicas”. *En Los grafitos mayas. Cuadernos de arquitectura y arqueología maya 2*. Vidal C y Muñoz G, (Eds.) Pp.120-132, UPV. Valencia.

Fortes Revilla, C y M.T Blanco Varela, (2001): “Influencia de tratamientos de hidrofugación en las propiedades de morteros de cal y cal y puzolana”. *En Materiales de construcción*. Vol 51 nº262.

Hansen, E. F. Y C. Rodríguez Navarro, (2002). “Los comienzos de la tecnología de la cal en el mundo Maya: Innovación y continuidad desde el Preclásico Medio al Clásico Tardío en Nakbe, Petén, Guatemala”. *En: XV Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2001* J.P. Laporte, H. Escobedo y B. Arroyo

(Eds.), pp.183-187, Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala.

Littman, E., (1958). "Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters and stuccos: The Composition and Origin of *Sascab*". En *American Antiquity* 24(2), pp. 172-176.

Littman, E., (1960). "Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters and Stuccos: The Use of Bark Extracts in Lime Plasters". En: *American Antiquity* 25 (4), pp. 593-597.

Lorenzo Mora, F. y Carrascosa Moliner, B., (2014). "La restauración de los estucos incisos de La Blanca. Estudios previos en morteros de cal con aditivos vegetales y evaluación de su comportamiento en clima tropical". En: *Jornadas de Investigación Emergente en Conservación y Restauración del Patrimonio*. Libro de actas, Pp: 63-70. UPV, Valencia.

Magaloni, D., (1995) Técnicas de la pintura mural en Mesoamérica. *Arqueología Mexicana* 3, Pp. 16-23, Raíces-INAH, Mexico.

Magaloni, D., (1998). "El arte en el hacer: Técnica pictórica y color en las pinturas de Bonampak". En *La pintura mural prehispánica en Mexico II. Área maya Bonampak. Tomo II*. B de la Fuente (Dir.) L Staines

(Coord.) Pp. 49-80. Instituto de Investigaciones Estéticas U.N.A.M. México.

Muñoz Cosme, G., (2006). "Arquitectura maya". ed.: Biblioteca TC. Valencia.

Ruiz Martín, M^a C., (2009). "El pixoy como material de conservación de pintura mural y relieves policromos en área maya". En: *Estudios de Cultura Maya XXXV*, Pp: 63-90. Centro INAH, Yucatán.

Schreiner, T., (2002) "Traditional maya lime production: environmental and cultural implications of a Native American technology". Phd, Department of architecture, University of California, Berkeley.

UNE-EN 15803, (Septiembre 2010). Conservación del Patrimonio Cultural. Métodos de ensayo. Determinación de la permeabilidad al vapor de agua.

UNE-EN 12370, (Noviembre 1999). Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la cristalización de sales.

Villaseñor, M^a I., (2009). "Lowland maya lime plaster technology: A diachronic approach". Institute of Archaeology, University College London.

