

NOTA TÉCNICA SOBRE LAS LABORES A REALIZAR PARA LA CONSERVACIÓN DEL TEATRO ROMANO DE TOLEDO

INTRODUCCIÓN

Esta nota se redacta, a solicitud de Kerkide, S.L. para permitir comenzar las labores de intervención en el Circo Romano de Toledo y responde a la visita realizada por personal técnico de la Cátedra UNESCO de Patrimonio, de la Universidad Politécnica de Madrid, el día 29 de agosto del 2011.

Precede al informe que se llevará a cabo una vez completada la analítica y estudios a realizar por la citada Cátedra.

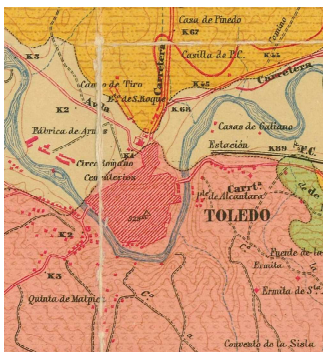
MATERIALES

Se conserva el opus caementicium, habiéndose perdido el recubrimiento. En las bases de las pilas entre los arcos aparecen señales del encofrado, quizá por haber permanecido enterrados largo tiempo, siendo descubiertos por recientes excavaciones.

El hormigón romano del circo aparece constituido por un mortero de cal que cementa piezas homométricas, decimétricas, angulosas, de piedra local.

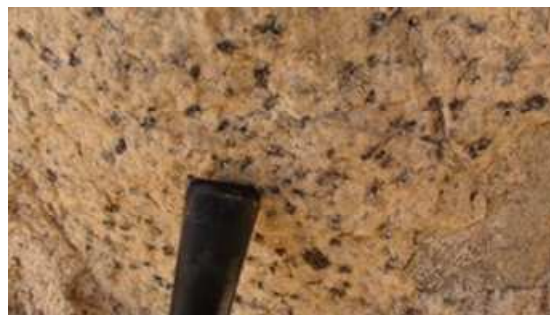


Los revestimientos se han perdido. El opus caementicium está formado por fragmentos homométricos angulosos de piedra local. Las tongadas de cal constituyen vías preferentes de infiltración del agua.



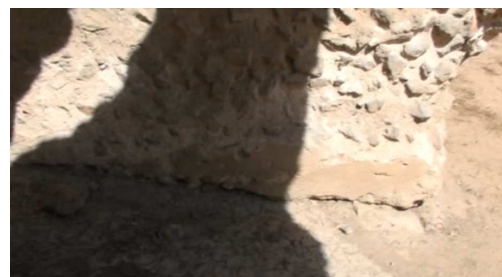
Geología del entorno. En salmón el estrato cristalino del que procede la piedra del circo.

Dicha piedra está constituida para materiales para los que la cartografía del Instituto Geológico Minero, a escala 1:200.000, utiliza la denominación ya obsoleta como “Estrato Cristalino”. Estos materiales han sido bien estudiados en Toledo por Barbero Gonzales, Luis c., en su tesis doctoral (1992) que lo denomina como Complejo Anatéctico de Toledo (CAT) y se encuentran formados por diversos granitoides y migmatitas. Por consiguiente, desde es punto de vista arqueológico, la piedra utilizada es local perteneciente a afloramientos próximos o eluviones detríticos del talud que forma la falla del borde sur de la fosa del Tajo, a corta distancia del Circo Romano.



Los fragmentos de roca local pertenecen a granitoides y migmatitas del complejo anatéctico de Toledo.

El aglomerante de cal aparece como un mortero cuyo árido es heterométrico y poligénico, presentando un índice moderado de redondeamiento, más evidente en los clastos de mayor tamaño que llegan a alcanzar tamaño



Marcas de encofrado en las basas de las pilas de los arcos

decimétrico. Aparentemente se trata de elementos aluviales, quizá lavados y aportados por el propio río Tajo. Predominan en él los granos de cuarzo blanco aunque también aparecen fragmentos melanocráticos mucho más escasos, así como otros materiales. Los fragmentos de mayor tamaño llegan a estar constituidos por gujarros de roca.



El mortero de cal contiene árido heterométrico poligénico de probable arena de río, donde predominan los clastos de cuarzo blanco, aunque también se presentan minerales melanocráticos. Esporádicamente aparecen guijarros redondeados así como caliches.

El cemento romano se solía realizar con cal hidráulica, lo que permitía su fraguado, aún en la parte interna de las estructuras, donde no llegaba suficiente aireación para llegar a carbonatar completamente la cal. Para incrementar la hidraulicidad de la cal, se utilizaban fragmentos e ladrillo, que no hemos podido observar, sin embargo, en el mortero del Circo Romano de Toledo. Las características composicionales de este mortero serán investigadas analíticamente. La presencia de silicatos y aluminatos cálcicos serán indicativos de la presencia de morteros hidráulicos, pero estos componentes no siempre son fáciles de detectar.

PATOLOGÍAS

Los principales daños son de origen antrópico, derivados del expolio de los recubrimientos. Una vez descubierta la estructura interna, esta comienza a sufrir los efectos del intemperismo, principalmente a través de dos procesos:

Disolución kárstica del mortero de cal. La cal es soluble en el agua ácida. El agua de lluvia disuelve anhídrido carbónico del aire transformándose en ácido carbónico. El pH normal se encuentra alrededor de 5.5 (pH 7, sería agua neutra). Esta agua de lluvia es capaz, por consiguiente, de disolver la cal del aglomerante, si bien muy lentamente. Ello da lugar a la pérdida del mortero entre los fragmentos de piedra con lo que dichos fragmentos resaltan

sobre el mortero que los liga. Las zonas superiores y expuestas son las más afectadas. Finalmente se van desprendiendo fragmentos de piedra y el conjunto va perdiendo volumen.

Cuando el ambiente se encuentra contaminado, la disminución del pH del agua acelera el proceso. Si dicha contaminación es por anhídrido carbónico, se produce la simple disolución, pero si lo es por anhídrido sulfuroso, se producen, además peligrosos sulfatos, cuya removilización y acción lesiva se suma a la disolución. Estos sulfatos son sales cuya efecto se describe en los párrafos que siguen.

Si bien hoy día el ambiente debe encontrarse bastante limpio, a juzgar por la abundante presencia de líquen sobre la piedra, no debió ocurrir así en el período donde se utilizaban calefacciones de carbón. El carbón contiene una notable cantidad de azufre que al quemarse produce el citado anhídrido sulfuroso, que combinado con la humedad ambiente, da lugar a ácido sulfúrico. Dicho ácido al atacar los minerales de la piedra origina los sulfatos. Evidencias de su presencia pueden ser las costras negras que aparecen en las claves del intrados de muchos arcos, cuya naturaleza, para investigar la posible presencia de sulfatos, revelará la analítica.

Por otro lado, el agua de escorrentía es capaz de filtrarse por pequeñas discontinuidades en la masa del mortero, por ejemplo, en las superficies de separación entre distintas tongadas, agrandándose con el tiempo, y produciendo fenómenos internos de disolución, similares a los que abren cavidades y grutas en las morfologías kársticas en el terreno calizo. Este proceso se puede apreciar en el Circo Romano de Toledo, si bien no es muy manifiesto.

Ataque por sales y heladas. También derivan de la acción del agua y constituyen el proceso más importante en el Circo Romano de Toledo. El agua de las precipitaciones se filtra en la porosidad de las capas más superficiales del mortero. Bien por congelación, bien por evaporación y cristalización de sales, al final origina cristales en crecimiento en dichos poros (de hielo o de sales). Estos cristales que crecen en el poro, no cesan en su desarrollo al encontrar la pared opuesta del mismo, sino que continúan rompiendo dicha pared. El alojamiento de cristales en los poros provoca como una expansión de la capa superficial sobre el substrato no afectado, que termina por deplacarse, arenizarse y desprenderse, con lo que el proceso continúa en la nueva superficie así expuesta.



Costra negra cerca de la clave de los arcos



Deplacaciones en el intrados de los arcos debidas a sales y/o heladas

Este tipo de fenómenos es más manifiesto en las zonas abrigadas donde el agua se acumula tras las precipitaciones. Su evaporación tras las mismas, origina la cristalización de las sales que lleva disueltas, y este fenómeno es acumulativo con cada precipitación, hasta poderse acumular una notable proporción de sales.

Las heladas actúan de forma similar al congelar la humedad remanente tras las precipitaciones.

En el Circo Romano, son evidentes las deplacaciones en el intradós de los arcos, cuyo origen (por sales, por heladas o por ambos) serán detectados por los estudios que se van a realizar, consistente en la medición de la presencia y naturaleza, en su caso, de las sales. Este estudio es importante, por cuanto la manera de actuar dependerá de la presencia o no de sales.

Además, es evidente la presencia de abundantes biocolonias. Las más extendidas por este orden son líquen, musgo, plantas, algas. Mientras que los líquenes, acompañados de una presencia ligeramente inferior de musgo, se encuentran extendidos por toda la estructura, las algas verdes clorofílicas se limitan a algunas de las claves del intradós de los algunos arcos. Las plantas proliferan sobre todo en la zona superior más expuesta, donde reciben mayor insolación.



Biocolonias de líquen, musgo, plantas y algas verdes clorofílicas.

ACTUACIONES

Con las salvedades apuntadas que deberá resolver la analítica, se pueden definir algunas actuaciones para no retrasar el comienzo de los trabajos.

En primer lugar, se trata de una labor de consolidación de una ruina, que según la doctrina internacional expresada en las distintas cartas de ICOMOS, así como en las Directrices de la Convención del Patrimonio Mundial de la UNESCO, debería ser la estrictamente necesaria para la buena conservación. Una sobreactuación estaría claramente en contra de dichas recomendaciones.

Dadas las características del mortero, se deberían evitar los métodos húmedos de limpieza, bien sea a base de agua o a base de productos químicos. Por consiguiente, la limpieza debería ser manual, aplicada con criterios de restaurador ya que muchas zonas no requieren limpieza de ningún tipo.

Contra las colonias se pueden aplicar biocidas. Localmente, puede ser conveniente impregnar con una disolución de formol en agua al 10 %, para que mueran los organismos, antes de la limpieza mediante cepillo. Normalmente el tratamiento de consolidación aplicado en disolventes orgánicos es ya biocida. Se ha apuntado la posibilidad de que las mismas colonias se alimenten de las resinas acrílicas ó silicónicas que se pudieran utilizar como consolidantes o hidrofugantes, aunque en el estado actual existe muy poca información al respecto.

El algicida más extendido, sin embargo, es el cloruro de alquil-dimetil-benzil-amonio (cloruro de benzalconio). Tiene la ventaja sobre el formol de su mayor perdurabilidad. Experimentalmente, lo hemos utilizado como algicida aplicado en el agua de algunas fuentes monumentales, teniendo el inconveniente de ser ligeramente espumante si no se controla muy bien la dosis. Contra las algas también se comercializan productos a base de sales de cobre tales como sulfato de cobre Cu SO_4 , sulfato de cobretetramina $(\text{NH}_3)_4 \text{Cu SO}_4$, y sulfatos complejos de cobre hidrazina $\text{Cu SO}_4 (\text{N}_2\text{H}_5)_2 \text{SO}_4$. Las sales de cobre presentan riesgos de teñido por lo que no se deben emplear. Asimismo, se han utilizado compuestos fenólicos que pueden producir cambios de coloración en la piedra por lo que tampoco deben ser empleados.

A veces se han combatido las colonias de algas con rayos UVA (longitud de onda de 250 nm.) producidos por una lámpara de 40 W, retirada unos 15 cm. de la superficie y aplicada durante una semana. Este tratamiento se podría justificar en elementos de muy alto valor histórico artístico, por lo que no parece justificado en el caso presente.

Contra colonias de musgo y líquen se ha utilizado hipoclorito de litio en solución acuosa al 2%, seguida de aplicación de Lito 7 (detergente neutro de Ciba Geigy), para terminar con un tratamiento a base de triazina, el Lito 3, también de Ciba Geigy, pero este tratamiento puede generar sales peligrosas (de litio) por lo que hay que tomar las debidas precauciones y a ser posible evitado. Es preferible, en consecuencia, actuar mediante el formol al 10 % anteriormente comentado o el cloruro de benzalconio.

Durante un tiempo, contra las plantas se ha utilizado la sal de cocina, pero el cloruro sódico es una sal móvil y peligrosa. Hoy día se aplican derivados de la triazina como la metoxitriazina, siendo preferibles los que se aplican en las hojas.

El papel de los líquenes y la conveniencia de su eliminación han sido ampliamente debatidas. Por un lado se ha defendido su eliminación aduciendo el deterioro que originan en la piedra. Por otro, se ha propuesto su conservación, dado que la lentitud de su crecimiento conlleva una agresión ralentizada y limitada a la parte superficial. Esta lesión una vez producida progresa aún más lentamente, compensándose sus negativos efectos con el papel protector e hidrofugante que la capa de líquen representa. Aún se han propuesto razones estéticas y el impacto social que su eliminación tendría, una vez que tradicionalmente nos hemos acostumbrado a observar la piedra histórica recubierta de una “pátina noble” debida al envejecimiento, con el tiempo, de la que los líquenes forman parte. En nuestra opinión, en el caso presente, los líquenes podrían ser respetados. Su presencia indica la ausencia de un ambiente contaminado ya que no pueden desarrollarse en dicho ambiente.

Las plantas superiores se pueden arrancar mecánicamente, sin embargo, sus raíces son difíciles de seguir y frecuentemente reaparecen. Hoy día se emplean herbicidas. Estos herbicidas mantienen una baja toxicidad para animales ni personas y debido a su baja solubilidad, permanecen largo tiempo y no se extienden a zonas contiguas. Como se ha expuesto, están constituidos por derivados de la triazina que son absorbidos por las raíces, como la clorotriazina ó por las hojas como la metoxitriazina.

El uso de biocidas siempre implica un riesgo de manipulación y para el medio ambiente, derivado de su toxicidad (por más que la industria química ha tratado de que los productos más recientes mantengan la toxicidad más baja posible para personas y animales) por lo que siempre existe un problema de dosis. Además, su eficacia es siempre limitada en el tiempo, por lo que un buen programa de mantenimiento constituye la mejor garantía contra la aparición futura de biocolonias.

Contras las contras negras y otras manchas persistentes, se puede utilizar proyección de árido mediante microchorro, que permite un alto control. Este método, bien aplicado, es capaz de discriminar entre un pintura original y un hipotético repinte del que se la quiere liberar. El control se basa en distintos factores como la naturaleza, forma y tamaño del árido, presión de proyección, distancia de trabajo, etc. Ha sido usado en restauración para limpiezas muy cuidadosas de piezas de alto valor histórico artístico.

En el caso presente el elemento más sensible es el cemento romano de las piezas. El árido silíceo, así como los fragmentos de piedra, son mineralógicamente de alta dureza, mucho mayor que la de la cal. De esta forma hay que tomar precauciones para que el aglomerante calcáreo no sea arrancado por el árido liberando los granos de árido que se desprenderían, con el resultado de pérdida de materia entre los fragmentos de piedra. Para controlar este aspecto es necesario realizar pruebas en obra, partiendo de métodos menos a más agresivos hasta obtener un buen compromiso entre una limpieza eficiente sin pérdida de materia.

Menos incisivo es utilizar polvo de mármol en lugar de arena, sílice, alúmina, o silicato de alúmina, mucho más abrasivas. La piedra pómez molida, es más cuidadosa por su baja densidad. El vidrio molido más agresivo que la piedra pómez pero menos que el grupo más arriba citado. La perla de vidrio trabaja por vibración más que por rayado por lo que es más cuidadoso. Pero aquí es crítica la presión de proyección. Es preferible dilatar un poco más el tiempo de limpieza que no exponerse a perder mucho material, trabajando con presiones bajas. Especial precaución debería tenerse en las superficies donde se conservan las marcas de encofrado por la información histórica que pudieran proporcionar.

La labor principal de consolidación será el relleno con mortero o lechada de cal hidráulica de las oquedades por donde pudiera circular el agua, provocando nuevos colapsos y desprendimientos. Cuando las fisuras sean muy finas habría que acudir a una consolidación con resinas epoxídicas de alta tixotropía, y baja tensión superficial y viscosidad. Donde sea necesario, la consolidación se acompañara de la introducción de varillas de resina epoxídica o acero inoxidable roscado, embutidas en resina epoxídica. La resistencia a tracción de una

varilla de resina puede alcanzar los 300 Kg/cm^2 , pero siempre es preferible acudir a dos varillas en aspa en lugar de una sola más gruesa. Como la resina se oxida con la radiación UV del sol, hay que evitar que quede expuesta, cubriendo con mortero de cal hidráulica o masilla de resina acrílica con árido de caliza. Esta resina termoplástica, es mucho más resistente a la radiación que las termoendurecibles como la resina epoxídica.

Para evitar el ascenso capilar de humedades desde el terreno sería conveniente disponer un sistema de drenaje que evitara el encharcamiento del agua cerca de las basas de la pilas y de la estructura en general. Este sistema puede consistir desde zanjas con fondo impermeable y relleno de encachado con pendiente para retirar las aguas de las proximidades, hasta sistemas más complejos y onerosos si se demostrara su necesidad con el tiempo tras la intervención que se planea.

Para proteger de las aguas de escorrentía, se podrían hidrofugar las zonas superiores a base de polisiloxanos. Estos compuestos no modifican el aspecto de los materiales de construcción, ni su porosidad y capacidad de transpiración de las humedades internas, pero disminuyen la tensión superficial de forma que el material no se moja ni el resbale de la escorrentía se adhiere al mismo, cayendo directamente al terreno. La naturaleza exacta del tratamiento será revelado por la analítica MEB, que se planea.

Las placas de mortero parcialmente desprendidas y arenizadas, por efecto de sales y heladas que aparecen, principalmente en el intradós de los arcos, tendrán que ser saneadas. Donde el substrato aparezca arenizado se aplicará un consolidante de tipo acrílico o éster silícico a determinar por la analítica MEB que se planea realizar.

José María García de Miguel

Catedrático de Petrología y Mineralogía de la UPM de Madrid
Director de la Cátedra UNESCO-ICOMOS (CNE) de Patrimonio