

## **LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Si de algo pueden caracterizarse los romanos es de haber tenido un sentido práctico para todo lo relacionado con los fines que pretendían conseguir. Por ello no escatimaron esfuerzos en experimentar con todo lo que les podía proporcionar un avance o mejora en las obras públicas, tanto en tiempo como en calidad constructiva. Es sorprendente en este sentido, la analogía que existe con la técnica constructiva actual.

No obstante, y por desgracia, carecían de nuestros conocimientos, tanto de la química como de la microscopía, por lo que el comportamiento de los materiales lo tenían que deducir de forma empírica, y a veces basado en tradiciones constructivas no muy "científicas" por lo que incurrían en ocasiones en errores y contradicciones.

### **• La estandarización de las construcciones**

El inicio de los grandes logros de la construcción civil romana coincide con la época en que la Urbe, pasa de ser una ciudad-estado de relativa importancia en la península italiana a convertirse en la Superpotencia dominante en todo el Mediterráneo Occidental.

Este tiempo es el de la derrota de Cartago, el comienzo de la expansión por la Península Ibérica, y las guerras en Grecia.

Durante estos años aumentó vertiginosamente la extensión del territorio dominado directamente por Roma, y por consiguiente, una marea humana esclava estaba en disposición de trabajar.

La necesidad de una mayor cantidad de edificios, junto con las cantidades ingentes de dinero que confluían en Roma con las últimas conquistas hicieron que se desatara una "fiebre constructiva", tanto de edificios privados, como de grandes obras públicas, en Roma y en otras partes del imperio.

Para llevarlas a cabo de un modo razonable, tuvieron que recurrir al perfeccionamiento de conocimientos que ya se tenían, pero que no habían sido empleados convenientemente.

Esto no es otra cosa que el desarrollo de los hormigones de cal, que aunque no fueron los inventores, llegaron a ser unos consumados maestros en su confección y dosificación.

Este tipo de construcción hormigonada, era menos elegante que la clásica sillería (según el mismo Vitruvio reconoce en su libro II), pero posibilitaba un trabajo más rápido y sencillo.

Efectivamente. El trabajo del hormigón y la estandarización de los materiales, adaptables a cualquier tipo de edificio, independientemente de su tamaño y su uso, requería una mano de obra poco especializada (lo anterior vale también para la edificación con ladrillo). Mano de obra que abundaba, proporcionada por las recientes conquistas militares.

Los plazos de ejecución se acortaron enormemente, y por consiguiente los costes de los edificios, por lo que los romanos pudieron llevar a cabo con relativa facilidad, ingentes obras públicas por todo el imperio.

La ventaja de este sistema constructivo parece clara, si comparamos los tiempos empleados en la construcción de, por ejemplo, el templo de Apolo en Dídimos, cerca de Mileto, y el Panteón de Adriano.

El templo de Apolo se comenzó a construir en el año 332 a.C. a iniciativa de Alejandro Magno.

Cuatro siglos más tarde, en época de Adriano (Cuando finalizaron las obras) el templo no estaba acabado del todo. (**Adam.J.P.** *La construcción romana*.p.83).

Esto fue así, porque en un monumento como este, todo de piedra, cada una tenía que ocupar un lugar específico, teniendo muchas de ellas además complicadas decoraciones.

En comparación con esto, el panteón de Adriano, y su asombrosa cúpula, pudieron realizarse entre el 118 y el 125, es decir, en sólo 7 años. En cuanto a las fastuosas termas de Caracalla, un edificio monumental de 330 por 400m. fue erigido en tan sólo 5 años (del 212 al 217). (**Adam.J.P.** *OpCit*)

La estandarización de los materiales en cantidades inmensas junto con una gran mano de obra disponible, son pues las claves de estas increíbles velocidades de ejecución. Velocidades, que como el tiempo se ha encargado de demostrar, no están en absoluto reñidas con unas calidades de diseño y construcción excepcionales.

- **El hormigón**

Lo que conocemos hoy en día por Hormigón es una mezcla de agua, arena y aglomerante. Este aglomerante, en nuestros días suele ser cemento, pero los romanos lo hacían con otro aglomerante: La cal. Junto con la arena y el agua hacían un material que llamaban *Opus Caementicium*, de donde procede nuestra palabra actual "Cemento", aunque en realidad no tienen nada que ver uno con el otro.

- **La cal.**

Los romanos no fueron los inventores de la cal de obra, aunque sí fueron los primeros que la emplearon de forma masiva como elemento aglomerante de construcción. (**Hernandez González F.I** Congreso Nacional de Historia de las presas)

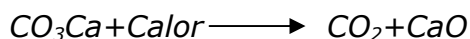
Probablemente fueron los persas quienes empezaron a usar la cal como aglomerante. Posteriormente los griegos copiaron esta técnica, y los romanos a los griegos. El mérito de los romanos consistió en que llegaron a sistematizar su uso, consiguiendo en muchos casos una gran durabilidad (**Díez-Gascón Sagrado.J.** Ingeniería de presas.p.41).

Las cales de construcción actuales se dividen en dos grandes grupos, las cales hidráulicas y las cales aéreas. Las primeras son capaces de endurecer bajo el agua. Las segundas no.

Los romanos usaron casi exclusivamente cales aéreas, pues desconocían la tecnología necesaria para obtener cales hidráulicas, aunque por deducciones empíricas se acercaron bastante a ellas.

**1. La cal aérea** es el resultado de la descomposición por el calor de las rocas calizas, formadas básicamente por Carbonato Cálcico. ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ).

Cuando la roca caliza se somete a una temperatura cercana a  $900^\circ\text{C}$  se descompone en Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) y Óxido de Calcio ( $\text{CaO}$ ) mediante la reacción:



A este Óxido de Calcio es a lo que se le llama "Cal viva".

Es un producto muy inestable, pues tiene una gran avidez de agua, por lo que en presencia de la misma, reacciona dando Hidróxido de Calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) y desprendiendo calor, mediante la reacción:

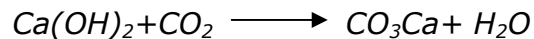


El Hidróxido de Calcio es a lo que llamamos "Cal apagada".

Esta cal apagada puede usarse como pasta, siendo en algunos casos muy fluida y untuosa.

Posee la propiedad de endurecer lentamente. Este endurecimiento recibe el nombre de "Fraguado" y consta de dos fases:

1. Una simple evaporación del agua con la que se formó la pasta.
2. El fenómeno que llamamos "Carbonatación" que consiste en la absorción por parte del Hidróxido de Calcio del Anhídrido Carbónico del aire. Formando Carbonato Cálcico y agua. Mediante la reacción:



Vemos que al final del proceso hemos obtenido de nuevo el Carbonato cálcico, por lo que al menos teóricamente hemos reconstruido la roca natural.

Esta reacción química es extraordinariamente lenta, pues comienza a las 24 horas, y acaba después de meses o incluso años. Se realiza idóneamente en aire seco, pero no bajo el agua, pues ésta la disuelve.

Las cales aéreas, en la actualidad las clasificamos en dos grandes grupos:

- a) Cales grasas.- Son las que tienen en su composición inicial menos de un 5% de arcilla.  
Con buenas cales grasa puede obtenerse un rendimiento del 350% en volumen (es decir que con un litro de cal se pueden obtener 3 litros y medio de pasta de cal).
- b) Cales magras.- Son las que aún teniendo arcilla en proporción inferior al 5%, tienen Magnesio en proporción superior al 10% (Dolomías).

Al añadirles agua forman una pasta gris poco trabada que desprende más calor que las cales grasas. Al secarse se reduce a polvo, y en agua se deslíe. No se usa en construcción.

**2. Las cales hidráulicas** tienen la propiedad de fraguar bajo el agua.

Cuando se cuece una mezcla de arcilla y caliza en proporción del 8 al 20% a una temperatura superior a 900°C para que reaccionen el Óxido de Calcio (CaO), el Anhídrido Silíceo (SiO<sub>2</sub>) y la Alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Se forman silicatos y aluminatos.

Estos compuestos reaccionan con el agua formando Hidrosilicatos e Hidroaluminatos, que cristalizan en forma de cristales entrecruzados, formando una masa compacta que al necesitar agua para el endurecimiento, puede hacerlo bajo el agua.

Los romanos no llegaron a obtener de manera sistemática cales hidráulicas. Lo que sí hicieron fue usar en algunos casos "polvo de Puzol", que no es otra cosa que un polvo volcánico con sílice y alúmina. Este polvo mezclado con cal, formaba una pasta que era capaz de fraguar y endurecer bajo el agua. Esto, lógicamente asombraba a los antiguos. Vitruvio lo menciona en el capítulo VI, dando una explicación un tanto extraña del porqué de este comportamiento. Explicación que le lleva a darse cuenta de su contradicción.

El párrafo no tiene desperdicio.

Dice, refiriéndose al polvo de Puzol:

*"Hay también una clase de polvo que por su propia naturaleza produce efectos maravillosos. Se halla en la región de Bayas y en los territorios de los municipios que están en las cercanías del Vesuvio.*

*Este polvo, mezclado con cal y la piedra machacada, no sólo consolida toda clase de edificaciones, sino que las obras que se hacen bajo del agua del mar tienen solidez. La razón parece ser ésta:*

*En las entrañas de aquellos montes hay tierras y numerosas fuentes de agua caliente, que no existirían si no tuvieran debajo fortísimos fuegos. Este fuego al penetrar y actuar a través de los meandros y lenguas de Tierra, la hacen ligera, y la toba que allí existe es lívida y enjuta.*

*Y por tanto, cuando estas tres cosas producidas de la misma manera por la violencia del fuego llegan a mezclarse, al recibir de repente por absorción el agua, se condensan y endurecen por instantes y se consolidan tan intensamente en el líquido que no bastan a separarlas ni las olas ni la fuerza del agua.(...).*

*Parece que la violencia del fuego ha quitado de aquellas tobas y de tales tierras toda humedad, como ocurre en los hornos de cal.*

*Así de cosas distintas y dispares convertidas en una sola masa, saciada repentinamente la sed de agua, determina en los cuerpos asociados a efervescencia por un calor oculto y hace que vengan a unirse y a adquirir rápidamente y al propio tiempo una común solidez y dureza."* (**Vitruvio**. VI De Architectura).

Posteriormente le queda la duda del porqué, habiendo manantiales de agua caliente en Etruria, no existe allí un polvo semejante al de Puzol. Llega a la conclusión de que *"Si bien todas las cosas se encuentran separadas en la Naturaleza, no lo están a la voluntad de los hombres, sino repartidas como por casualidad"* (**Vitruvio**. Op.Cit.).

Es interesante darse cuenta como intuía que el calor subterráneo había hecho al polvo de Puzol tomar las características que en la realidad tiene, pues ciertamente la calcinación del polvo por el calor subterráneo, es lo que ha formado los silicatos y aluminatos. Donde se equivocaba, evidentemente por sus desconocimientos de química, es en el hecho de que la avidez de agua y el calor oculto interno son los que hacen endurecer a la roca bajo el agua.

Los antiguos romanos cocían la piedra caliza en hornos parecidos a los de cerámica. Vitruvio habla poco de los procesos de fabricación de la cal, sin embargo Catón el Censor, hacia el año 160 a.C. escribió en su tratado sobre agricultura, la manera correcta de hacer un horno de cal. En tiempos de Vitruvio, este procedimiento estaba ya estandarizado, por lo que Vitruvio se ocupa sólo de los tipos de piedra a cocer. (*Adam. J.P. .Op.Cit.*).

Plinio el Viejo, en su Historia Natural (XXXVI,55) indica que los albañiles de Roma debían dejar la cal grasa reposar al menos 3 años antes de emplearla, aunque se puede pensar que dado el gran número de obras que requerían el mortero de cal, esta recomendación no se aplicaría.

La extrema lentitud del fraguado de la cal era muy apreciada por los arquitectos romanos, pues permitía, gracias a la plasticidad de los morteros un asentamiento lento y progresivo de la construcción, y un excelente reparto de presiones.

Vitruvio se ocupa en el capítulo II de la cal a emplear en construcción y de la dosificación de la misma. Recomendaba que esté hecha a partir de piedra dura y blanca, pero para los enlucidos, la piedra debe ser porosa.

No cabe duda que esto indica un desconocimiento de la composición química de las piedras de cal, pues en principio da lo mismo el origen de la caliza, siempre que ésta no tenga los elementos que no la hacen apta.

Vitruvio creía erróneamente que la cal procedente de piedra porosa resistía menos las cargas de la arquitectura (sin duda porque pensaba que la cal “recordaba” de algún modo su estructura rocosa original).

El resto del capítulo lo emplea en explicar el porqué del fraguado de la cal. Lo que más le desconcertaba era sin duda la reacción exotérmica que se producía al apagar la cal con agua. Esto le hacía pensar que había piedras de cal que contenían fuego en su “composición química”, y que al enfriarse con el agua, despedían todo el calor que contenían.

- **Los morteros.**

Cuando la cal se seca y se endurece, sufre una considerable pérdida de volumen que la hace resquebrajar. Este es el motivo por el que no es muy idónea en estado puro como material de construcción.

Desde muy antiguo se supo que mezclándola con arena de distintos grosores, se evitaban estos efectos nocivos. A esta mezcla de cal y arena es a lo que llamamos **Mortero**. Al conjunto de arena y grava, le llamamos **Árido**

Los áridos, por su procedencia y composición pueden ser:

- ❑ De mina.- Ásperos y angulosos, con aristas vivas, pero raras veces sin impurezas. Suelen tener una granulometría (tamaño del grano) muy variada
- ❑ De río.- De grano redondeado y aristas romas. Suelen estar limpios y sin impurezas. Además presentan una granulometría bastante uniforme.
- ❑ De playa.- Redondeados. Algunos son muy finos, y están empapados de sales marinas.

Según la norma de construcción EH-91. (Instrucciones para el proyecto y ejecución en las obras de hormigón en masa o armado, de 1991) las características que un árido debe tener entre otros requisitos:

1. Permitir una mínima proporción de huecos en su normal acoplamiento. (Esto implica una granulometría lo más variada posible).
2. No exigir mucha cantidad de agua para que alcance la masa la docilidad adecuada.
3. Ausencia de terrones de arcillas. (La arcilla está formada por micropartículas de silicatos hidratados, por lo que impide que los granos traben bien entre si)
4. Bajo contenido en partículas blandas. (Por lo mismo que lo anterior)
5. No contener partículas de bajo peso específico.
6. Sólo puede haber indicios de materia orgánica.

En general se recomiendan áridos que no sean de tamaño uniforme.

Veamos lo que dice Vitruvio de los áridos para mortero. En el capítulo IV se refiere a este tema:

*"Lo primero que se ha de procurar es buena arena que no tenga tierra alguna.*

*Las especies de arena mineral son: Negra, blanca, roja y carbúnculo (tierra negra quemada).*

*La mejor de todas estas será la que rechine al restregarla con las manos, lo cual no hará la que tuviera parte de tierra, por carecer de aspereza.*

*Será también buena si puesta sobre un lienzo blanco, no dejare tierra ni señal de mancha. Si no hubiera arena de cava se cernerá del cascajo o se tomará de los ríos. Podrá usarse la de playa de mar, pero esta tiene el inconveniente de secarse con dificultad en la fábrica, y la pared de esta arena no puede ser cargada rápidamente sin dejarla descansar a intervalos, por cuya causa no es buena para bóvedas.*

*Tiene otro inconveniente y es el de que las paredes de esta arena escupen la sal, que hace caer cuanto revoque se le ponga.*

*Pero la de mina se seca rápidamente en las obras, no perjudica a los revoques y aguanta las bóvedas, aunque estas propiedades la tiene recién sacada de la mina, porque si se deja mucho tiempo fuera, cocida de sol, luna y escarchas, pierde el vigor y se hace terrosa, por lo cual, si se pone en la fábrica, no puede retener las piedras(...) Esta arena recién sacada de la mina, aunque tiene todas estas buenas circunstancias, no debe emplearse en los revoques, porque su mortero, aún mezclándose con paja acaba resquebrajándose. Pero la de río, recibe en los revoques tanta firmeza como el Opus Signinum si se bate bien con mazuelos" (Vitruvio. Op.Cit.).*

La verdad es que todo el desconocimiento (lógico por otra parte) que muestra Vitruvio de las reacciones químicas de la cal, lo compensa con una gran capacidad de observación y discernimiento, pues este párrafo está cargado de observaciones muy acertadas.

Lo primero es que se ha dado cuenta de que la arcilla (él la llama "tierra") no es buena mezclada con la arena para la construcción. En este sentido es muy aclaratorio la "prueba de la sábana blanca". Pues evidentemente, la presencia de arcilla en la arena queda patente con manchas en el lienzo blanco.

Cuando dice que la mejor es la que da aspereza al frotarla con las manos, está indicando (sin saberlo) que los granos deben de ser duros y angulosos.

La de río la recomienda sólo si no hay de mina. Evidentemente no podía saber que la granulometría de esta arena es más homogénea que la de mina, sin embargo acierta plenamente en la recomendación.



En cuanto a la arena de mar, indica que tarda mucho en secarse (lógicamente, pues suele estar cargada de elementos muy finos que retienen mucho la humedad) y no es buena para hacer bóvedas.

Esto se entiende, porque las cales que empleaban eran aéreas, que endurecen capturando el anhídrido carbónico del aire, por lo que la presencia de agua retarda el endurecimiento.

En cuanto a la eflorescencias de sal que la hacen poco apta para revocos, es muy acertada la observación. (En la actualidad, estas arenas son aptas cuando previamente se lavan para eliminarles completamente la sal, proceso que los romanos no estaban en condiciones de poder hacer, al menos en grandes cantidades).

La explicación de que si se deja reposar a la intemperie la arena de mina pierde sus propiedades, puede estar, en que esta arena, al estar sometida a la lluvia, ésta puede eliminar los elementos finos que la hacían tan adecuada para los morteros. (Evidentemente Vitruvio no podía saber esto, por lo que se refiere al sol, luna y escarchas).

Sin embargo, no la recomienda como arena para hacer morteros de revoco. Tal vez sea debido a alguna mala experiencia suya, ya que en la arena de mina es mas probable encontrar restos orgánicos, que no son nada recomendables para la confección de morteros.

Sin embargo, la arena de río, al estar lavada, no presenta estos inconvenientes. Además recomienda machacarla con mazuelos. De este modo se consiguen granos angulosos, pequeños y limpios, muy adecuados para revocos.

En cuanto a la dosificación de la arena y la cal para conformar los elementos constructivos, tenemos:

- Proporciones aconsejadas por Vitruvio:

<b>Cal</b>	<b>Áridos</b>	<b>Agua</b>
1 Volumen	3 Volúmenes de arena de cantera (V,2)	15 a 20%
1 Volumen	2 Volúmenes de arena de río(VI,2)	15 a 20%
1 Volumen	2 Volúmenes de arena de río y 1 volumen de teja (VII,2)	15 a 20%

- Proporciones actuales de dosificación, enunciadas en los mismos términos que Vitruvio:

<b>Cal</b>	<b>Áridos</b>	<b>Agua</b>	<b>Usos</b>
1 Volumen	1 Volumen	10 %	Revocos.
1 Volumen	2 Volúmenes	13 %	Fábrica.
1 Volumen	3 Volúmenes	15,8 %	Cimientos.
1 Volumen	4 Volúmenes	18,26 %	Rellenos.

Salvando la distancia de que lógicamente las calidades de la cal que actualmente se trabaja, son mejores en general que la de las que manejaba Vitruvio, y que no hacemos distinciones en las diferentes clases de arena, queda claro que las proporciones que aconseja Vitruvio no se alejan demasiado de lo que actualmente se considera adecuado para los diferentes usos.

En general, esto explica porqué los hormigones romanos, cuando están bien dosificados se han conservado tanto tiempo en excelente estado. Hasta el extremo de que durante mucho tiempo se pensaba que los romanos tenían un “secreto” en la confección de sus hormigones, pues su durabilidad era extraordinaria. Solamente con el estudio pormenorizado los mismos se llegó a la conclusión de que el único secreto era una correcta dosificación.

- **El *Opus signinum*.**

La última dosificación propuesta por Vitruvio, es para la confección del *Opus signinum*, es decir, la obra a la manera de *Signia* (actualmente Segni) que era el material de revoco hidráulico por excelencia.

Este conglomerado, compuesto de arena de río, fragmentos pequeños de cerámica y mezclado todo con cal, tenía unas condiciones excepcionales al comportamiento con el agua.

La explicación no es otra que los componentes de la arcilla cocida que eran aportados a la masa.

La arcilla cocida está formada por silicatos alumínicos deshidratados. Estos componentes, vimos que proporcionan una cierta hidraulicidad a la cal, por lo que resultan muy aconsejables en las obras en contacto con el agua.

Este es el material con el que se recubrían las cisternas y los canales de los acueductos, así como los pavimentos de las piscinas y los mosaicos.

Resulta una vez más sorprendente comprobar cómo pese a tener muy claro el perjuicio de la arcilla cruda en la masa de arena y cal, supieron ver las ventajas que reportaba el empleo de la arcilla cocida y pulverizada para conseguir efectos hidráulicos en los morteros.

- **Los ladrillos.**

A la obra levantada con ladrillo se le llamaba *Opus testaceum*. Si bien en principio no tenían mucho “prestigio” esta serie de obras, por no ser de piedra, considerada mucho más noble, con el tiempo fue cobrando importancia hasta el punto de que desde Nerón, las realizaciones más formidables de Roma son de Ladrillo (**Adam .J.P.** *Op.Cit.*).

La tipología de los paramentos de ladrillo no ha tenido variación a lo largo de los siglos. Las variaciones sólo afectan a las dimensiones y a las calidades.

Con el tiempo los arquitectos romanos, sacaron rendimiento, no sólo de las propiedades portantes del ladrillo, sino también de sus cualidades estéticas, sólo o combinado con la piedra (El acueducto de Los Milagros es una buena muestra de ello).

Los ladrillos se obtienen de la cocción de la arcilla, que es un silicato alumínico hidratado. ( $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). La materia prima es el Caolín.

Sin entrar a fondo en los procesos químicos que se producen al calentar la arcilla, tenemos lo siguiente:

- Hasta 400°C se elimina el agua de amasado. Se produce una simple desecación del producto sin cambios químicos.
- Entre 400 y 800°C Las dos moléculas del agua del Caolín desaparecen, quedando el silicato de alúmina anhidro  $[(\text{SiO}_2)\text{Al}_2\text{O}_3]$ .

Cuando la arcilla, simplemente está seca, puede volver a formarse una pasta moldeable en contacto con el agua. Si se emplea para construcción en forma de ladrillo, se llama adobe. Tiene la ventaja de su reducido coste y extrema sencillez, pero debe aislarse de los elementos, pues el agua de lluvia lo disuelve.

Cuando la arcilla pierde el agua de composición, es cuando decimos que la arcilla está cocida. En ese punto ya no vuelve a poder moldearse en contacto con el agua, ni reduciéndola a polvo.

Esta propiedad sin duda fue lo que tal vez impulsó a los romanos a mezclar la arcilla cocida con mortero de cal para obtener una pasta hidráulica (el *Opus Signinum*), pues sin saberlo, añadían directamente silicatos de alúmina a la masa.

En muchas ocasiones, el ladrillo era el único material de que disponían los romanos para construir, por lo que lo usaron sin complejos.

Vitruvio, en el capítulo tercero de su libro segundo, no se ocupa de los ladrillos cocidos, sólo de los adobes. Suponemos que no es por desconocimiento, sino porque trató el tema en algún otro libro que se ha perdido.

Menciona tres tipos de ladrillos, aunque los romanos sólo usaron uno, el llamado *didoron* que tiene 1 pie de largo y 1/2 de ancho.

Habla de los medios ladrillos, de los que dice que "Colocando una fila de ladrillos otra de medios ladrillos, y prosiguiendo así al ponerlos a nivel por ambas partes, quedan las paredes bien trabadas, y los medios ladrillos sentados sobre las juntas de los enteros, dan firmeza al muro y no hacen mala vista." (**Vitruvio**.*Op.Cit.3.II*).

Es de notar que se refiere a la arcilla calcárea como *masculo sabulone*. es decir, adjudicándole género masculino a esta arcilla.

Se ha escrito mucho sobre el tema, y se ha interpretado de distintas maneras (toda la obra de Vitruvio es un poco "oscura" y sujeta a mil interpretaciones).

Sin embargo, tal vez el origen de esa expresión esté en que esta denominación provenga de la tradición constructiva mesopotámica (unos consumados maestros en el manejo y uso del ladrillo), que distinguían entre minerales machos y hembras. (**Hernández González F.** *Op.Cit.*).

El ladrillo cocido solo lo menciona Vitruvio una vez (*Later coctus*).

El término *Testa* lo emplea varias veces para explicar el modo de aparejar paredes.

La arcilla se cocía en hornos, que no diferían esencialmente de los que los alfareros empleaban, y básicamente su funcionamiento ha permanecido inalterado hasta la actualidad en algunas partes.

Las temperatura de cocción oscilarían entre los 800°C en la zona próxima a la solera del horno, y los 400°C en la zona de salida de humos. Esta temperatura es la que marca el límite de cocción, por debajo de la cual, la arcilla vuelve a descomponerse al contacto con el agua.

Los ladrillos eran además adecuados para mampostería, en polvo o en fragmento. Vitruvio afirma que las tejas que no pueden resistir mucho tiempo en los tejados no son aptas para incluirlas machacadas o en fragmentos en las obras de mampostería. Por ello se necesitan tejas viejas para realizar mampostería de cerámica.

Según él, la que no puede resistir en los tejados, mucho menos podrá resistir las cargas de los edificios. (**Vitruvio**.*Op.Cit.II.8*).

Esta analogía, aunque errónea, tal vez esté basada en lo siguiente:

No sabemos si a lo que se refiere es a la teja, que debido a alguna tensión o inclusión interna a causa de su composición, se ha terminado agrietando en el tejado, o tal vez a la que debido a una mala cocción en el horno, (por no haberse deshidratado convenientemente la arcilla) el agua la disuelve en parte, dando por consiguiente una teja inestable que se acaba rompiendo.

En este último caso, la no inclusión de este tipo de teja como parte de los aditivos al mortero de cal, está plenamente justificada, pues de hacerse así, en realidad se estaría añadiendo arcilla a la masa, siendo este compuesto nocivo para los morteros de cal aérea.

Sin duda, el hecho de que Vitruvio generalice la no inclusión de las tejas que se parten en los tejados, como aditivo en los hormigones, da que pensar que o bien el segundo caso era mucho más frecuente que el primero, o que prefería “curarse en salud” y arriesgarse a rechazar tejas aceptables, frente a la posibilidad de aceptar tejas deficientes.

Los romanos, en realidad, en lo que actualmente conocemos como “control de calidad en la recepción” no estaban muy avanzados, guiándose de la experiencia y del “buen ojo”. De hecho, Vitruvio afirma que no hay manera de saber si un ladrillo es bueno o malo hasta que no se coloca y se observa cómo le afecta el paso del tiempo y de los elementos.

De la misma manera que los ladrillos, cocían los tubos de cerámica que empleaban para las conducciones de agua a baja presión, o a alta presión en los sifones.

Curiosamente, pese a las encarecidas recomendaciones de Vitruvio para usar este tipo de tubería (Vitruvio tenía una especial inquina a las tuberías de plomo), los romanos las usaron poco (**Hernández González. F. Op.Cit.**).

- **Las piedras.**

Las piedras son otro de los elementos constructivos fundamentales empleados por los romanos. De hecho, es el más antiguo.

La variedad de la piedra era tal que su uso en construcción se hacía necesario en función de las proximidades, salvo en el caso de la construcción de lujo, y evidentemente como capricho de algún potentado. (En una villa bajoimperial de la provincia de Toledo se han hallado columnas traídas desde Anatolia). Pero esto son sólo casos aislados. Lo normal es que se obtuvieran en los lugares o canteras cercanas. (en Segovia se cortaron las piedras para los arcos del acueducto, casi a pie de obra).

No obstante, eran plenamente conscientes de que no eran iguales todas las piedras, ni todas servían para lo mismo.

Vitruvio dedica a las piedras todo el capítulo VII del libro segundo.

En él clasifica las piedras según diversos factores:

- ❑ Dureza. Se clasifican en: Blandas, semiduras y duras.
- ❑ Facilidad de labra.
- ❑ Comportamiento ante las inclemencias del tiempo, y las proximidades del mar.
- ❑ Comportamiento ante el fuego. Los relativamente frecuentes incendios, aconsejaban el uso de un tipo u otro de piedra. En particular, no recomienda el uso del Travertino.

Por cierto que Vitruvio no considera al mármol como *Lapis*, lo que indica que su uso se restringía principalmente a la estatuaria. Las paredes o pavimentos de Mármol debían ser cosas excepcionales.

Finalmente da unos consejos para “curar” las piedras antes de la puesta en obra. En una especie de prueba de calidad de las mismas. Aconseja que una vez que se hayan sacado de la cantera, se dejen a la intemperie al menos dos años.

Después de ese tiempo, las que se hayan cuarteado, sean usadas para los cimientos, y el resto para los paramentos, pues han obtenido el aprobado de la naturaleza.

Esto no solamente debía de hacerse con las piedras de sillar, sino también con las de mampostería.

- **Los paramentos**

Los arquitectos romanos lograron desarrollar una increíble variedad de paramentos distintos.

De muchos de ellos no fueron los inventores, sin embargo, sí dieron el paso significativo de “dignificarlos” de manera que los edificios (sobre todo los bajoimperiales) tuvieron profusión de muros y paredes con algunos paramentos que en tiempos de Vitruvio sólo se consideraban aptos para edificios humildes.

Aunque había mezcla de unos y otros, los que podríamos considerar “Básicos” son los siguientes:

- ***Opus Quadratum.***

Es lo que nosotros llamamos Sillería.

Este era un tipo de construcción antiguo, pero reservado casi exclusivamente para las grandes obras, debido al enorme coste que levantar estos muros requería.

Había que contar con personal altamente especializado en todos los procesos, desde la extracción en mina (algunas de las cuales estaban demasiado lejos), pasando por la talla, el transporte y la puesta en obra, pues los sillares debían elevarse por procedimientos especiales desde el suelo hasta su altura correspondiente.



QUADRATUM

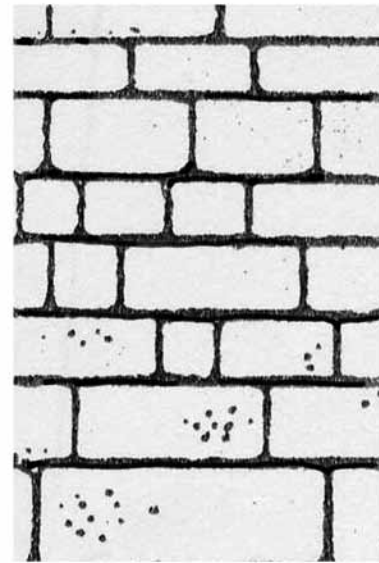
La ventaja que este sistema constructivo reportaba, era su durabilidad, y su casi nulo mantenimiento, por lo que en ocasiones, sí resultaba rentable este tipo de obra.

Por ello, algunos acueductos, como el de Segovia están levantados con sillería. Por una parte las canteras estaban muy próximas, y por otra, las piedras están talladas de un modo bastante tosco, por lo que la velocidad de construcción del mismo no debió resultar demasiado baja.

□ ***Opus Vittatum.***

Este tipo de construcción es lo que llamamos Sillarejo.

Se empleó con profusión en aquellos edificios que no requerían un aspecto demasiado “espectacular”. El *Opus Vittatum* requería unos sillares menos grandes en general que los del *Opus Quadratum*. Aunque no siempre era así. Pero en general se guardaba siempre la regla de colocar los sillares más grandes y pesados en la parte inferior de la obra, y los más pequeños en la superior, no sólo por conseguir una mayor estabilidad, sino también para facilitar la puesta en obra de los mismos.



VITTATUM

□ ***Opus Reticulatum.***

Este tipo de paramento, empleado por los romanos con relativa asiduidad, tenía la dificultad de los remates de los ángulos salientes a causa de la ausencia de hiladas horizontales.

El problema se resolvió en parte con el escuadrado de ladrillos recortado en forma de dientes de sierra.

El origen de este aparejo, posiblemente esté en la facilidad para evitar las juntas verticales (origen de fisuras) y la facilidad de encajar las piezas en las hiladas ya colocadas.

Tiene el inconveniente de que las piezas deben estar talladas una a una, lo que encarece la obra y la ralentiza.



RETICULATUM

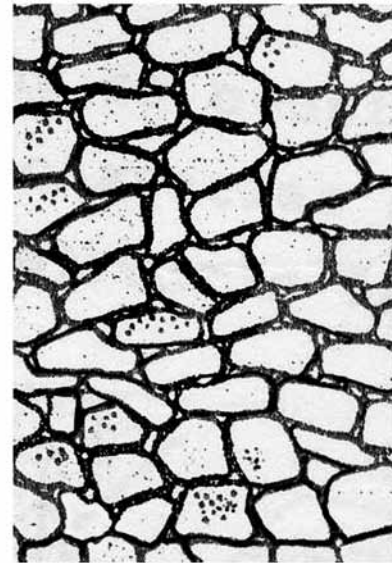


❑ ***Opus Incertum.***

Este tipo de paramento es lo que habitualmente llamamos Mampostería.

Habitualmente está hecho de piedras colocadas a mano (de ahí el nombre), trabadas someramente con pequeñas piedras (ripios).

Es el tipo de construcción más primitiva con la que se levantaban muros de piedra. Tiene la ventaja de la relativa facilidad y rapidez de ejecución de la obra, pero precisamente por ello, adolece de ciertos problemas de inestabilidad cuando la altura del muro sobrepasa ciertos límites, debido a las juntas verticales, que tienden a separarse en cuanto aparecen asientos diferenciales en el terreno.



INCERTUM

En tiempos de Vitruvio, este tipo de obra se consideraba como cosa del pasado, pues en el capítulo VIII de su libro segundo afirma que el reticulado es de uso general, prefiriéndose al antiguo o incierto.

Curiosamente, indica que el *Opus Incertum* resulta más estable que el *Reticulatum*, porque dice que al tener éste todos los asientos en el mismo sentido, sus juntas no tienen una fuerte trabazón.

En el *Opus Incertum*, sin embargo, al tener las piedras una forma irregular, están más trabadas entre sí, por lo que la obra resulta menos elegante, pero más sólida.

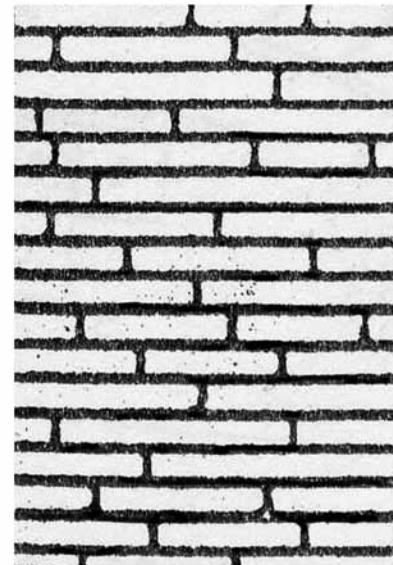
Con el tiempo, los arquitectos romanos, no solamente trabaron las piedras del *Opus Incertum* con ripios, sino que hicieron que se sujetaran con una masa de hormigón, lo que confería a los paramentos una solidez extraordinaria.

❑ ***Opus Testaceum.***

Esta Obra de ladrillo, si bien empezó teniendo una importancia relativa en la primitivas edificaciones romanas, fue adquiriendo poco a poco importancia, hasta el extremo que desde finales del siglo I d.C. prácticamente todas las grandes obras imperiales fueron hechas con ladrillo.

Tiene la ventaja (si está bien cocido) de ser casi indestructible, pues es una auténtica piedra artificial. Además su fácil colocación y versatilidad le hacía ser especialmente apto para casi todo tipo de construcción.

Por otra parte, los arquitectos romanos supieron sacarle partido estético a esta obra, por lo que de algún modo "ennoblecieron" este tipo de construcción.



TESTACEUM

No obstante, los romanos no hallaron demasiadas maneras de colocar los ladrillos en diversos aparejos. Quizás porque éstos, aunque de diversos tamaños según el lugar, eran de planta cuadrada, por lo que no tenían las proporciones de sogá y tizón de los modernos.

❑ ***Opus Spicatum.***

Este tipo de aparejo apareció en la regiones donde abundaban las losas planas.

Tiene el inconveniente de que se producen unas ciertas cargas laterales en los lados del muro que deben ser compensadas de algún modo, generalmente con pilastras u otros elementos de sujeción.

Este sistema tiene, cuando se aplica en pavimentos la ventaja de resultar extraordinariamente sólido y resistente al desgaste.

Normalmente no se hacían grandes lienzos de muro con este aparejo.

Empezó haciéndose con piedra, pero pronto se realizó con ladrillos.



SPICATUM

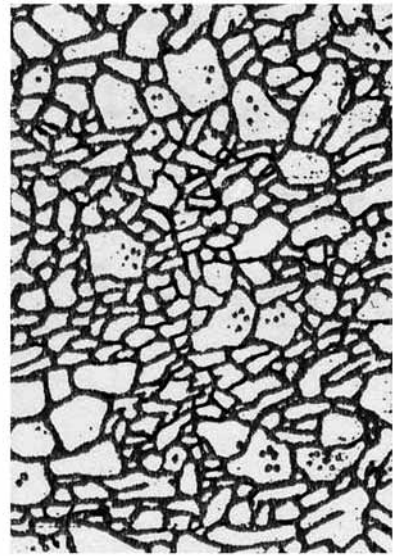
### ❑ ***Opus Caementicium***

Este fue sin duda el gran logro de los arquitectos romanos.

Pese a su nombre, no tenía nada que ver con el cemento actual, pues el aglomerante que empleaban era principalmente cal.

Como tal, el *Opus caementicium* no se empleaba como paramento, sino que se usaba de relleno entre dos paredes confeccionadas con otros aparejos autoportantes.

Este relleno, una vez endurecido, resultaba extremadamente resistente y duradero, por lo que los edificios así confeccionados, tenían una larga duración garantizada.



CAEMENTICIUM

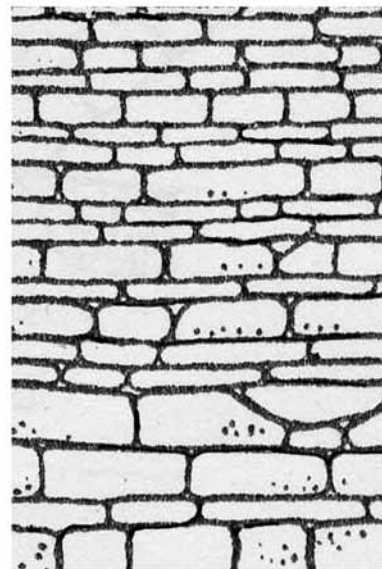
Etimológicamente la palabra *caementa* no designaba al aglomerante, sino a los guijarros que se mezclaban con dicho aglomerante. Hubo una transferencia de vocablo, convirtiéndose el cemento en mortero, y luego sólo en aglomerante.

Además de estos paramentos, los arquitectos romanos supieron mezclar diferentes formas, de manera que conseguían efectos estéticos muy notables, además de combinar las diferentes propiedades mecánicas de cada uno.

Algunos de estos eran:

### ❑ ***Opus Mixtum Vittatum***

Este paramento está formado por piedras someramente trabajadas y escogidas, de manera que, aunque la construcción resulta irregular, se puede apreciar en ella, una cierta tendencia a conservar de algún modo la horizontalidad. La forma de colocación seguía siendo la misma que para el Sillarejo, es decir, los bloques más grandes se ponen en la parte inferior del paramento, y los más pequeños en la superior.

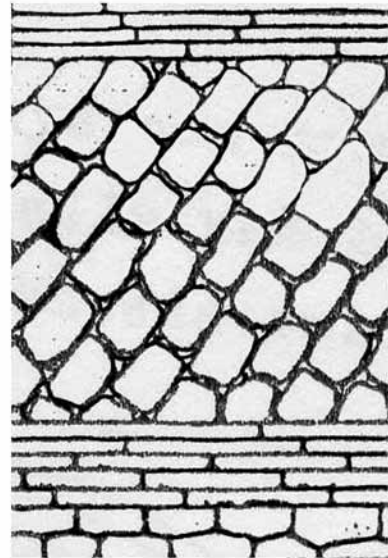


MIXTUM VITTATUM

▣ ***Opus Mixtum Incertum.***

Este tipo de paramento combina el *Opus Incertum* con hiladas horizontales de (por ejemplo) *Opus Testaceum*.

Las hiladas horizontales en este tipo de paramento servían para proporcionar horizontalidad a la obra, de manera que cada cierto tramo de muro, se hacían varias filas horizontales, y a continuación se seguía con la construcción de mampostería.

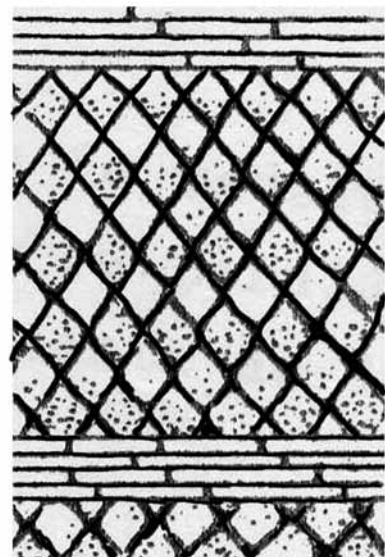


MIXTUM INCERTUM

▣ ***Opus Mixtum Reticulatum.***

Este paramento es una consecuencia del anterior, cuando los mampuestos no tienen forma irregular.

La finalidad es la misma, y las hiladas de ladrillo (o de otro material) sirven para mantener la horizontalidad de la obra.



MIXTUM RETICULATUM