

Cemento Romano: en busca del cemento "perdido"*

Andrea RATTAZZI

El término "cemento", ha lo largo de la historia de la arquitectura, ha significado "ligante" a partir de su acepción latina, es decir, material capaz de ligar o unir otros materiales como arenas o gravas. "Cemento" viene del vocablo *caementum*, con el que los Romanos designaban aquellos elementos, tipo fragmentos de piedras o ladrillos (*cae-do* = "corte en piezas") y que se usaban en la fabricación de los calcestruzzi (*calcis-structio* = "estructura a base de cal"). Ya desde finales del siglo III a.C. el *opus caementitium* era usado en la construcción de muros y acueductos en los que constituía el núcleo portante de la estructura, revestida de piedras o ladrillos (fig. 1 y 2). Pronunciar la palabra "cemento", no debería provocar rechazo inmediato a los que se ocupan de la conservación y/o restauración de obras antiguas y patrimoniales.

* Ovvero, quando la parola cemento non crea disagio a Conservatori e Restauratori

Ya que el término cemento no estaba ligado, hasta mediados del siglo XIX al uso del moderno cemento Portland, vetado como sabemos en cualquier obra de restauración, por su incompatibilidad físico-química con los materiales de construcción históricos.

Quien suscribe, por ejemplo, en el pasado ha definido al "cemento" como "diablo" en contraposición con la cal grasa, que sería, en obras de restauración, algo así como agua bendita; y lo haría aún hoy, pensando en los daños que monumentos históricos han sufrido, y sufren, por el uso indiscriminado y cotidiano de por el uso inadecuado de

morteros a base de cemento.¹ No obstante, tras haber pasado algunos años de aquella afirmación, hoy daría explicaciones más amplias y sin temor a malentendidos diría que ¡la palabra cemento merece respeto!. El mismo que la palabra cal, a condición de especificar claramente, en ambos casos, a qué nos referimos.

Hablar del Cemento Romano ofrece esta oportunidad.

Origen del Cemento Romano

Para comprender el Cemento Romano es necesario regresar hasta los Romanos,

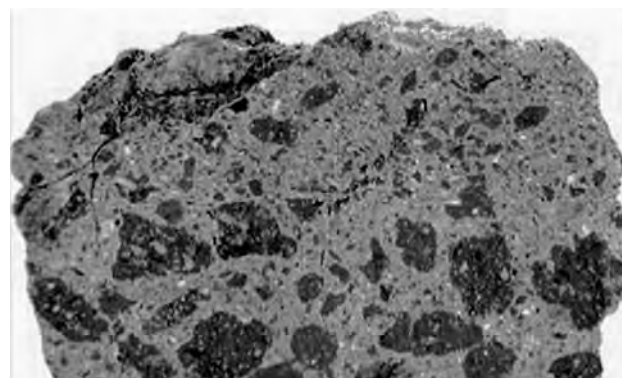


Fig. 1 - Mortero a base de cal y puzzolana (época romana)

no solo para confirmar que su *opus caementitium* no era sino una mezcla a base de cal grasa, puzzolana y/o arena y gravas, sino también para recordar que sus obras de arquitectura e ingeniería, construidas con estos hormigones, habían ganado "la batalla del tiempo", incluso en zonas lejanas del Imperio y en condiciones climáticas muy distintas a las de la zona de extracción de la *pul-vis puteulana*.

Con estos antecedentes llegamos a la Inglaterra de finales del siglo XIX, en plena

¹ Rattazzi A., '¿Conoces la cal grasa? Origen, producción y uso de la cal grasa en Arquitectura, Arte y Restauración', Edicom, Monfalcone 2007.

Fig. 2 - *Opus caementitium* romano, utilizado para construir acueductos a partir del siglo III a.C.



² Parker J. 1796, 'A Certain Cement or Terras to be Used in Aquatic and Other Buildings and Stucco Work' British Patent 2120, July 1796 to James Parker of Northfleet

³ Weber J. Mayr N. Adamski G. Bayer K. Bratasz L., Hughes D. C. Kozlowski R., Stillhammerova M. Ullrich D., And Vyskocilova R. 'Roman Cement Mortars in Europe's Architectural Heritage of the th Century' J Astm Int 4, 2007.

revolución industrial, periodo en el que la investigación se interesa en todos los sectores. Y en el que resulta lógico que químicos, ingenieros, artesanos, ... quisieran descubrir los secretos de los hormigones romanos y su durabilidad y, sobre todo, de sus extraordinarias propiedades hidráulicas. En 1756, John Smeaton, proyectista y constructor del faro de Eddystone (Cornwall) fue el primero en relacionar la hidraulicidad con el contenido en material silico-aluminoso en las piedras calizas, abriendo el camino para investigaciones futuras que conducirán a la puesta a punto de los ligantes hidráulicos tal como hoy los conocemos

Pero fue Joseph Parker en

en 1796 quien primero fabricó, por calcinación de nódulos de *septaria* (fig. 3), el primer ligante hidráulico de nueva generación, al que llamó Roman Cement. Parker era perfectamente sabedor de que su ligante no tenía nada que ver con el de los antiguos romano, pero con una intuición digna del mejor marketing, lo bautizó "Cemento Romano" y lo patentó con ese nombre, porque recordaba el color de los antiguos cementos romanos de cal y puzolana cuyo éxito esperaba emular.²

En poco tiempo, el Cemento Romano se difundió por Europa (fig. 4), con variaciones de calidad según el país de producción, caracterizando a la arquitectura de la época en ciudades como Londres, París, Viena, Praga, Cracovia, Bratislava, Milán, Turín, ... hasta la introducción del cemento Portland a principios del siglo XIX (7-8-9) Port tanto, hablar de "Cemento Romano" o más propiamente de 'Roman Cement' significa referirse a un ligante hidráulico natural de finales del XVIII: un ligante

Fig. 3 - Nódulos de *Septaria* de las escolleras de Harwich (UK) usados por Parker para fabricar Cemento Romano



histórico a todos los efectos, usado durante más de un siglo en toda Europa, para construir millares de palacios y monumentos (fig. 10). Los mismos palacios y monumentos sobre los que diariamente trabajan los restauradores, pero que nunca pensarían en restaurar con "cemento", o al menos nunca lo dirían abiertamente. Renegar del uso del cemento romano es como renegar del uso

Fig. 5 - Detalles del Court Teatre de Viena



Fig. 4 - Almacenes del Court Teatre di Vienna, 173. La magnífica fachada edificada con ladrillos y elementos en Cemento Romano-





Figg. - Crakovia, teatro municipal 93

7 - Crakovia, teatro municipal, 1893 detalle de adorno



de la cal grasa en restauración: una grave contradicción que denota un escaso conocimiento de los



ligantes, ofuscados por la animadversión incondicionada a los cementos y el amor a las cales, sin concretar el tipo de cemento o cal de referencia. El cemento natural, o bien el Roman Cement, obtenido por cocción a baja temperatura de calizas impuras (por tanto totalmente análogo a las apreciadas cales hidráulicas naturales), es un ligante con firma en la historia de la arquitectura: ¿es justo entonces considerar su uso despreciable en obras de restauración?

Quien responda si a esta pregunta debería explicar los motivos, ya que, como siempre, en las obras de restauración, por ejemplo, se siguen usando con toda confianza y naturalidad las cales hidráulicas marcadas HL, ¡que no son otra cosa que clinker de Portland diluido en abundante filler calizo!⁴

Los proyectos Rocem y Rocare

Con la constancia de que los ligantes históricos han sufrido una evolución con el tiempo, y que entre estos es obligada la inclusión de los cementos naturales, en el 2003 ha comenzado un proyecto de investigación científica llamado ROCEM

Fig. - Fachada del Palacio Bella, 1898, Via Mica, Turín



"Roman CEMENT to restore built heritage effectively"

financiado por la Comisión

Europea.⁵ Las fachadas de gran parte de los edificios del siglo XVIII de las capitales europeas están hechos y/o revestidos por elementos compuestos de un ligante hidráulico de color marrón rojizo, el mismo Roman Cement. Quien no conozca el material y su forma de uso puede hacerse una idea de la importancia del asunto-

Fig. 9 - Mole Antonelliana (Turín). Arq. Alessandro Antonelli (1 7) todos los elementos decorativos son de cemento natural

⁴ Uni En 459-1:2002 'Calci da costruzione - Parte 1: Definizioni, specifiche e criteri di conformità'. Uni, Milano, 2002.

⁵ Bayer K., Gurtner CH., Hughes D.C., Kozłowski R., Swann S., Schwarz W., Weber J. 'Eu-project ROCEM: Roman Cement to restore Built Heritage Effectively', Vol. 1-5, Berlin- Bradford-Cracow-Litomysl-Vienna, 2006.

Fig. 10 - Difusión del Roman Cement en Europa en el transcurso del siglo XVIII



admirando frisos, cornisas, y balaustradas de la Galería Vittorio Emanuele de Milán (fig. 11-12-13) que el proyectista Giuseppe Mengoni, en 1865, realizó usando este tipo de cemento, porque incluso en los materiales, la galería tenía que simbolizar las innovaciones tecnológicas del periodo. Pues bien, si queremos intervenir sobre estos elementos no podemos sino repetir el error de reparar, integrar, sustituir los elementos degradados con materiales inadecuados

o incompatibles, con los originales. ¿Por qué? ¿Simplemente porque los cementos naturales, aplastados industrialmente por los cementos artificiales y demonizados por su propio nombre son, de momento, difíciles de encontrar! Proyecto ROCEM, terminado en 2007, refinanciado hasta 2012 como ROCARE

Fig. 11 - Galleria Vittorio Emanuele, Milán realizada en uno de los estilos eclécticos con grottescos, cariátidas, lunetas y lesenes, típico de la segunda mitad del siglo XIX milaneses



(Roman Cements for Architectural REstoration to new high standards duration), tiene como objetivo restituir a los cementos naturales (Roman Cement en Inglaterra y parte de Europa) la dignidad y valor que merecen. Pero hay más, la finalidad última del proyecto es favorecer la re apertura de hornos capaces de fabricar este tipo de ligantes, con las adecuadas certificaciones de proceso y producto, para ofrecer al mercado de la restauración ese hueco vacío entre las cales hidráulicas y los cementos artificiales de nueva generación, en absoluto idóneos para restaurar el patrimonio histórico precedente a los inicios del siglo XX.

Un ligante distinto a otros
¿Que es el Roman Cement? ¿Cómo se fabrica? ¿Qué lo caracteriza? ¿Por qué, a pesar de su gran difusión, prestaciones y durabilidad sorprendentes, fue abandonado? ¿Como se le reconoce y distingue de otros ligantes hidráulicos naturales, como por ejemplo una cal hidráulica? Estas preguntas han sido contestadas por el grupo internacional del proyecto ROCEM/ROCARE.

Fig. 12 - Galería Vittorio Emanuele, detalle

Fig. 13 - Galería Vittorio Emanuele, Milán

Para entender a fondo, sin errar términos y definiciones, de que cosa hablamos al referirnos al Roman Cement, debemos, de nuevo, dar un paso atrás. A caballo entre los siglos XVII y XIX, periodo en el que en Inglaterra se investiga y experimenta, con Smeaton, Parker y otros



	Indice de hidraulicidad	Contenido de arcilla	Duración del fraguado
Cales débilmente hidráulicas	0,10-0,16	5,3-8,2	15-30 días
Cales medianamente hidráulicas	0,16-0,31	8,2-14,8	7-11 días
Cales propiamente hidráulicas	0,31-0,42	14,8-19,1	4-7 días
Cales eminentemente hidráulicas	0,42-0,50	19,1-21,8	14 días
Cales límite	0,50-0,65	21,8-26,7	<4 días

Tab. 1 - Clasificación de las cales (Vicat)

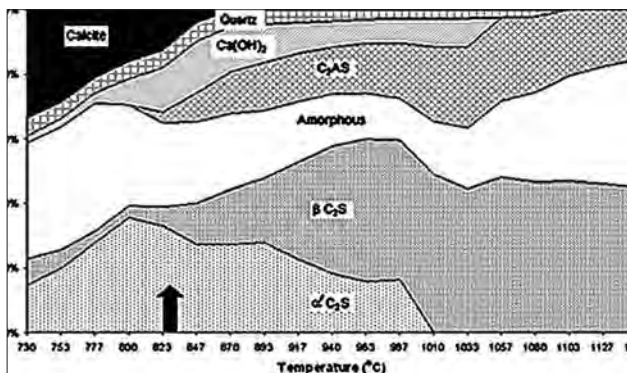
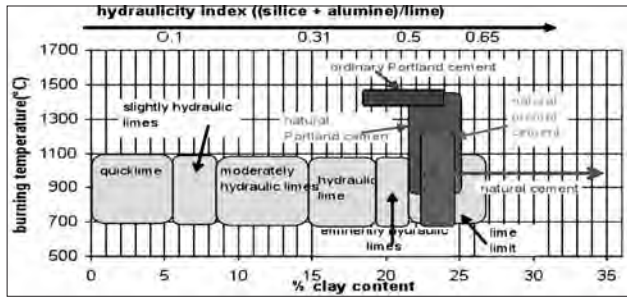


Fig. 14 - Composición y temperatura de cocción de las cales y cementos

Fig. 15 - Cambios mineralógicos del Roman Cement, en relación a su temperatura de cocción. La flecha indica la temperatura óptima

ligantes hidráulicos. Las diferencias entre los distintos tipos de cales, ligadas al índice de hidraulicidad y al contenido de arcilla en la materia prima (tab. 1), la publicó por primera vez Louis Vicat en 1818, conocido por haber ideado el instrumento que sirve para medir el tiempo de fraguado (aguja de Vicat). Y, siempre a Vicat, le debemos conocer la sutil diferencia entre "cales límite" y "cementos naturales", las primeras necesitadas de ser apagadas (hidratación parcial) para su uso, y los segundos obtenidos simplemente por molturación de la materia prima calcinada que no necesita ser apagada.⁶ Por esto, el Roman Cement, con una patente internacional, en Francia pasa a llamarse Prompt, yeso-cemento, ... sin ser otra cosa que "cemento natural", obtenido por cocción

en proceso y condiciones muy similares a los de las cales hidráulicas, de marnas con alto contenido de arcilla (22+35%), molienda sucesiva y nada más.

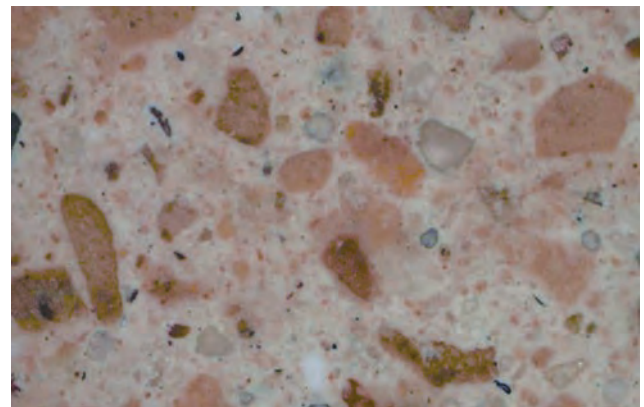
La originalidad del Roman Cement no proviene de una composición química particular de la materia prima de origen, que es muy próxima a la de los cementos Portland, y a las "cales límite", sino más bien de una temperatura de cocción medio baja, pero de amplio espectro (entre 600 y 1200°C), y de la mezcla íntima y natural de carbonatos de calcio y arcillas en la marna original (fig. 14). El resultado, tras la cocción, es la formación de una vasta gama de minerales, idénticos a los de las cales hidráulicas, pero en proporciones muy diferentes (fig. 15), con un particular incremento de los silicatos y

Vicat L. J., "Resumen de los conocimientos positivos actuales sobre las calidades, selección y conveniencia recíproca de los materiales adecuados a la fabricación de morteros y cementos calizos" París, 1828

	Cales		Cementos	
	Cal Aérea	Cal Hidráulica Natural	Roman Cement	Cemento Portland
Ligante	Cal Aérea	Cal Hidráulica Natural	Roman Cement	Cemento Portland
Fraguado	Lento	Medio lento	Muy rápido	Rápido
Hidraulicidad	No	Si	Si	Si
Materia prima	Natural	Natural	Natural	Artificial
Apagado	Si	Si	No	No
T° de cocción	<1000°C	<1200°C	<1200°C	<1400°C
Mineralogía principal	Ca(OH)2	Ca(OH)2 + C2S	C2S	C3S
Color	Blanco	Gris - marrón	Ocre - marrón	Gris

Tab. 2.- Algunas características que distinguen a las cales (aéreas e hidráulicas) de los cementos (Roman Cement y Portland)

Fig. 16 - Decoraciones en Roman Cement
Fig. 17 - Aspecto de la masa en sección transversal pulida



aluminatos de calcio en solo escasamente silicato
expensas de la cal no tricálcico C3S (alita) mineral
combinada (cal libre), con de alta temperatura, típico
aumento importante de la del Portland.

La cal libre, bajo
resistencia mecánica y la forma de hidróxido de
capacidad de resistir a las calcio Ca(OH)_2 y de
acciones agresivas de las óxido de calcio CaO
aguas meteóricas. constituyente principal de
Calcinando tipos particulares las cales aéreas y
de marnas en hornos verticales siempre presente en las
a carbón, a temperaturas cales hidráulicas, en
variables según zona, cambio prácticamente
comprendidas entre los 600 y ausente, ya que el
los 1200°C, calcio quedará casi

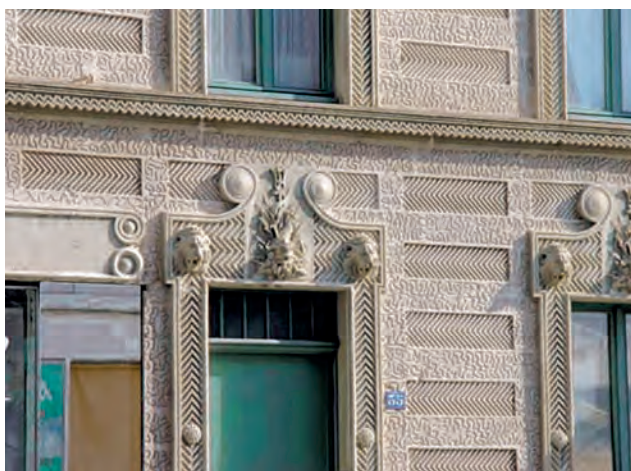
- Una parte de la piedra resultará (no cocida)
- Otra parte (20-30%) formará fases pseudo cristalinas o amorfas de la familia de los aluminatos de calcio (C4AF, C3A, C12A7, C4A3S y C2AS)
- Y el resto, un 50%, que se transforma en silicato de calcio, sobre todo belita (C2S), en sus dos formas, "alfa" y "beta, y

completamente combinado con silicatos y aluminatos. Es el conjunto de estos compuestos, en la proporción adecuada, que determina las peculiaridades del Roman Cement y que decidieron su enorme difusión (en el XVIII en Europa central la mayor parte de edificios se hicieron con él, con puntas del 80% en las capitales del imperio austro-húngaro).

Las características del Roman Cement, que lo distinguen netamente de las cales aéreas e hidráulicas, y más aún de los cementos modernos tipo Portland (tab. 2) son:

1) Fraguado rápido, endurece en pocos minutos de tocar el agua y en pocas horas las resistencias a compresión son de unos 4 MPa

Fig. 1 - Palacio en la calle Nicolás Chorier en Grenoble. Fachada de cemento Prompt.



(agua/cemento=0,66) para formar aluminatos calcio hidratados (CAH);

2) Aumento gradual de las características mecánicas, con progresión continua (ligada a la presencia de fases polimorfas de belita que se hidratan en momentos distintos) para quedar estables en valores importantes a compresión (>20-25 MPa) a los seis meses del fraguado;

3) Altos valores de porosidad abierta, entre 20 y 40 %, aseguran permeabilidad al vapor. Gracias a las indicadas características el Roman Cement demuestra una durabilidad extrema, incluso en ambientes agresivos, así como completa compatibilidad con los materiales históricos



Fig. 19 - Estación de Bologna (1871), Ing. Gaetano Ratti



Fig. 20 - Detalle de abujardado en cemento Kufstein de la estación de Bologna

(piedras, cotto, cales aéreas e hidráulicas) cuando se usa en enfoscados y/o estucos, además de ofrecer un color marrón ocre agradable a la vista (fig. 16-17-18).

La difusión del Roman Cement en Europa

La difusión y fortuna del Roman Cement en el XIX estuvo ligada a sus características que lo hacían preferible a otros ligantes hidráulicos que poco a poco entraban en el mercado de la construcción, cales hidráulicas, cementos de magnesio, Portland, ... Y el fraguado rápido era una cualidad apreciada; podía llegar a ser muy rápido (< 15 min.), si no se usaba retardante (ácido cítrico) que permitía los trabajos en taller

y moldeados, típicos del proceso de industrialización, reduciendo los tiempos de fabricación de adornos, estucos, frisos, ... típicos de la arquitectura del periodo. En Italia la difusión del Roman Cement, es más lenta que en Europa, obstaculizada por factores de índole cultural e industrial: entre los primeros, el excelente nivel de conocimiento de los morteros tradicionales, antiguos, y entre los segundos la existencia de pequeños fabricantes de cal aérea y/o hidráulica aún activos (se estima que podían llegar a 1500 en esa época), que no eran receptivos a innovaciones extranjeras.

En Italia prevaleció el escepticismo de quienes creían en los nefastos efectos que el Roman Cement habría aportado a nuestras ciudades. Para entender la aversión hacia ese "cemento de color rojizo" basta la descripción del mismo hecha por el arquitecto veneciano Giacomo Boni: "esa porquería extendida con paleta, del color de la fresa podrida o de la amapola descolorida" que, a su entender, no habría nunca podido competir en belleza y solidez con "los morteros de cal

y trozos de cerámica, de hermoso color rojo gótico veneciano, liso pero no brillante, que da con el tiempo sombras marrones". El mismo Boni, argumentaba que "los morteros antiguos son tan sólidos que para quitarlos hace falta más tiempo del que tardan los modernos en caer por sí mismos".⁷

No obstante, también en Italia, y especialmente en las zonas con mayor influencia nordeuropea, el Roman Cement encontró, empresarios, proyectistas y arquitectos dispuestos a apostar por su uso. Ciudades como Turín, Genova, Milán, Venecia, o Bologna están llenas de ejemplos poco reconocidos del uso del cemento rápido, importado casi siempre de Francia (Grenoble) o de Austria (Kufstein) antes de que estuviera disponible el de producción italiana (fig. 19-20). Producción que tuvo lugar, presuntamente en febrero de 1864 cuando la sociedad "Italiana Cementi (Bérgamo, fabricación de cemento y cal hidráulica) sacó al mercado un "cementillo natural" obtenido por calcinación de marnas.

⁷ Boni G. 'Venezia imbelletta' Roma Stab Tip Italiano 1887.

Bolis B. 'Calci e Cementi' Hoepli Milano 1952.

⁹ Varas M. J., Alvarez de Buergo M., Fort R. 'Natural cement as a precursor of Portland cement: Methodology for its identification' Cement and Concrete Research 35, 2005, p. 2055-2065.

¹⁰ Avenier C., Rosier B., Sommain D. 'Ciment Naturel' Ed. Glénat Grenoble 2007.

Aunque parece más probable que el primer cemento natural italiano fuera el fabricado en Casale Monferrato en 1876 por Giuseppe Cerrano, que había trabajado en una cementera de Grenoble,⁸ por tanto con casi un siglo de retraso respecto a otros países de Europa. De hecho, en el resto de Europa ya había comenzado la producción industrial de cemento Portland, tal como lo entendemos hoy en día, fruto del ingenio de Isaac Charles Johnson que puso en evidencia la necesidad de aumentar la temperatura de cocción, con la completa combinación de las cales con la sílice y la alúmina de la arcilla, hasta casi fusión (*clinker*). La llegada del moderno Portland, a poca distancia del hormigón armado y una nueva forma de concebir la arquitectura, nueva respecto a la precedente, inician la decadencia del Roman Cement, que resulta inadaptado a la nueva forma de construir y desaparece, casi completamente, del mercado de los ligantes.

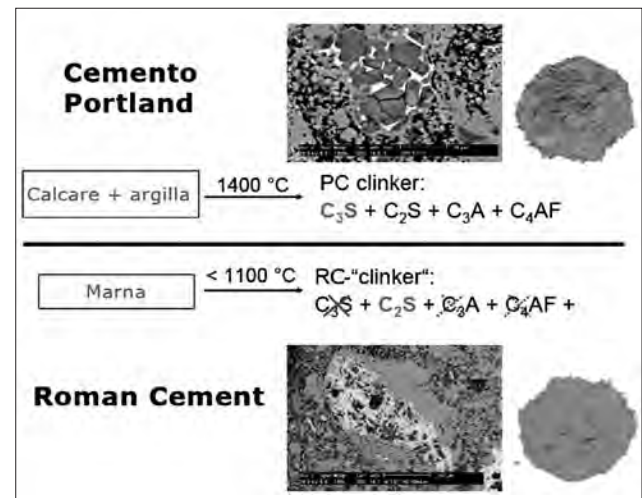
Renacimiento del Roman Cement

En los próximos años, gracias al proyecto de investigación ROCARE, que tendrá entre

la finalidad de sensibilizar a los restauradores, proyectistas y similares, a través de conferencias, workshop, formación, ... volveremos a oír hablar del Roman Cement. Considerando que las mayores inversiones en edificación se hacen por la vía de la restauración, y que esta necesita productos adecuados y compatibles con los originales, a condición que se les pueda reconocer (fig. 21), hay que prever un amplio uso del Roman Cement en las innumerables obras de recuperación de los construido, para sustituir al original.⁹

En Italia usaremos, por ejemplo, el de origen francés, dado que en Grenoble nunca se dejó de fabricar (fig. 22)¹⁰ o de otros países (Austria, Polonia, ...) donde ya se están reabriendo canteras de marnas y plantas de cocción adecuadas. El valor del mercado europeo del Roman Cement, destinado a la restauración se estima en unos 600 mll. de Euro/año. Si su uso no se limita al sector de bienes culturales, por sus prestaciones y carácter ecológico, las cifras podrían ser

Fig. 21 - Diferencias de composición entre cemento natural (Roman Cement) y artificial vistas al microscopio electrónico



muy superiores (eco-construcción).

La búsqueda del "cemento perdido" en los próximos años podría pues convertirse en un negocio muy fructífero.

- en términos científicos y de restauración, en cuanto que podremos disponer de un ligante histórico y realmente compatible con una parte importante de nuestro patrimonio arquitectónico;

- y en el aspecto económico, porque la producción de Roman Cement contribuirá a reavivar el sector industrial de los ligantes y la construcción natural.

Quien conoce la historia de la arquitectura y se mueve en el mundo de la restauración, no tendrá nada que temer de la palabra "cemento" ¡siempre que se especifique que se trata de Roman Cement!



Fig. 22 - Hornos verticales para producción de cemento natural (Ciments Vicat, Grenoble)