



# CUADERNO TÉCNICO

**CEMENTO NATURAL PROMPT**

**EL CEMENTO ROMANO DE  
GRENOBLE**



## CUADERNO TÉCNICO

### CEMENTO NATURAL PROMPT EL CEMENTO ROMANO DE GRENOBLE

#### SUMARIO

<b>1 EL CEMENTO LLAMADO ROMANO</b>	<b>P.3</b>
<b>2 EL CEMENTO ROMANO DE GRENOBLE</b>	<b>P.5</b>
2.1 Composición química y mineralógica	
2.2 Características generales de los morteros de Cemento Natural Prompt	
2.2.1 <u>Una subida en resistencias en dos fases en un largo periodo de tiempo</u>	
2.2.2 <u>Las resistencias en función de la dosificación y de la relación agua/cemento</u>	
<b>3 LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO NATURAL PROMPT</b>	<b>P.8</b>
3.1 Las características de los morteros antiguos de cemento romano	
3.2 Las características de los morteros de Cemento Natural Prompt con baja dosificación	
3.2.1 <u>Absorción y porosidad, al agua y al vapor de agua</u>	
3.2.2 <u>Resistencias mecánicas</u>	
3.2.3 <u>Módulo de elasticidad</u>	
3.2.4 <u>Retracción de secado</u>	
3.3 Características de los morteros de Cemento Natural Prompt con baja dosificación y con mezcla de filler	
3.4 Características de un mortero fino de Cemento Natural Prompt con alta dosificación	
<b>4 LAS APLICACIONES DEL CEMENTO NATURAL PROMPT COMO CEMENTO ROMANO</b>	<b>P.13</b>
4.1 Aplicaciones en enlucidos	
4.2 Aplicaciones en moldeados con galga	
4.3 Aplicaciones en moldeados prefabricados	
<b>5 CONCLUSIONES</b>	<b>P.15</b>



## CUADERNO TÉCNICO

### CEMENTO NATURAL PROMPT EL CEMENTO ROMANO DE GRENOBLE

#### 1 EL CEMENTO LLAMADO ROMANO

Desde los conocidos morteros romanos, mezclas de arena, cal y puzolana, ningún progreso fue hecho en el campo de los aglomerantes hidráulicos hasta finales del siglo 18.

Fue en Inglaterra donde tuvieron lugar los primeros pasos: Parker depositó una patente, en 1796, sobre la cocción de nódulos de margas calizas. Fue un invento “mayor”; demostró que podía fabricarse un ligante con alta hidráulicidad (respecto a las calces magras y mezclas de cal-puzolana de la época), por cocción a baja temperatura (por debajo del punto de fusión) de una caliza con mayor contenido de arcilla que las calces corrientes, sin hidratar la piedra cocida, simplemente sometiéndola a molienda en seco.

A principios del siglo XIX este procedimiento se extendió por toda la Europa continental con la cocción de margas (calizas arcillosas).

A este cemento se le llamó “Cemento Romano», término impropio, ya que no es un re-descubrimiento de los morteros fabricados por los romanos.

En el siglo 19 la confusión de denominaciones era enorme. En una misma zona este cemento era llamado: cemento natural, cemento rápido, cemento prompt, cemento romano, e incluso cemento-yeso. La denominación más adecuada sería la de “cemento rápido natural”.

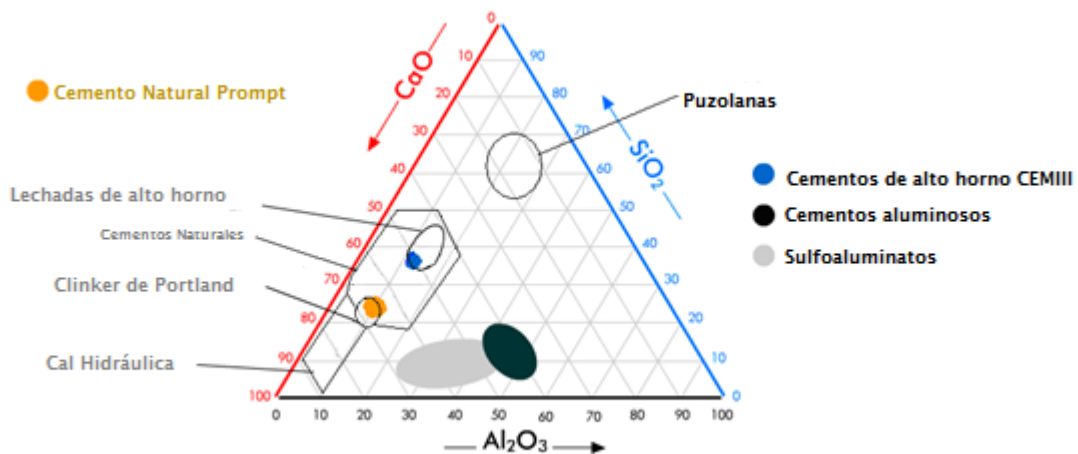
1875 Joseph Vicat, La-Pérelle, France.  
1855 Dumas et Berger, Valentine, Marseille,  
1850 Rozet et Menisson, Vitry-le-François, F  
1849 Benoit Berthelot, Vif, France  
1846 Velleret, Argenteuil, France  
1846 Dupont et Demarle, Boulogne/mer, Fr  
1844 Désiré Michel, Valdonne, France  
1842 Capitaine Breton, Porte-de-France,  
Grenoble  
1840 Charles Francis et John White, Médina,  
Newport, Angleterre  
1836 Hyppolyte de Villeneuve, Roquefort,  
Bouches-du-Rhone, France  
1836 Guipúzcoa, Espagne  
1835 Voisin, Saint-Martin-le-Vinoux, France  
1835 Pellegrini, Cahors, France  
1833 Niel, Belgique  
1832 Gariel et Garnier, Vassy, France  
1828 Lamé et Clapeyron, Saint-Peterbourg,  
Russie  
1827 Alexandre Lacordaire, Pouilly-en-Auxois,  
1824 Joseph Aspdin, Leeds, proto-Portland  
cement, Angleterre  
1822 Rosendale, NewYork, USA  
1822 James Frost, British cement, Swanscombe,  
Angleterre  
1817 Théorie de l'hydraulicité par Louis Vicat  
1810 Charles Francis, Nine Elms, plaster cement,  
Angleterre  
1802 Smith, Boulogne-sur-Mer, plâtre-ciment,  
1801 Francis et White, Angleterre  
1796 Brevet Parker, ile de Sheppey, UK  
**Cuadro 1: Principales fechas en la fabricación del  
cemento romano.**

A mediados del siglo XIX se extendió su uso y se hizo popular, lo que se explica,

- 1 Porque aporta una solución barata y duradera en la decoración de fachadas. Imita perfectamente la piedra con un coste muy inferior y aporta un cálido color que va del amarillo ocre al marrón. Puede utilizarse sobre soporte de ladrillo en elementos (cornisas,...) aplicados in situ en molde prefabricado, o bien en hormigones imitando la piedra natural.
- 2 Porque su propiedad de fraguado rápido permite encontrar soluciones eficaces en trabajos artísticos, sobre todo cuando hay contacto con el agua.
- 3 Porque puso en marcha la industria de los prefabricados, especialmente la de tubos de conducción de agua: los tubos a base de cemento natural tenían una resistencia a las aguas agresivas muy superior a la de los tubos hechos con los cementos Portland de la época.
- 4 Porque es fácil de fabricar.

Efectivamente, es fácil de fabricar:

- La materia prima es fácil de obtener, ya que siendo la cocción a baja temperatura, bajo el punto de fusión, es posible utilizar margas o calizas arcillosas en las que la proporción de arcilla oscile entre 22% y 35% (Ver figura 1), y los yacimientos abundan en todas partes. Aunque Louis VICAT demostró en 1817 que se podía fabricar un cemento similar con mezclas artificiales de arcilla y caliza, los útiles de mezclado y el precio de la energía en la época no eran los idóneos para conseguir mezclas íntimas de arcilla-caliza a un coste razonable, motivo por el que los fabricantes preferían utilizar la mezcla “natural” de estos dos componentes.
- La tecnología de fabricación era simple y ya existía: la de los hornos tradicionales de cal. Al revés que la cal, el cemento romano no ha de ser « apagado » por carecer casi totalmente de cal viva, basta con molerlo para su utilización.



**Figura 1** Repartición de la composición química de los cementos naturales europeos

## 2 EL CEMENTO ROMANO DE GRENOBLE

El cemento natural prompt de Grenoble es un verdadero cemento romano, tiene todas las características:

- Utilización de una materia prima única, la caliza arcillosa.
- Cocción en horno vertical a temperatura inferior a la de fusión.
- Templado suave.
- No ha de apagarse, solo moler.
- Hidraulicidad.
- Fraguado y endurecimiento rápidos.
- Un color entre amarillo ocre y marrón.

Por otra parte, desde hace más de 150 años, siempre ha sido fabricado del mismo modo, lo que es la mejor de las pruebas.

### 4.1 Composición química y mineralógica del Cemento Natural Prompt

El cemento natural prompt proviene de la cocción de un material que sale de un solo yacimiento de marga, del periodo cretáceo, situado en el macizo de la Cartuja, en Isère. Esta veta ofrece una composición química muy constante (Ver tabla 2), con un contenido en carbonato (de ambos, calcio y magnesio, expresados como  $\text{CaCO}_3$ ) del 72% contra el 78% del clinker de Portland. Podemos decir que está muy cercano a un clinker clásico de Portland. Por ello, y en relación a otros cementos romanos que han existido, se encuentra en el límite más bajo en contenido de arcilla, y relativamente alto en contenido de  $\text{CaO}$ , como puede verse en la figura 1.

Pérdida al fuego a 975° C	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{SO}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$
9.28 %	18.09 %	7.24 %	3.2 %	53.07 %	3.84 %	3.24 %	1.16 %	0.28 %

$\text{C}_3\text{S}$	$\text{C}_2\text{S}$	$\text{C}_3\text{A}$	$\text{C}_4\text{AF}$	$\text{C}_{12}\text{A}_7$	$\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$	Periclasa	Cal libre	Calcita	Sulfatos	Otros (y fases amorfas)
5-15 %	40-60 %	6 ± 2 %	9 ± 2 %	3 ± 1 %	3 ± 1 %	4 ± 1 %	2 ± 2 %	10 - 15 %	3 ± 1 %	10 -15 %

**Tabla 2: Composición química y mineralógica tipo del CNP.**

La originalidad del CNP no proviene de una composición química particular, que está muy próxima a la de un clinker de Portland como ya hemos explicado, sino más bien de una cocción a baja temperatura y con un amplio espectro térmico, 600 a 1200 ° C (bajo el punto de fusión), muy ligeramente superior a la de las calces hidráulicas, y de una íntima mezcla natural de arcilla y caliza. Esta mezcla, a la escala de una micra, es necesaria para la formación de determinados minerales durante la cocción, ya que la difusión de los átomos es débil en estado sólido. El resultado es la formación de una vasta gama de minerales (Ver tabla 2) muy diferente a la de los cementos Portland artificiales modernos, pero idéntica a la que presentan las calces hidráulicas naturales y en proporción diferente (Ver figura 2):

- Una parte de la piedra no ha soportado una temperatura suficiente para sufrir una transformación, está simplemente deshidratada.
- Otra parte se ha transformado, para crear fases amorfas o mal cristalizadas entre las que se cuenta una amplia familia de aluminatos ( $\text{C}_4\text{AF}$ ,  $\text{C}_3\text{A}$ ,  $\text{C}_{12}\text{A}_7$ ,  $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$  y  $\text{C}_2\text{AS}$ ) responsables del fraguado y endurecimiento rápidos durante las primeras horas de la hidratación, así como silicatos en forma de belita ( $\text{C}_2\text{S}$ ), que prolonga en la subida en resistencias durante varios meses. Un poco de alita ( $\text{C}_3\text{S}$ ) aparece, este mineral se forma a partir de los 1200° C.
- Hay una fusión (clinkerización) parcial, en zonas localizadas, que da lugar a un poco de alita. El hecho de que la composición química de la piedra usada como materia prima sea próxima a la de un crudo de Portland, consiente la formación de este conocido silicato de calcio. Muy hidráulico, aporta un complemento de resistencia a partir de pocas semanas.

Esto es importante, ya que las fusiones localizadas de materia son inevitables en la cocción en hornos verticales. Los minerales formados en esta fase líquida no deben alterar al cemento natural durante su hidratación. Si una materia prima más rica en arcilla fuera usada, por ejemplo, se formarían más minerales aluminosos en la fase líquida, cuya hidratación es mal conocida y puede acarrear serios problemas de durabilidad.

Esta cocción a baja temperatura tiene un bajo balance térmico, del orden de un 70% del de un CEMI, y las emisiones de CO<sub>2</sub> son el 80% de las de un CEMI. Estos datos son importantes en aquellas aplicaciones que aparecen en el campo de la eco construcción.

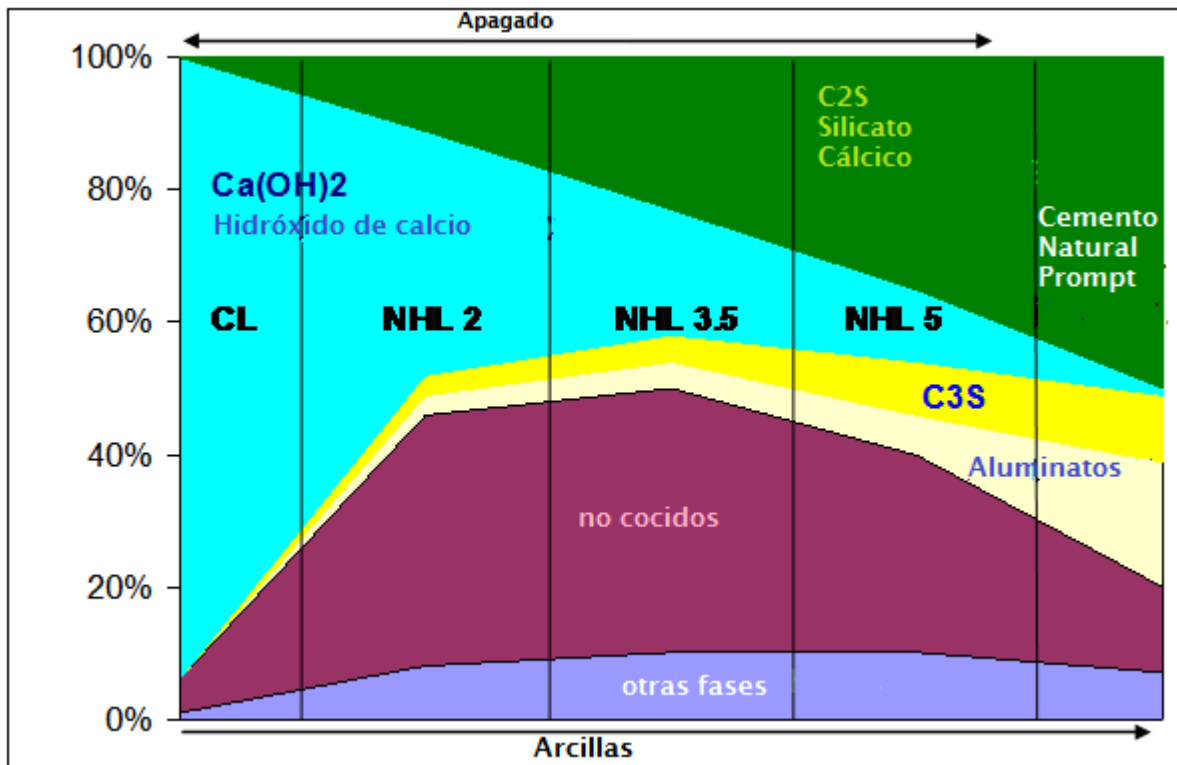


Figura 2 Composición mineralógica esquematizada de las cales y del cemento natural prompt

## 2.2 Características generales de los morteros de Cemento Natural Prompt

### 2.2.1 Una subida en resistencias en dos fases, sobre un largo periodo de tiempo

Los aluminatos formados a baja temperatura son responsables del fraguado rápido en fase de hidratación (2 a 3 minutos) y de la primera fase de subida en resistencias durante las primeras horas. La hidratación de la belita es la que aporta la segunda fase de subida en resistencias, que durará varios meses como puede verse en la figura 3.

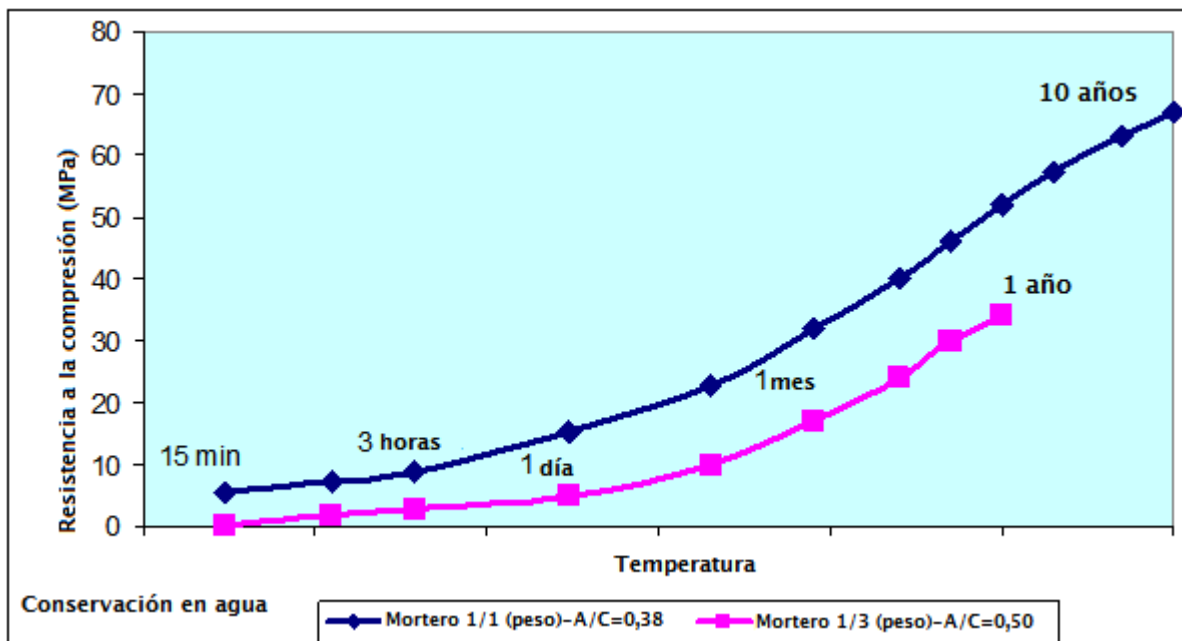


Figura 3 Cinética de endurecimiento sobre 10 años

### 2.2.2 Las resistencias en función de la dosificación y de la relación agua/cemento

El cemento natural prom pt tiene la particularidad de poder utilizarse en una amplia gama de dosis, desde un 10% hasta un 50% sobre peso de mortero seco, incluso 100% para lechadas y similares. La figura 4 da una idea de las resistencias que pueden alcanzarse, en caso de conservación en agua. Dos campos de aplicación son a resaltar:

- La zona de alta resistencia inicial, definida por una relación agua/cemento  $< 0,50$ ; estas altas resistencias se aplican en los anclajes, albañilería rápida e impermeabilización. Las resistencias elevadas implican una baja porosidad. Esta zona, por sus resistencias aptas incluso para esfuerzos estructurales, se acerca a los cementos Portland artificiales.
- La zona de baja resistencia, con un agua/cemento  $> 0,50$ , ofrece unos resultados mecánicos y de dosificación muy parecidos a los de los morteros de cal hidráulica natural, y las características de absorción de agua y porosidad están muy cerca de las que pueden encontrarse en los morteros de cemento romano del siglo XIX.

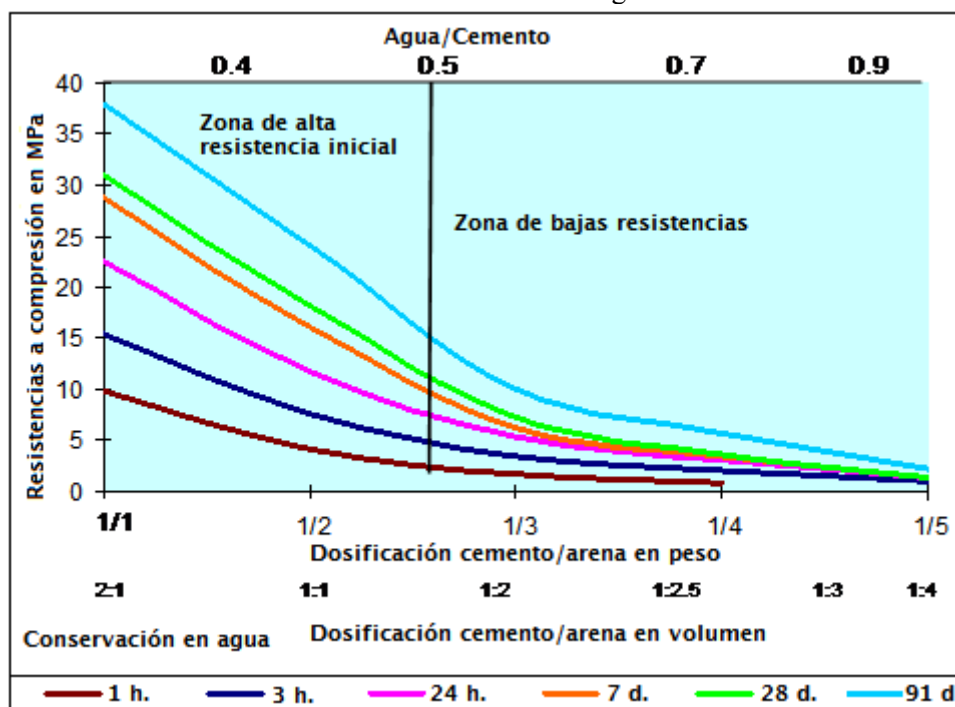


Figura 4 Cinética de endurecimiento en función de la dosificación y de la relación agua/cemento

## **3 LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO NATURAL PROMPT COMO CEMENTO ROMANO DE GRENOBLE**

### **3.1 Características de los morteros antiguos a base de cemento romano**

Con el fin de poder reparar, de la forma más próxima al original, las obras hechas con antiguos morteros de cemento romano, es imprescindible conocer bien sus características. Tras asegurarnos de que provienen de cementos naturales cocidos a baja temperatura, la valoración de antiguos morteros de cemento romano de distintos lugares ha dado estos resultados:

- La densidad varía entre 1,4 y 2 kg/l. Es difícil averiguar la densidad real de los morteros antes de su envejecimiento, pues los fenómenos de disolución por agua de lluvia varían en función del clima y la exposición a la intemperie. Estos datos son indicativos, por la variedad en las dosificaciones de cemento y árido. En ciertas aplicaciones, como los moldeos con galga, aparece una macro porosidad elevada debida a la forma de aplicación.
- La dosificación en cemento, por el método de la sílice soluble, permite tener una idea de la proporción de ligante: del 14 al 45% de equivalente en cemento natural prompt. No obstante, este método, no toma en cuenta el contenido en aluminatos del ligante original, y ciertos granulados pueden contener sílice soluble de forma natural, falseando los resultados.
- La porosidad total al agua es alta, los valores oscilan entre 23 y 40%.
- La absorción de agua se mueve entre 9 y 30%. Teniendo en cuenta los fenómenos de disolución antes mencionados, estos dos valores eran probablemente más bajos en los morteros de la época cuando eran jóvenes que después de más de 100 años de envejecimiento.

De estas características, las más importantes son las que se refieren a la porosidad y absorción de agua, pues son ellas las que condicionan la durabilidad de los morteros aplicados en fachada. La problemática que condiciona la durabilidad es la transferencia de humedades desde el soporte hacia el exterior. Es posible, como puede verse más adelante en este documento, lograr características interesantes con morteros de cemento natural prompt de baja dosificación.

Los cementos romanos se utilizaron a menudo en mortero fino, con dosificaciones altas de cemento; a este respecto mostramos un ejemplo más adelante de mortero de este tipo con cemento natural prompt para mostrar las características y comprender su excepcional durabilidad.

### **3.2 Características de los morteros de Cemento Natural Prompt a baja dosificación**

Los morteros dosificados en volumen en proporciones de 1:2 a 1:4 se han probado con adición de 0,6% de retardante (ácido cítrico). El tiempo de manejabilidad llegaba hasta 40 minutos a 20° C, usando una arena de río silico calcárea de 0/4 mm.

La manejabilidad se afinó como la típica de un mortero para enlucidos, ajustando para ello con la cantidad de agua. Cuando menos finos hay en el cemento, aumenta la necesidad de agua y mayor es la relación agua/cemento.

#### **3.2.1 Absorción capilar y porosidad al agua y al vapor de agua**

La tabla 3 a continuación, indica las composiciones de los morteros estudiados así como los valores de absorción de agua, porosidad al agua y permeabilidad al vapor de agua, después de seis meses de curado húmedo seguidos de 7 días de secado con humedad relativa del 50%. Los resultados se acercan a la hidratación máxima, para completarlos sería necesario controlar estos morteros al cabo de varios años.



Composición en volumen	1 :2	1 :2,5	1 :3	1 :4	Sistema utilizado
% prompt en peso	19,85	16,58	14,3	11,30	
Agua/cemento	0,67	0,825	0,95	1,12	
Masa volumétrica aparente (kg/m <sup>3</sup> )	1941	1908	1923	1945	AFREM
Absorción capilar a 3 h C(kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>0,5</sup> ))	0,76	0,88	1,4	1,67	EN1015
Absorción capilar a 24 h C(kg/m <sup>2</sup> )	16,56	17,44	17,54	15,88	EN1015
Absorción de agua (%) hasta peso constante	12	12,5	13	11,8	CERIB DQI/DEE FG-02/12/02
Porosidad total al agua (%)	25,67	25,88	23	22,89	AFREM
Permeabilidad al vapor de agua (g/m <sup>2</sup> .h.mmHg)	0,42	0,43	0,46	0,45	Cahier CSTB 08/1993

**Tabla 3 Características de porosidad, absorción y permeabilidad de morteros con baja dosificación**

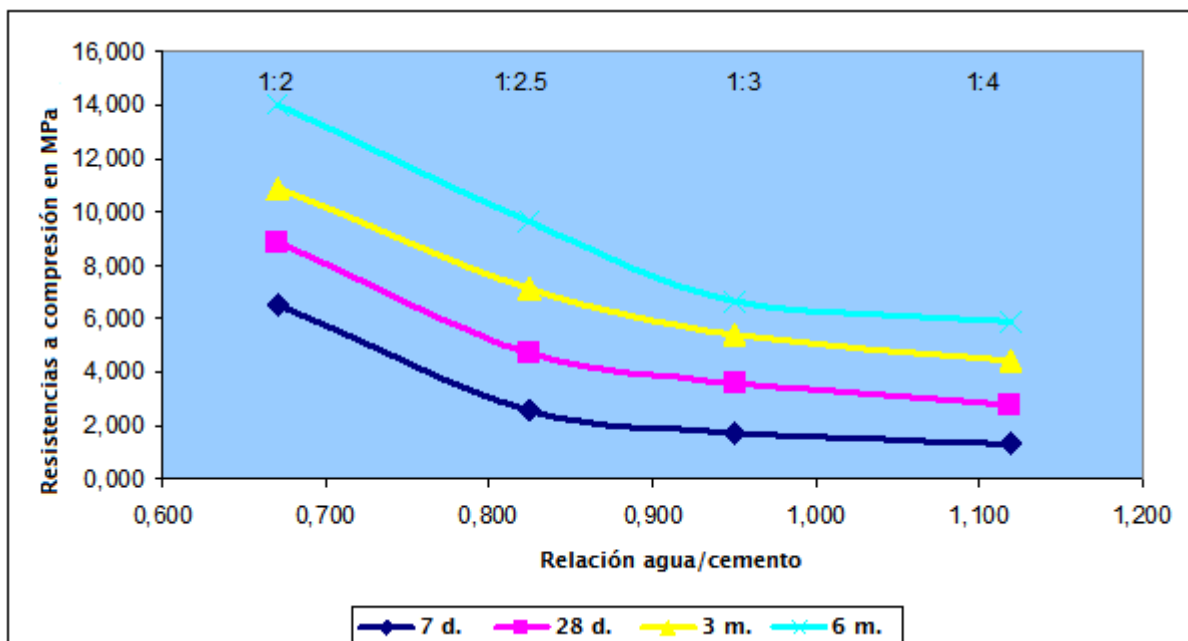
Los valores de permeabilidad se sitúan entre 0,4 y 0,5, ligeramente inferiores a los de la cal hidráulica natural; un mortero de NHL5, con dosificación similar, está entre 0,5 y 0,6.

La absorción capilar, medida a 3 horas, es el dato que mejor se relaciona con el cociente agua/cemento. Este mismo dato, medido a 24 horas, da resultados muy próximos, es decir, cuanto mayor sea la relación agua/cemento, tanto más rápida será la absorción capilar. Estos valores de permeabilidad y absorción fueron medidos tras una cura ideal (>90% H.R.) en laboratorio.

En exteriores, las condiciones de curado son diferentes y variadas, tanto en temperatura como en humedad, según el microclima local y la exposición de la fachada. En términos generales, en obra ocurre un secado más o menos intenso al principio, lo que va en contra de la hidratación del mortero. La porosidad de un mortero en obra será pues superior, siempre, a la del mismo mortero con una cura ideal en condiciones de laboratorio. Los valores dados, obtenidos de ensayos realizados en laboratorio son valores de hidratación máxima. Están en línea con los encontrados en morteros de cemento romano (Ver párrafo 3.1).

### 3.2.2 Resistencias mecánicas

Los morteros 1:3 y 1:4 tienen resistencias a la compresión parecidas (Ver figura 5 abajo). La subida en resistencias ocurre a lo largo de varios meses, aquí, una cura en húmedo sobre 6 meses.



**Figura 5 resistencias a la compresión**

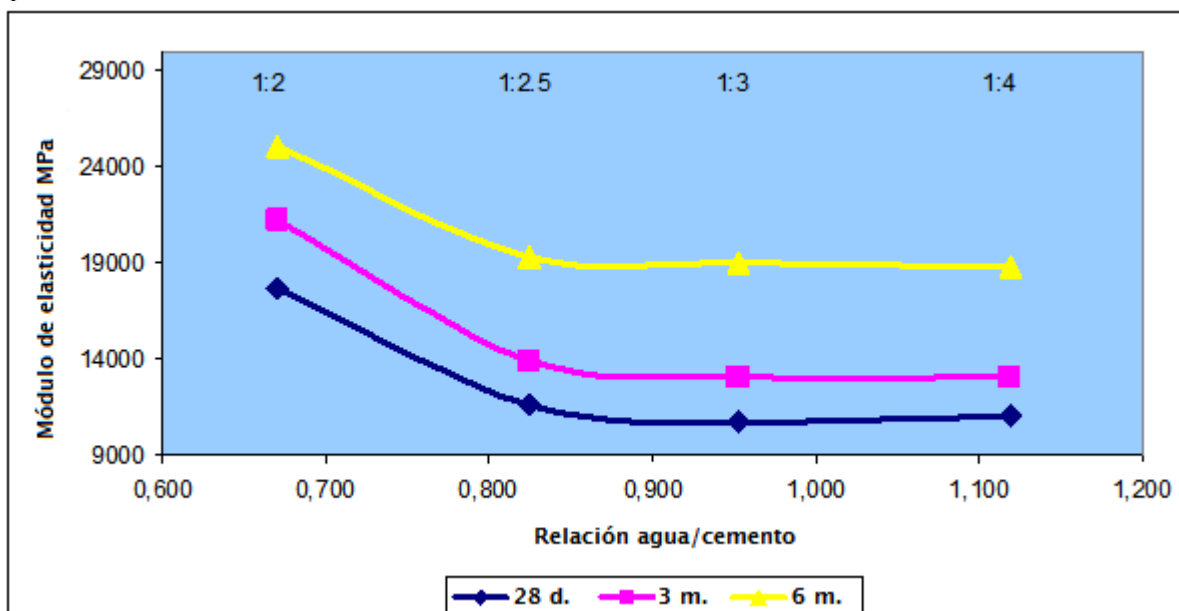
Las resistencias a la flexión pueden verse en el cuadro 4 abajo.

Mortero en volumen	1:2	1:2,5	1:3	1:4
Flexión 3 puntos (MPa)	5,4	3,4	3,1	2,5

**Tabla 4 Resistencias a la flexión a los 6 meses**

### 3.2.3 Módulo de elasticidad

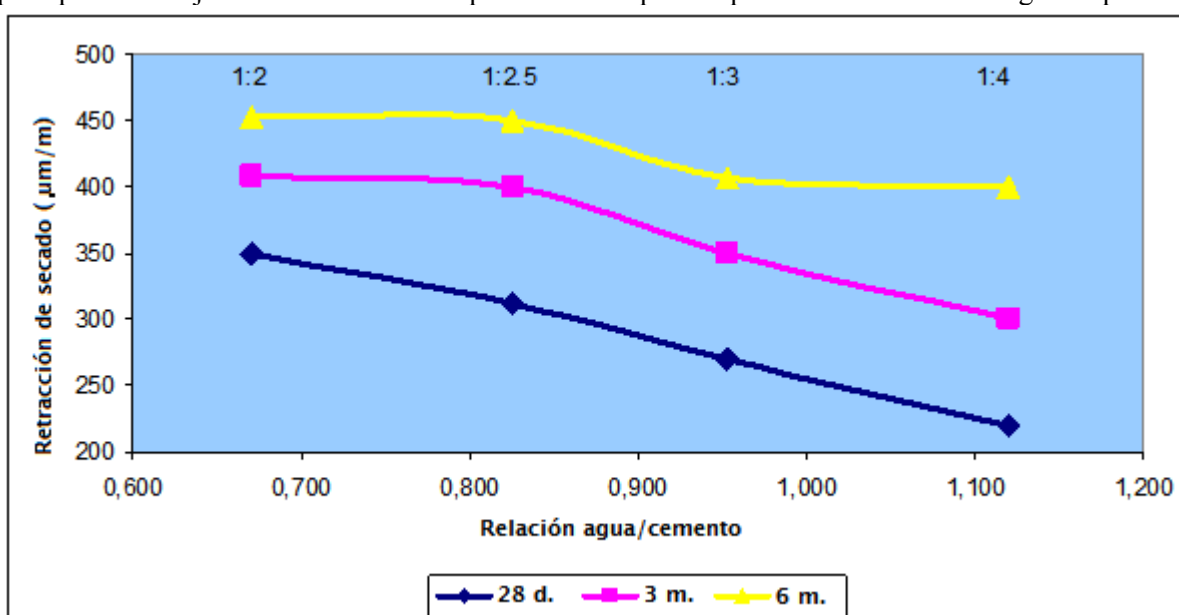
Estos morteros, medidos a los 6 meses y conservados en ambiente húmedo, presentan casi el mismo módulo para las dosificaciones comprendidas entre 1:2.5 y 1:4, y al mismo nivel que un mortero de NHL5. Conservados en un ambiente con 50% de humedad relativa, los valores hubieran bajado aproximadamente un tercio.



**Figura 6 módulo de elasticidad**

### 3.2.4 Retracción de secado

La primera medición se lleva a cabo cuando el mortero tiene la suficiente resistencia para ser desmoldeado, por tanto no puede cuantificarse la retracción anterior al desmoldeo. La retracción es proporcional a la dosificación, y puede valorarse como baja (Ver figura 7) con el cemento natural prompt. Estos bajos valores consienten que el mortero pueda aplicarse en enlucidos de gran espesor.



**Figura 7 retracción de secado**

### 3.3 Características de los morteros de cemento natural prompt en baja dosificación aditivados de filler

Cabe la posibilidad de reducir la dosificación de cemento natural prompt, sustituyendo una parte de este por filler, con el fin de tener una buena manejabilidad para la puesta en obra. En los ensayos que siguen, un 30% del volumen de cemento natural fue sustituido por filler calizo (con granulometría similar a la del cemento), en mortero 1:2 y 1:2.5 en volumen, con la misma arena (0/4 R) que antes. Se añadió un 0,6% de retardante (ácido cítrico) con el fin de conseguir, a 20° C, un tiempo abierto superior a 1 hora. En el cuadro 5 pueden verse las características y resultados de estos dos morteros. Las mediciones de absorción de agua, porosidad y permeabilidad al vapor de agua fueron hechas después de 6 meses de cura en húmedo, seguidos de 7 días de secado con 50% de humedad relativa.

Composición en volumen Prompt : filler : arena	0,7 : 0,3 : 2	0,7 : 0,3 : 2,5	Sistema operativo
% prompt en peso	13,39	11,21	
Agua/cemento	1,02	1,27	
Masa volumétrica aparente (kg/m <sup>3</sup> )	1931	1867	AFREM
Porosidad/Absorción/Permeabilidad			
Absorción capilar a 3 h C(kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>0,5</sup> ))	1,39	1,76	EN1015
Absorción capilar a 24 h C(kg/m <sup>2</sup> )	16,13	17,63	EN1015
Absorción de agua (%) hasta peso constante	12,10	13,10	CERIB DQI/DEE FG-02/12/02
Porosidad total en agua (%)	23,83	26,08	AFREM
Permeabilidad al vapor de agua (g/m <sup>2</sup> .h.mmHg)	0,61	0,64	Cahier CSTB 08/1993
Resistencias a compresión (MPa) conservación a 20° C >90% H.R.			
7 días	2	0,9	
28 días	3,3	1,9	
3 meses	4,7	3	
6 meses	5,3	3,4	
Resistencias a flexión (MPa) conservación a 20° C >90% H.R.			
6 meses	3	1,9	
Módulo de elasticidad (MPa) conservación a 20° C >90% H.R.			
28 días	11400	7500	
3 meses	12100	9900	
6 meses	15800	12400	
Retracción de secado (µm/m)			
28 días	290	280	
3 meses	340	320	
6 meses	380	360	

**Tabla 5 Características de morteros de cemento natural prompt con baja dosificación**

Para una misma dosificación, los resultados de permeabilidad son cercanos a los que se pueden lograr con una NHL 3,5, y lo mismo ocurre con los resultados de resistencia y de módulo de elasticidad. La ventaja suplementaria con el cemento natural prompt, y a estas dosificaciones, es que a partir de los 7 días se consiguen las mismas resistencias que con la NHL 3,5 en un mes, y menor retracción. Esta rapidez permite asegurar los trabajos en los primeros días en caso de condiciones meteorológicas adversas. En lugar del filler, puede utilizarse, con mayores ventajas, una cal aérea o una NHL2.

Los resultados de los 3 ensayos de absorción de agua y porosidad son parecidos a los de la tabla 3 (características de morteros de baja dosificación), mientras que los de permeabilidad al vapor son aquí mejores. No parece haber una relación evidente entre las medidas de transferencia de agua líquida y vapor de agua.

Las características de este tipo de mortero, aún con una baja dosificación en cemento, son parecidas a las de antiguos morteros de cemento romano, especialmente si buscamos un módulo de elasticidad bajo y una alta permeabilidad al vapor.

### 3.4 Características de los morteros finos de Cemento Natural Prompt de alta dosificación

El estudio de antiguos morteros de cemento romano muestra que algunos eran ricos en arenas finas, manteniendo una elevada resistencia y durabilidad. Para tratar de entender esta excepcional durabilidad, hemos hecho ensayos de mortero fino, utilizando filler calizo en lugar de arena, con una granulometría parecida a la del cemento (Ver tabla 6). Hemos añadido retardante en proporción de 0,6% sobre el peso del cemento. Los tiempos de fraguado eran de unos 30 minutos a 20° C. las mediciones de absorción de agua, porosidad al agua y permeabilidad al vapor de agua se han hecho tras seis meses de curado en húmedo seguidos de 7 días de secado al 50% de humedad relativa.

Composición en volumen	1 :1		Sistema utilizado
% prompt en peso	34,6		
Agua/cemento	0,524		
Masa volumétrica aparente (kg/m <sup>3</sup> )	1807		AFREM
Porosidad/Absorción/Permeabilidad			
Absorción capilar a 3 horas C(kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>0,5</sup> ))	0,33		EN1015
Absorción capilar a 24 horas C(kg/m <sup>2</sup> )	6,88		EN1015
Absorción de agua (%) hasta peso constante	16,7		CERIB DQI/DEE FG-02/12/02
Porosidad total en agua (%)	30,32		AFREM
Permeabilidad al vapor de agua (g/m <sup>2</sup> .h.mmHg)	0,52		Cahier CSTB 08/1993
Resistencias a compresión (MPa) conservación a 20° C >90% H.R.			
7 días	11		
28 días	19		
3 meses	23		
6 meses	30		
Resistencias a flexión (MPa) conservación a 20° C >90% H.R.			
6 meses	5		
Módulo de elasticidad (MPa) conservación a 20° C >90% H.R.			
28 días	19200		
3 meses	24900		
6 meses	27400		
Retracción de secado (µm/m)			
28 días	610		
3 meses	780		
6 meses	870		

**Tabla 6 Características de morteros finos de cemento natural prompt de alta dosificación**

Como cabía esperar, los valores de resistencia, módulo de elasticidad y retracción de secado son altos. Los resultados de absorción capilar a 3 y 24 horas son en cambio bajos en relación a los otros morteros ensayados, pero sorprendentemente los valores de absorción de agua hasta peso constante, porosidad total al agua y permeabilidad al vapor de agua, son más elevados. Lo que muestra un comportamiento interesante de este tipo de mortero en su relación con el agua: absorbe entre 2 y 3 veces menos de agua a 24 horas que los morteros precedentes. Se vuelve necesario en el ensayo mojar todas las caras de la muestra y dejarla a remojo al menos 4 días para poder llegar a peso constante y lograr el valor más alto. Lo que quiere decir que el mortero será poco sensible a ciclos cortos de mojado (el caso de lluvias de pocas horas), manteniendo a la vez una alta permeabilidad al vapor de agua. Esta última propiedad es esencial en aplicaciones en fachadas y prueba la durabilidad de más de 100 años de estos morteros finos a base de cemento romano. Podemos pues conciliar resistencias mecánicas y permeabilidad en un mismo mortero. Esa durabilidad, a pesar del alto módulo de elasticidad, explica también por qué estos morteros finos eran usados a menudo en poco espesor.

## 4 LAS APLICACIONES DEL CEMENTO NATURAL PROMPT COMO CEMENTO ROMANO DE GRENOBLE

Conociendo los resultados y propiedades de los morteros aquí descritos, resulta posible establecer fórmulas de morteros con comportamiento similar al de los morteros naturales de la época, respetando sus valores de permeabilidad al vapor de agua y garantizando una buena durabilidad. Los soportes antiguos, frecuentemente en ladrillo, requieren morteros de fachada con este tipo de permeabilidad, para permitir que la humedad presente en los muros pueda evacuar al exterior.

En el siglo XIX y principios del XX, los morteros de cemento natural se usaban en fachada como enlucido, moldeados con galga o en prefabricación para sustituir la piedra natural manteniendo el mismo aspecto que ella. Los hormigones de cemento natural también se usaron, pero su uso fue menos frecuente.

La continuación de este capítulo tiene como objetivo dar pistas, no de forma exhaustiva, sobre la formulación y puesta en obra de estos morteros concretos. Las normas de aplicación deben seguirse escrupulosamente, de forma especial en lo que a la limpieza de las arenas se refiere.

### 4.1 Aplicación del enlucido

Para cumplir sus funciones de protección del soporte antiguo y decoración, el enlucido ha de tener un bajo módulo de elasticidad, ser permeable al vapor de agua del soporte y tiene buena adherencia:

- La adherencia al soporte la lograremos con un salpicado como indicado en el cuadro 7.
- La adherencia entre capas la obtendremos aplicando “fresco sobre fresco”.

El cuerpo del enlucido, debido al rápido endurecimiento y baja retracción, puede aplicarse en capa gruesa, incluso 5 cm de espesor. La dosificación ha de ser baja, 1:3 en volumen, con el fin de bajar el módulo. Al contrario que el salpicado, es obligatorio retrasar el fraguado.

Para lograr buena adherencia, la capa de acabado se aplicará fresco sobre fresco sobre el cuerpo del enlucido. Es la que sirve de decoración, por lo que en ella podrá utilizarse una arena de color o un colorante. En grandes superficies, con el fin de disponer de más tiempo para las uniones, sería aconsejable el uso de una mezcla de cal-prompt o una cal hidráulica natural, que aumentaría el tiempo abierto para la aplicación.

	Dosificación en volumen	Granulometría de la arena	Retardante (ácido cítrico)
Salpicado	1 :2	0/5 mm	Ninguno
Cuerpo del enlucido	1 :3	0/3 mm o 0/2 mm	0,5 a 1 tapones de Tempo/litro de cemento
Capa de acabado	1 :3	0/1 a 0/2 mm	0,5 a 1 tapones de Tempo/litro de cemento

**Tabla 7 Composición de los morteros de enlucido**

Un tiempo abierto de unos 40 minutos a 20° C, junto a la conveniencia de trabajar “fresco sobre fresco” hacen que esta aplicación exija cierta técnica sin dejar lugar a la improvisación. Las amasadas se hacen en pequeñas cantidades y a medida que van haciendo falta. Por cada aplicador, un amasador. En la literatura de la época sobre los cementos naturales rápidos se decía : “Mortero de enlucido amasado a mano – 2 amasadores hacen en 10 horas un metro cúbico de mortero y alimentan a 3 o 4 albañiles, estos hacen entre 10 y 20 metros cuadrados por jornada”.

### 4.2 Aplicación en moldeo con galga

La dificultad de esta aplicación es la puesta en obra por extrusión, que requiere una cierta habilidad. La adherencia al soporte se consigue mediante una lechada lanzada sobre el mismo.

La primera capa del cuerpo de enlucido se aplicará sobre la lechada cuando esta haya secado por succión del soporte, pero antes de que empiece a fraguar, con el fin de tener una buena adherencia. Después de cada pasada con la galga para quitar el exceso de mortero, se aplicará otra capa de mortero grueso (Ver tabla 8) sobre la precedente, tan pronto como haya secado pero antes de que fragüe. Es

este mortero el que irá aumentando el espesor de la cornisa. Para que la galga no arranque demasiado mortero al pasar, se aconseja vaporizar un poco de agua antes de pasarla.

El primer mortero fino para el acabado se aplicará en espesores de máximo 1 cm, para rellenar los huecos. Puede colorearse mediante polvo de mármol, óxidos o tierras. La consistencia deberá ser elástica para que permita una buena extrusión. Un mortero aún más fino, para rellenar los pequeños defectos, con consistencia de lechada, con añadido de arenas finas coloreadas, filler o pigmentos, le dará el aspecto y color finales.

	Dosificación en volumen	Granulometría de la arena	Retardante (ácido cítrico)
Capa de adherencia	Lechada	/	Ninguno
Cuerpo principal	1 :2	0/4 mm	0,25 a 0,5 tapones de Tempo/litro de cemento
Primer acabado	1 :1	0/0,5 o 0/1 mm	0 a 0,5 tapones de Tempo/litro de cemento
Segundo acabado	1 :1	0/0,1 a 0/0,5 mm	Ninguno

**Tabla 8 Composiciones de morteros para moldeo con galga**

El mortero fino exterior ha sido definido en el párrafo 3.4.

Para ejecutar correctamente este tipo de trabajos se requieren mínimo dos operarios, uno haciendo pequeñas amasadas a medida que hagan falta, y un aplicador especializado.

#### 4.3 Aplicación en moldeo prefabricado

El buen moldeo es un arte, y los modos de ejecutarlo variados. Las dosificaciones, el tipo y granulometría de la arena, así como la manejabilidad también son variados: desde un mortero firme hasta uno líquido, de dosificación 2:1 hasta 1:2. Vamos a describir dos tipos de ejecución: la primera en doble capa, observada con frecuencia en moldeos de cemento romano del siglo XIX, y la segunda en una sola capa, con dosificación más alta y manejabilidad fluida, pensada para los moldes de forma compleja difíciles de rellenar y desmoldear.

El moldeo en doble capa: la capa exterior se hace con un mortero fino dosificado alto (1:1 en volumen). La arena ha de ser inferior a 0,5 mm. Puede usarse un filler coloreado con pigmentos. Se aplica primero sobre las paredes del molde, y ha de tener una manejabilidad lo bastante fina para reproducir fielmente los detalles del molde pero sin aportar burbujas de aire. Sus características, muy importantes para garantizar la durabilidad, se explican en el párrafo 3.4. Y las composiciones pueden verse en la tabla 9 más abajo. El módulo de elasticidad y la retracción de secado son bastante altos, motivo por el que su espesor de aplicación ha de ser el mínimo posible. Se trata de una “piel” que tiene una misión protectora y que ha de tener un aspecto superficial granuloso, parecido al de la piedra. El segundo mortero, más grueso (dosificado 1:2 en volumen) es el descrito en el párrafo 3.2. y constituye el cuerpo de la moldura, que habrá que aplicar “fresco sobre fresco” sobre el primero para mejorar la adherencia entre ambas capas. Estos dos morteros permiten bien el paso del vapor de agua por su alta permeabilidad, respectivamente de 0,52 y 0,42.

	Dosificación en volumen	Granulometría de la arena	Retardante (ácido cítrico)
Doble capa exterior	1 :1	0/0,5 mm o filler o pigmento	0 a 0,5 tapones de Tempo/litro de cemento según temp. exterior
Doble capa interior	1 :2	0/4 mm	0 a 0,5 tapones de Tempo/litro de cemento según temp. exterior
Una sola capa	2 :1 a 1 :1	0/1 a 0/3 mm	0,5 a 1 tapones de Tempo/litro de cemento

**Tabla 9 Composiciones de morteros para moldeo prefabricado**

Con los moldes de forma compleja, difíciles de llenar y que necesiten resistencias elevadas para el desmoldeo, es más cómodo usar un mortero más fluido y más dosificado. En estos casos es necesario

añadir súper plastificante para reducir la relación agua/cemento y aportar fluidez. Todos los tipos de súper plastificantes no son efectivos con el cemento natural prompt, nos pueden consultar para elegir el más adecuado. La superficie de este tipo de moldura será más lisa, menos granuloso, que el realizado por doble capa.

Aunque las resistencias iniciales son altas, se aconseja un curado en húmedo de al menos dos semanas, para que la superficie del mortero se hidrate correctamente y evitar un aspecto polvoriento en superficie, así como eventuales fisuraciones, y mejorar la durabilidad.

## 5 CONCLUSIONES

El cemento natural prompt tiene una larga historia, más que centenaria. Pertenece a la familia de los primeros cementos: los cementos naturales rápidos, mal llamados cementos romanos, del norte del Loira, y otros no franceses del siglo XIX y primeros del XX. Precursor de los cementos modernos, los cementos Portland artificiales, al origen de las técnicas de construcción, hizo la transición entre las construcciones de piedra y las de hormigón. Imita a la perfección el aspecto de la piedra resultando mucho menos caro. Como material de fachada se utilizó en enlucido, en moldeo a la galga y en moldeo prefabricado.

Hemos encontrado la composición de los morteros para este tipo de aplicaciones. Sus características se han determinado con los conocimientos y medios actuales, y el fraguado ha sido ajustado para que mantengan su manejabilidad durante 40 a 60 minutos.

Los parámetros que explican la buena durabilidad, especialmente la porosidad, la permeabilidad al vapor de agua, la baja retracción y el bajo módulo de elasticidad se han puesto evidencia. Prueban que los morteros de cemento natural prompt de baja dosificación (equivalente a la de la cal hidráulica naturales) tienen esas propiedades tanto físicas como mineralógicas, que explican la razón de su durabilidad a lo largo de más de 150 años.

Desde la aparición del producto, el espíritu inventivo de los albañiles supo adaptarse a la rapidez intrínseca de este cemento natural, en el siglo XIX por medios humanos en obra o con mezclas con la cal, luego por medios mecánicos, y finalmente usando un retardante. Este control del fraguado rápido tiene una contrapartida ventajosa: el endurecimiento rápido. Más actual hoy que nunca, permite ganar tiempo en obra, tanto en verano como en invierno.

Natural, duradero y rápido son los calificativos que mejor definen este cemento prompt natural, que a pesar de su edad, sigue siendo actual. Ha atravesado siglos y sigue siendo el único cemento natural fabricado por medios industriales. Esta permanencia en el tiempo se debe a un yacimiento excepcional que permite a la piedra cocida tener una mineralogía muy bien adaptada y garante de durabilidad.

El cemento natural prompt es capaz de restaurar fachadas en cemento romano del siglo XIX con los criterios hoy exigidos en prestaciones. En su momento, además de las fachadas, se probó con éxito en la prefabricación (de tuberías, por ejemplo) y en obras maestras de la construcción. En el siglo XX, el mejor de los cementos rápidos, aportó soluciones en los campos de los empotramientos, la albañilería rápida y la estanqueidad. En los albores del siglo XXI el cemento natural prompt mantiene su liderazgo aportando soluciones en la restauración del patrimonio y la decoración de fachadas.

Departamento Exportación Vicat  
4, Quai Papacino – 06300 NICE (FRANCIA)

————— Tel. 0033 492001833 – Fax 0033 492001889 – e-mail: [g.sanchez@vicat.fr](mailto:g.sanchez@vicat.fr) —————

Delegación España  
Apartado 8117 – 12080 CASTELLON (ESPAÑA)

————— Tel. 0034 964215022 – Fax 0034 964789953 – e-mail: [fsanchis@cementonatural.com](mailto:fsanchis@cementonatural.com) —————