

Estudio y análisis de la utilización de la cal para el patrimonio arquitectónico.



AUTOR:
Rafael Manuel Usedo Valles
Junio, 2015

TUTORES:
Dr. Francisco Juan Vidal
D. Santiago Tormo Esteve



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA



MASTER OFICIAL EN
CONSERVACION DEL
PATRIMONIO ARQ.



ÍNDICE

1. La Cal en el tiempo.	4
1.1. Justificación del proyecto.	4
1.2. Origen y desarrollo del mortero de cal	4
1.3. Papel de la cal en la historia de la construcción.	6
1.3.1. Tratados.	8
1.4. Motivos por los que se deja de utilizar.	13
1.5. Situación actual de la Cal en España.	14
2. Clasificación.	16
2.1. Tipología y funciones.	16
2.1.1. Tipos de cales.	16
2.1.2. Tipos de morteros de cal.	19
2.2. Ventajas del uso de los morteros de cal.	21
2.2.1. Morteros puros de cal.	21
2.2.2. Morteros mixtos de cal y cemento.	22
2.3. Descripción de morteros de Cal.	22
2.3.1. Morteros según su composición.	22
2.3.2. Morteros según su aplicación.	22
2.3.3. Morteros según el concepto.	22
2.3.4. Morteros según su método de fabricación.	23
2.4. Diferentes aplicaciones de la cal como recurso material en la construcción.	23
2.5. Aplicaciones de la cal en otros sectores.	24
2.5.1. Cal viva.	24
2.5.2. Cal hidratada.	26
2.5.3. Dolomía calcinada y sintetizada.	38
3. Proceso de fabricación de la cal.	29
3.1. Extracción en canteras.	29



3.2.	Trituración previa.	31
3.3.	Calcinación.	32
3.4.	Apagado de la cal.	41
3.5.	Almacenaje y expedición de la cal.	44
3.6.	Transporte y distribución.	45
4.	Ensayos.	47
4.1.	Ensayos en mortero fresco.	48
4.2.	Ensayos en mortero endurecido.	50
5.	Estudio de tres focos de la fabricación de la cal en Valencia.	53
5.1.	Fontanars dels alforins.	53
5.2.	Vinaròs.	59
5.2.1.	Fotos históricas de la cal en Vinaròs.	71
5.3.	Cantera de Godella.	78
5.3.1.	Fotos históricas de la cantera de Godella.	87
5.3.2.	Cachirulos.	90
5.4.	Ubicación geográfica de los tres focos de estudio.	92
5.5.	Oficio del calcinero.	94
6.	Última tecnología. El Grafeno.	100
7.	Aprendiendo a utilizar la Cal.	108
7.1.	¿Qué tipo de cal necesito?	108
7.2.	Fichas de técnicas con cal.	111
7.3.	Tabla gráfica.	142
8.	Conclusión.	143
9.	Bibliografía y centros de documentación.	146
10.	Referencias.	147
11.	Procedencia de imágenes.	149



PROYECTO FINAL MASTER.

“Estudio y análisis de la utilización de la cal para el patrimonio arquitectónico”

“La cal es un material que formaba literalmente, parte de la vida de las personas desde su inicio, hasta el mismo día de su muerte”

(Usedo, R. 2015)



1. La Cal en el tiempo.

1.1. Justificación del proyecto.

El Trabajo Final de Máster que he desarrollado se ha centrado en el proceso de fabricación de la cal, tipologías, nuevos aditivos y su puesta en obra.

El tema del trabajo surgió gracias a mi interés por la cal y a la inestimable ayuda de mis tutores, Dr. Francisco Juan Vidal y D. Santiago Tormo Esteve, que me guiaron en el camino y me dieron pautas para desarrollar el proyecto ante el cual me enfrentaba.

El trabajo se estructura en tres partes bien diferenciadas. La primera se centra en el material en sí, extracción de la materia prima, proceso de producción, comercialización, así como sus tipologías y aplicaciones en obra.

En la segunda analizamos tres focos de fabricación de la cal en la Comunidad Valenciana, dos de ellos a escala más pequeña, pertenecientes a dos pueblos muy distantes, y un tercer foco a orillas de la capital, con una explotación de cantera y una fabricación más industrializada.

El tercero y más importante, intento explicar de un modo sencillo que tipo de cal y como se debe utilizar para cada proceso de ejecución, mediante unas fichas y tablas. Así como la introducción de la última tecnología (el Grafeno) a los morteros de Cal.

1.2. Origen y desarrollo del mortero de cal.

Desde la más remota antigüedad, la cal ha sido uno de los conglomerantes más utilizados por el hombre, obteniéndola través de rocas carbonatadas, principalmente, calizas y dolomitas. Es muy difícil conocer en qué momento se descubrió este material, aunque sí podemos remitirnos a la edad supuesta de aquellos monumentos en los que se emplearon estos conglomerados.

La utilización de la cal como aglomerante de los revestimientos exteriores e interiores ha sido una constante a lo largo de la historia de las diferentes culturas y civilizaciones que han habitado y habitan el Mediterráneo.

En la ciudad de Jericó (Cisjordania, Palestina) se han encontrado recientemente restos de cal con 10.000 años de antigüedad. En la primera civilización conocida, Mesopotamia, la cal se usaba en combinación con el barro como revestimiento de paredes de templos, canalizaciones de agua, baños, aljibes, tumbas o viviendas. También la usaron en la Capadocia (Anatolia, Turquía) para revestimientos y frescos (aquí se encontró el fresco más antiguo conocido, de 8200 años de antigüedad). Los hititas usaban la cal para revestir el interior de las cuevas donde vivían, consolidando así los pequeños desprendimientos sin perder la cualidad de transpiración necesaria para la cueva. Los egipcios emplearon la cal como soporte de las pinturas aparecidas en el interior de las pirámides. En gran parte de los monumentos de la cultura griega aparecen restos de policromía realizada con lechada de cal, pigmentos minerales y aditivos orgánicos. Los romanos acuñaron la palabra que conocemos hoy en día, el estuco, y perfeccionaron la técnica empleada por los griegos, siendo Pompeya el mejor

ejemplo de cómo se hacían los estucados en paredes con pinturas al fresco en esa época. En la España árabe podemos encontrar muestras de extraordinarias decoraciones y alto nivel técnico con pinturas a la cal como la Alhambra de Granada o la Mezquita de Córdoba. Durante la época medieval siguió utilizándose la cal para decoraciones interiores y exteriores como en el caso de los esgrafiados segovianos, pero es el Renacimiento italiano quien nos deja los mejores ejemplos útiles para utilizar en nuestros días: la pintura al fresco y el estuco planchado a fuego.

En Warta (Iraq), se encontró un templo construido con ladrillo sin cocer que data aproximadamente 6000 años, donde se descubrió la existencia de estucos de cal.

Posteriormente, se descubrieron estucos en Creta y Egipto, a pesar de que sus usos fueron muy limitados.

El empleo de la cal en forma de mortero ligante de fábricas, procede de Grecia, donde, a pesar de ser una técnica poco evolucionada, ya se utilizaba con misiones decorativas.

Fueron los romanos los encargados de iniciar una nueva época en la historia de la cal, mejorando las técnicas de obtención (disponiendo de materiales de mayor calidad), así como su puesta en obra (alcanzando gran perfección) e introduciendo aditivos de origen natural.



Fig. 1. Minarete de la Gran Mezquita de Samarra (Iraq), primeras edificaciones realizadas con cal.

"En el año 19 a. C. Las provincias romanas Bética y la Tarraconense contaban ya con construcciones en las que los ingenieros romanos habían introducido innovaciones técnicas nunca hasta entonces vistas: el empleo masivo del hormigón de cal, y el arco formado por dovelas de piedra que se asientan de manera provisional sobre una cimbra de madera. El primero abarató extraordinariamente la construcción de obras que requerían grandes volúmenes como termas, teatros, anfiteatros y circos; el arco de dovelas permitió la construcción de puentes y acueductos de luces nunca antes alcanzadas, puentes que pervivirán sin grandes cambios hasta que en el siglo XIX irrumpen con fuerza las grandes estructuras metálicas roblonadas." (Merchán, 2003, 58).

Esta técnica fue parcialmente olvidada durante la Edad Media., ya que, aunque no se perdió por completo el uso de la cal, se acentuó el uso de las cales locales y por lo general, se olvidó el empleo de los materiales puzolánicos.

Durante la Edad Media y Moderna, el concepto de la cal se basa en el conglomerado aéreo.

En la época de la Ilustración y la Revolución Industrial, se descubre que la cal puede tener propiedades hidráulicas y que no dependen de su pureza, sino, de las arcillas que contienen.

Especial importancia tiene en estos momentos, Inglaterra, donde en estos años se descubrieron canteras de cal arcillosas que darán origen a productos de propiedades hidráulicas desconocidas, al mismo tiempo que mejoran las técnicas de calcinación. De ahí que surgieran dos líneas: dando lugar una de ellas al origen del cemento Portland (Inglaterra) y la otra, conducente al perfeccionamiento de las cales hidráulicas (Francia) de la mano de Vicat, el cual generó una base sólida del estudio de la cal, diferenciando claramente entre cales aéreas e hidráulicas.

Esta fue una época de gran auge científico y técnico.

En España, a partir de la Guerra Civil cae en desuso la cal como materia prima para la construcción, debido a la aparición en el mercado de los cementos y resinas, permitiendo estos una mayor rapidez en la ejecución de los procesos constructivos.

Después de muchos siglos en los que los morteros de cal fueron los únicos presentes en la construcción, se dejaron de utilizar, entre otras causas, por la complicada elaboración a pie de obra.

Esta elaboración era manual y muy peligrosa, pues suponía el apagado de la cal, reacción altamente exotérmica. Era un proceso artesanal y, por tanto, lento y complicado que no podía competir con el vertiginoso ritmo que se imponía en la construcción, cada vez más tecnificado y ajustado en costes.

Demostrado está, a través de los siglos, la gran calidad de estos morteros. Basta considerar que su desaparición de la construcción ocurrió aproximadamente hace unos cincuenta años.

Se han sustituido los morteros de revestimiento vistos, cuyo aspecto no gusta, generalmente con una pintura plástica, en la que pasado un tiempo, aparecen los antiestéticos desconchones.



Fig. 2. Foto de Restauración Palacio Arzobispal.
Sevilla. Arq.: Gonzalo Díaz Recasens.

Todos los edificios que nos rodean con más de cincuenta años, han sido labrados y revestidos con Morteros de Cal. Y ahí están, como muestra de la calidad de estos antiguos morteros. Basta alzar la vista en una catedral y observar las altas bóvedas cuyos pesados sillares llevan siglos suspendidos a grandes alturas, unidos por el mortero de cal, sin que penetre el agua a su través por sus uniones.

Estos morteros, por su calidad, su aspecto, su nobleza, no hace falta ocultarlos con una pintura, pues de por sí son decorativos. (Armesto y Arilla, 1999).

Como se observa en esta barroca fachada, se han reproducido con los Morteros de Cal todo el complicado molduraje, pues los morteros de cal, por su plasticidad, admiten una gran variedad de trabajos ornamentales, artesanales, como son terrajados, avitolados, esgrafiados, sillería fingida, trabajos de martillina, etc.

1.3. Papel de la cal en la historia de la construcción.

La cal, uno de los primeros conglomerantes descubiertos por el hombre, se han encontrado vestigios de su empleo en yacimientos con más de 10.000 años de antigüedad, y que, hasta los principios del siglo XX constituirá el principal conglomerante utilizado en la construcción, ha tenido un desarrollo importante tanto en su proceso de fabricación, pasando de un sistema



artesanal a un sistema industrial moderno con la automatización correspondiente, como en su calidad y control de la misma junto con la aplicación de los Sistemas de Aseguramiento de la Calidad correspondientes.

Todo ello ha ido acompañado de un mayor conocimiento de los parámetros físicos y químicos que inciden en las características de la cal y en el desarrollo de las Normas a nivel ISO, CEN y UNE que señalan las definiciones de los tipos de cales, especificaciones, ensayos y criterios de conformidad que deben aplicarse según la utilización de la cal.

En este sentido, puede decirse que la cal es uno de los productos más versátiles por su empleo en distintos sectores, así no solo se usa en la construcción, sino también en la siderurgia, que es su mayor utilizador, metalurgia no férrea, industrias químicas, fabricación de azúcar, papel, fertilizantes, biocidos, nutrición, vidrio, protección ambiental tanto atmosférica como depuración de aguas, etc...

Finalmente, la obligación de disponer a partir del pasado 1 de Agosto de 2003 del Mercado CE para la comercialización y uso de las cales destinadas a la construcción que indica su conformidad con las normas UNE-EN armonizadas correspondientes añade una garantía más de calidad para las citadas cales.

“La tradición del empleo de la cal, como material de construcción o para los enlucidos de muros tiene una larga tradición. En Grecia ya se atestigua el empleo de la cal, aunque sólo en la confección de estuco y pinturas. Serán los romanos los primeros en utilizar de forma sistemática la cal en la confección de morteros, sustituyendo a la tradicional arcilla y al yeso. Y los métodos de fabricación de la cal y de construcción de los hornos se han mantenido constantes desde esta época... cuya morfología puede relacionarse de forma directa con la de los hornos romanos (o de hornos que funcionaron en diversas épocas, en toda la cuenca mediterránea: Italia, Grecia, Turquía, Argelia y Túnez son sólo algunos de los ejemplos). En todo este ámbito encontramos hornos de variada morfología y tradición” (Lijó y Monge, 2000, 149).

Encontramos dos obras fundamentales en lo que se refiere a la cal. La primera, “De Agricultura”, donde su autor, Catón, nos describe perfectamente, ya en el 160 a.C., cómo debe construirse un horno de cal y cómo debe funcionar. La lectura del pasaje en el que describe las operaciones de construcción y emplazamiento del horno resulta interesante, por cuanto se viene inmediatamente a la memoria los hornos que encontramos en el ámbito de la Comunidad Valenciana. Dice Catón:

“Tened cuidado de no dejar jamás el fuego sin atención; cuidad que no se apague ni de noche ni en ningún otro momento. Cargad el horno con buena piedras, las más blancas y las menos defectuosas posibles”.

Esto en cuanto al funcionamiento. En cuanto a la construcción, no podemos resistirnos a reproducir este otro fragmento.

“Cuando hagas el horno, practica un hoyo al pie de una fuerte pendiente; cuando hayas profundizado lo suficiente, dispón el emplazamiento del horno de suerte que sea lo más profundo y lo menos expuesto al viento posible”. (CATÓN, 160 a.c.).

Esto en lo que se refiere a Catón. La otra fuente fundamental es de apenas unos siglos después. Hablamos de "Los diez Libros de la Arquitectura", de Marco Vitruvio Pollion. Vitruvio nos indica cómo debe ser utilizada la cal y en qué proporciones debe ser mezclada con otros agregados para fabricar el mortero, y que en esencia suponen mezclar una parte de cal por tres de arena, con diversas variantes, (Vitr., De Arquit., II, V y V, XII).

El interés de estas fuentes, una del siglo II a. C. y otra del siglo I d. C., reside en el hecho de que nos permiten observar la antigüedad de la tradición del empleo de la cal, así como constatar cómo su fabricación y utilización aparece ya plenamente definida en fechas tan tempranas, tradición que se mantendrá sin cambios de especial importancia hasta nuestros días.

Ahora bien, contrasta con todo esto, centrándonos ya en la Comunidad Valenciana, la ausencia de referencias a esta actividad en una fuente básica para el conocimiento de la historia del siglo XIX español como es el llamado "Censo de Madoz". Ninguna referencia hay en cuanto a la producción de cal se refiere.

1.3.1. Tratados

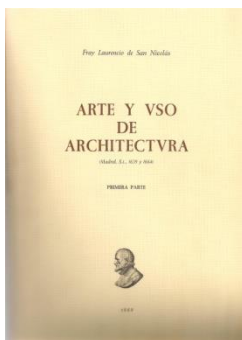


Fig. 3. Portada del Arte y uso de Arquitectura.

La utilización de la cal era tan importante que ya venía reflejada en los tratados de 1639 de Fray Laurencio de San Nicolás, donde explicaba las dosificaciones con los diferentes áridos, como debía de macizarse las hiladas, como tenía que ser las enlucidas, así como las herramientas empleadas para tales oficios. Diferenciamos pues lo que recogen los diferentes tratados sobre el tipo de árido a utilizar, como utilizar la cal y las dosificaciones.

Tipo de árido:

En el capítulo XXIX, que tiene por título: "Trata de la cal, y arena, y modo de mezclarla", nos dice: ... muchas son las diferencias de piedras de donde se hace cal. Pero que según Vitruvio, la buena cal se ha de hacer de pedernal, es decir de la piedra más dura y dolida.

Común mente la piedra mejor es blanca, muy pesada y fuerte. La piedra arenosa, o granigorda no son buenas para hacer cal.

En Francia hacen la cal de cantos rodados de río y en Granada se hace de los guijarros de los ríos Genil y Darro. Se cuece también cal de guijarro en algunas partes de España.

ARTE, Y USO
muerta, o floxa, tal que a mano se coge fin herramienta, y a mi me ha sucedido, en tal caso la feguirás, porque es fallo el edificar sobre ella, y de ordinario estas minas duran poco. También ay tierras donde no se halla firme halla el agua, y tambien se deve feguir, o haze el remedio arriba dicho. Las canas se han de abrir a plomo, y derechas: porque fuera de pedirlo el edificio, puede suceder el vaciar la tierra, y quedan las paredes derechas. En lo advertido adierte, que aunque memadencas, importan para el acierto de la fabrica.

CAPITULO XXIX.

Trata de la cal, y arena, y modo de mezclarla.

Vitrubio. Muchas son las diferencias de piedras de adonde se hace cal. Vitruvio, lib. 2. cap. 3. dize, que la buena cal ha de ser de pedernal; y aunque he topado Autores que lo contradizen, por ventura no entendieron a este Autor: fuera de que en la tierra que el escrite, será el pedernal bueno para cal. Mas no folio hemos de mirar lo que dize, fino el darle el sentido que pide, pues el dezir que sea de pedernal es darnos a entender ha de ser de la piedra mas dura, y folida y en que sea así concuerdan to dos los Autores, y el mismo que lo contradize mas en ello dize que fuertete en la tierra que escrites, a la experiencia que sus habitadores tienen en el hazerla. Comúnmente la piedra mejor es una blanca, y muy pesada, y fuerte, y así faze la cal para los edificios. La piedra arenosa, o granigorda, no es buena para cal. La piedra flogosa, tampoco es buena. En Francia se hace cal de canto pelado de rios, y en Granada se hace de los gujarros de los rios Genil, y Darro, y cuece en horno feta dia con las noches, y nueves, y llaman al dia una hora, y a la noche otra termino de los que cuecen cal en aquella tierra: y se cuece tambien cal de gujarro en algunas partes de España, de mas de lo dicho, y cal muy fuerte. Los Hechos hacen cal de conchas de pecados, y falta de cal, y en otras partes maritimas tambien se hace: y aunque la tienen por buena, no es tal como la que suemos dicho, que es o piedra folida, y maciza, y despues de cocida tendrá de peso la tercera parte menos, confumido del fuego; algunos dizen, que ha de ande y quatro horas, otros fefenta, y todo lo remirá a la experiencia del lugar, como queda dicho. La cal despues de cocida conviene mojarla poco a poco, halla que del todo esté satisfecha e

Fig. 4. Página del libro Arte y uso de Arquitectura. Parte I, cap. 24.

Los Heduos hacen cal de conchas marinas.

(FRAY LORENZO DE S. NICOLÁS. Arte y uso de Arquitectura. Parte I, cap. 24)

...la mejor es la de río o de manantial; también puede servir la de pozo, pero conviene dejarla primero algún tiempo al aire, particularmente en verano, con el fin de que vaya perdiendo su frialdad, la cual cerraría los poros de la cal, y así quedaría mal apagada...

(Benito Bails, 1796)

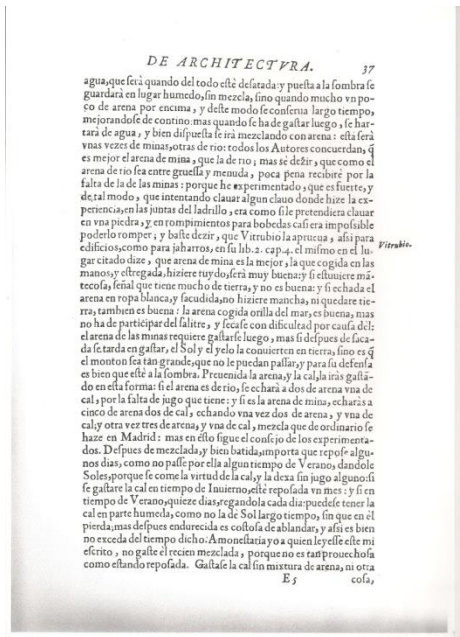


Fig. 5. Página del libro Arte y uso de Arquitectura. Parte I, cap. 25.

....De todas ellas, la mejor es la que frotada con las manos cruje, cosa que no hará la terrosa por no tener aspereza. Será también buena la que, puesta en un lienzo blanco, al sacudirlo, no dejase trazas ni mancha de tierra....

(VITRUBIO. Los diez libros de Arquitectura. Libro II, cap. IV.)

...Todos los autores concuerdan que es mejor la arena de mina, que la de río; más se decir que como la arena de río sea entre gruesa y menuda, poca pena recibiré por la falta de la de mina; porque he experimentado que es fuerte, y de tal modo, que intentando clavar un clavo en las juntas de ladrillo, era como si le pretendiera clavar en una piedra...

(FRAY LORENZO DE S. NICOLÁS. Arte y uso de Arquitectura. Parte I, cap. 25)

Como utilizar la cal:

Después de cocida estas piedras tendrá de peso una tercera parte menos. Algunos dicen que ha de arder veinticuatro horas, otros sesenta.

La cal después de cocida conviene mojarla poco a poco, hasta que del todo este satisfecha de agua, que será cuando del todo este desatada, y puesta a la sombra se guarda en lugar húmedo, sin mezclar, cuanto mucho un poco de arena por encima.

Cuando se vaya a gastar, se hartara de agua, y se irá mezclando con arena, esta será unas veces de mina, otras de río. Todos los autores concuerdan que es mejor la arena de mina.

Arena de mina: la que cogida en las manos, restregada y sacudida, haga ruido, esta será muy buena. Y si echando la arena en la ropa blanca y sacudida no hace mancha, ni quedara tierra, también es buena.

Si la arena es de río, se echa dos de arena y una de cal,

ARTE, Y PISO

cofa, en rebocos, y queda el edificio muy hermoso, y luzido. Algunos quieren decir, que la cal fin arena se convierte en cenizas como la experiencia nos enseña, engañanfe; pues vemos que gallada en lo dicho dura largo tiempo fuerte, y entera, puede ser que lo cause el poco cuerpo que lleva, porque fuera del reboco pocas veces se gasta cal fin mixtura, sino es ya que en la chiquera se gaste, de que ya se via poco. Acaundo de batre la cal para lo dicho, se tierra muy bien, y en va cianque, o tinajon, se va echando, y batiendo grã cantidad. Después se dexa repofar por tres o quatro meses, eitando encima cubierto de agua, y pallado este tiempo, o más la vin facandoy gallando, y sale tan mantecosa, que dá gullo el yello, y quanto mas repofada haze el reboco mas luzido, y fuerte, de que adelante trataremos.

CAPITULO XXX.

Trata de la fuerte de moxear las juntas.

Preuenda la cal en piladas y abiertas canas, lo primero que se haze es macizarlas de piedra, y cal, y la piedra luele ser en vna de dos maneras de canteras de ado se faca piedras gruesas, o de guarras, o canto pelado, y en el nombre de canteras se meten muchas diferencias de pedras: que ay, porque como la piedra es produzida de la tierra, así della toma el color, y es diferente en los nombres, según se tiene, y segun en la parte que se cria: mas sea como fuere, eilas dos diferencias ay, de grueso, y menudo, y vno y otro es bueno para los fundamentos: y siendo la piedra crecida, será necesario irlo alfentando con cuydado, de fuerte que no quede hueco ninguno por pequeño que sea, y en esto ha de inlar mucho el Maestro. La primer hilada, o manpueta, se ha de echar fin cal, alfentandola enfeco sobre la tierra, mas si se afuenta sobre firmamentos, se alfentará con cal, y bien bañadas las piedras, se irá echando hiladas hasta enrafar, teniendo cuydado con que vaya bien trauado, que aunque en la tierra quede empotrado el cimiento, con todo esto no pierde por el cuydado. Sino ay otra piedra fino guixarro, el primer lecho se alfentará como en lo pallado, y los demas echará desde arriba cal y guixarro en abundancia, con mucha agua, y de en quando en quando hazará gente con pilones, y lo irá pilando, y desta fuerte se hazen los edificios Romanos, y así continuado quedará el edificio macizo, y fuerte. Mas es de advertir, que en los cimientos que

Fig. 6. Página del libro Arte y uso de Arquitectura. Parte I, cap. 24.

por la falta de jugo que tiene. Y si es de mina, se echará cinco de arena y dos de cal. Después de mezclarla y bien batida es importante que repose algunos días.

Gastar la cal sin mixtura de arena ni otra cosa, en revocos, queda el edificio muy hermoso y lucido.

(FRAY LORENZO DE S. NICOLÁS. Arte y uso de Arquitectura. Parte I, cap. 24)

En el capítulo XXX, que tiene por título: "Trata de la fuerte de macizar las ganjas", nos indica: ...en las primeras hiladas o mampuestos, se ha de echar sin cal, asentándola en seco sobre la tierra, si se asienta sobre sarmientos, se asentara con cal y bien bañadas las piedras, se irán echando hiladas hasta enrasar.

Si solo hay guijarros, el primer lecho se asentara como en lo pasado, y los demás echaran desde arriba cal y guijarro en abundancia, con mucha agua y de vez en cuando bajara gente con piones y lo pisaran.

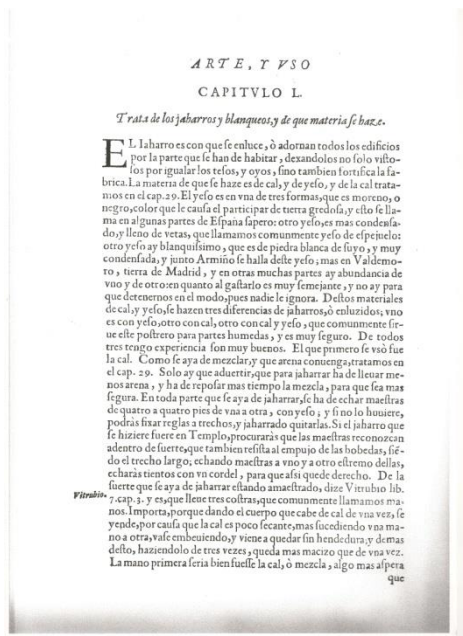


Fig. 7. Página del libro Arte y uso de Arquitectura. Parte I, cap. L.

En el capítulo L, que tiene por título: "Trata de los jaharros y blanqueos, y de que materia se haze", nos explica que: ...el jaharro es con que se enluce, o adornan todos los edificios por la parte que se han de habitar, dejándolos no solo vistosos por igualar los techos, sino también fortifica la fabrica. La materia de que se hace es de cal y de yeso.

De estos materiales, de cal y yeso, se hacen tres diferencias de jaharros, o enlucidos; uno es con yeso, otro con cal y otro con cal y yeso que comúnmente es el que se utiliza para partes húmedas, y es muy seguro. El que primero se uso fue el de cal.

Solo hay que advertir que para jaharrar ha de llevar menos arena, y ha de reposar más tiempo la mezcla, para que sea más segura. En todas partes que se haya de jaharrar, se ha de echar maestras de cuatro a cuatro pies de una a otra, con yeso.

Según Vitrubio al jaharrar lo importante es que lleve tres costras, que comúnmente llamamos manos. Importa porque dando el cuerpo que cabe de cal de una vez, se desprende por causa que la cal es poco secante. Sucediendo una mano a otra, se va embutiendo y viene a quedar sin hendeduras. Haciéndolo en tres veces queda más macizo que de una vez.

La mano primera será bien fuerte de cal, o mezcla algo más áspera que la segunda, y la segunda más que la tercera.

El grueso que ha de llevar cada costra o mano, dice Vitrubio que sea de un cuero, según la necesidad pide.

Si estos jaharros se hicieran sobre tapias de tierra, después de bien picadas de la misma mezcla harás lechadas, y con ellas las regaras, porque así se une mejor. Y si fuera sobre ladrillo o piedra, basta con quitarle el polvo o regarla con agua, y con esto la encaladura no hará barrigas.

Encima del jaharro de cal, se podrá rematar con yeso negro o blanco.

Si la obra a jaharrar estuviese fresca, es mejor para que se una y sea todo un cuerpo.

Se puede dar la última mano de cal por falta de yeso o por impedirlo la humedad, en tal caso se mezclará con piedra molida de alabastro, dos partes de cal y una de alabastro, o de piedra molida que se suele haber en las canteras, o con la cal sola, habiéndola tenido en agua mucho tiempo, por lo menos dos o tres meses.

La experiencia para conocer si esta buena, nos dice Vitruvio; con una achuela la recortas, y si la achuela se mellara, es señal que están por deshacer las piedras de cal, y si por el contrario no se pegara nada, es señal que esta falta de agua, y si se le pega la cal pero no se mella y estuviese pegajosa es que esta buena.

La última mano se le da algo más delgada para que quede más tersa y resplandeciente, se irá bruñendo con una piedra igual hasta que se enjугue, así queda vistoso y seguro. Y si se quiere que quede más resplandeciente, como si fuera pulimento en mármol, se coge un poco de almástiga, un poco de cera y aceite, se derrite todo junto y con ello se baña la pared.



Fig. 8. Página del libro Arte y uso de Arquitectura. Parte I, cap. L.

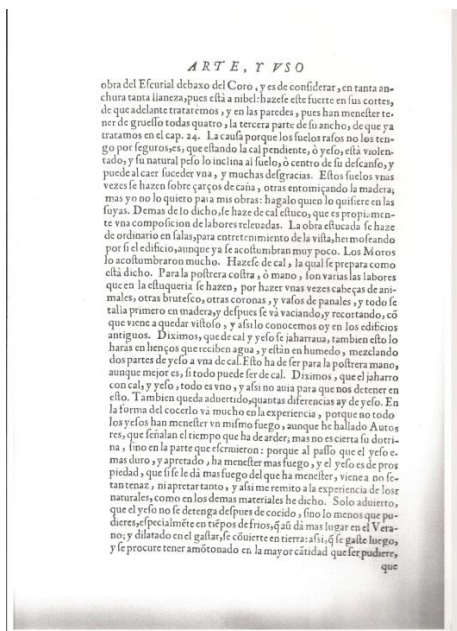


Fig. 9. Página del libro Arte y uso de Arquitectura. Parte I, cap. L.

Los suelos holladeros de pueden hacer de cal también, echando primero un hormigón, o nogada con piedras muy menudas, pisando a pisón, y encima echar el jaharro semejante al dicho. Los suelos rasos, o pavimentos, se aconseja no los hagas en las obras, porque no los tengo por seguros.

La obra estucada se hace de ordinario en salas, para entretenimiento de la vida, hermoseando por si el edificio.

Para la última costra o mano, son varias las labores que en la estuquería se hacen, por hacer unas veces cabezas de animales, otras grotesco, otras coronas, y vasos de paneles, y todo se talla primero en madera, y después se va vaciando, y recortando hasta que quede vistoso.

De cal y yeso se jaharraba, también esto se hará en lienzos que reciben agua, y están en húmedo, mezclando dos partes de yeso a una de cal.

Con estas artes no solo se fortifica con su fortaleza, sino que da lugar para hermosearle, obrando con él retablos como si fueran de madera. Es perfecto y aligera las fábricas, así de gastos, como de pesos. Y obrando bien, y sin malicia es perpetuo.

Se pueden hacer lienzos de pared gruesos, y delgadas, y son fortísimos, y se pueden cargar brevemente, y hacer bóvedas de cuantas maneras hay en el arte. Solo tiene un inconveniente, y es que no se pueden hacer cimientos.

(FRAY LORENZO DE S. NICOLÁS. Arte y uso de Arquitectura. Parte I, cap. 50)

...Para emplear bien la cal, es menester que esté bien apagada y reposada mucho tiempo, a fin de que si algún pedazo quedó mal cocido, pueda deshacerse con la misma facilidad que los bien cocidos...

...Para conocer si la cal está bien apagada, se corta con un rastro o espaldón de madera, o se cala con un cuchillo; y si se encuentran chinias con el primero, o el segundo sale limpio, es señal de que no está bien apagada, porque cuando lo está, se pone grasa y se pega al cuchillo.

(VITRUBIO. Los diez libros de Arquitectura. Libro II, cap. IV)

...uno que se llama comúnmente negro o moreno, y otro blanco. El negro es el que se usa para forjar los tabiques, suelos, etc. y el blanco se hace de una piedra alabastrina, cristalizada en el interior como si fuera una sal, y es una materia excelente para enlucidos...

(Juan de Villanueva)

Dosificación de mortero:

Según Vitrubio en los Diez libros de arquitectura, nos hace hincapié que el Trullisato, no siempre se puede hacer sobre mampostería.

El Arenato (3 capas), para jarrados la dosificación idónea será: tres de arena de mina por cada uno de cal y si es de mar, dos de arena por cada una de cal. Nos indica también que esta mezcla mejora con 1/3 de teja molida bien cernida.

El Estucato (3 capas), para enlucidos y revocos, la mezcla tiene que estar muy batida.

Para estas técnicas, Alberti (de re Aedificatoria) se remite a Vitrubio, al igual que Palladio (quattro libri dell'Architettura).

Fray Lorenzo de S. Nicolas (Arte y usos de la arquitectura), describe que la dosificación idónea para el Revoco es de uno cal por cada dos de arena de río o cinco si es de mina.

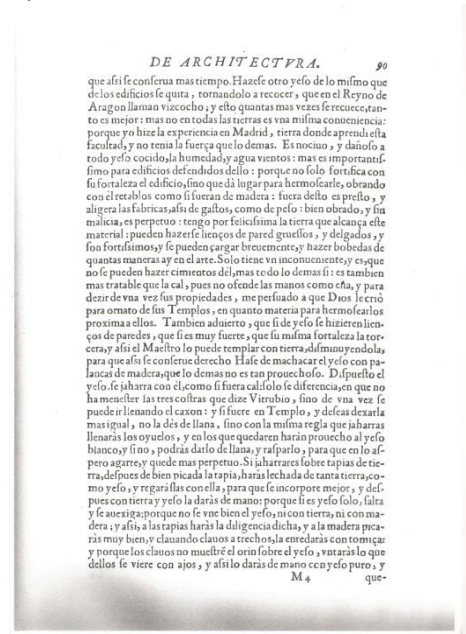


Fig. 10. Página del libro Arte y uso de Arquitectura. Parte I, cap. L.

FRAY LORENZO DE S. NICOLAS XVII - XVIII Arte y uso de arquitectura
REVOCO. Cal y Arena. A. 1 Cal x 2 Arena de río. B. 1 Cal x 5 Arena de mina. Echando una vez una de Cal y dos de Arena, y otra vez una de Cal y tres de Arena. Uso en Madrid.

Fig. 11. Descripción del Revoco según Fray Lorenzo de S. Nicolás.

El enlucido, según Benito Bails (Elementos de matemáticas y arquitectura civil), expresa como dosificación, uno de cal por cada dos de arena. Además añade que con teja molida se mejora la mezcla y que para enlucidos debe ser esponjosa la mezcla y para edificación dura.

J. Villanueva (arte de albañilería), refleja que el Guarnecido se puede hacer de cal y arena o de yeso. El Jarrado de cal, yeso y arena o solo con yeso y arena. El Estuco de cal y arena. La Pintura solo con cal. Y la Escayola con cal y yeso.

Fornes y Gurrea (Observación práctica del arte de edificar), matiza que para el estuco hay que utilizar cal y piedra de marmol, siendo la dosificación idonea tres de cal por cada dos partes de mármol.

1.4. Motivos por lo que deja de utilizarse.

En los últimos cien años, la cal, como materia prima para la construcción ha caído en desuso. Hoy en día, la mayor sensibilización hacia la rigurosa conservación de nuestro patrimonio, ha hecho que la bondad de la cal, como material de construcción, haya sido reivindicada por los expertos y estudiosos responsables del mantenimiento y conservación de nuestras fábricas y revestimientos antiguos, siendo uno de los sistemas más solicitados por decoradores e interioristas que desean dar un toque de distinción a sus obras.

Con la llegada del cemento portland, por un lado, y la mejora de las condiciones higiénicas de la población y la aparición de la pintura plástica, por otro, fueron desplazando tanto a la cal morena como a la cal blanca respectivamente de su posición preferente en la construcción.

La cal quedó en desuso, priorizando las cualidades de aquél (facilidad de trabajo, versatilidad y rápida resistencia) en detrimento de otras cualidades más sanas para los edificios y las personas.



Fig. 12. Técnica realizada con mortero de cal, esgrafiado.

Por otra parte, la cocción de la Cal presentaba un proceso similar al del yeso. La diferencia principal entre uno y otro era, además del material, el tiempo de cocción y, por tanto la cantidad de combustible que se necesitaba.

Para cocer el yeso se necesitaban 24 horas y para cocer la Cal, al menos 60 horas. Es decir, se requería tres veces más leña que para la elaboración del yeso. En Valencia, esta circunstancia junto con la dificultad de piedra apta para la formación de la Cal, se tradujo en muchas



poblaciones en el empleo generalizado del yeso como único material estructural en pilares y forjados y el uso de la cal sólo en algunos edificios excepcionales como las iglesias, castillos y alguna casa señorial.

“La industria actual ha traído la posibilidad de realizar la producción a gran escala, y ha conseguido acabar en la mayoría de casos con la antigua industria artesana tradicional. Esta circunstancia, unida al descubrimiento de nuevos materiales, que dejan en el olvido a los utilizados históricamente, ha hecho guardar en el barril de los recuerdos a muchos oficios tradicionales. Junto a este olvido de los oficios se ha producido lógicamente el abandono y deterioro de las herramientas y construcciones auxiliares utilizadas en estos oficios. En nuestros paseos por los campos podemos observar restos de estas construcciones que, debido a que han dejado de ser útiles, están siendo abandonadas irremisiblemente... El horno de cal, también llamado calera, era el lugar donde unos artesanos convertían la piedra caliza, sometiéndola a un tratamiento térmico. Hasta la revolución industrial y el descubrimiento del cemento en 1824 en Portland, Inglaterra, la cal fue el principal ligante de la construcción utilizado en mortero mezclado con arena.” (Sanz y Perosillo, 2005, 63).

Sin embargo, los **estucos de cal** han vuelto a recobrar su importancia a través de nuevas prácticas constructivas como la bioconstrucción; y es que además de ser una técnica de una gran belleza y que usa sólo productos naturales sin ningún tipo de aditivos, reúne también otras características de extrema importancia como la durabilidad, la ausencia de retracciones, la capacidad como aislante térmico y acústico, la transpiración de los materiales y cualidades fungicidas e ignífugas.

Otras circunstancias por la que se ha producido la decadencia en el empleo de la cal en la construcción es la sustitución de la tipología estructural clásica y el empleo de las estructuras metálicas y de hormigón armado; la aparición del cemento Portland y uso generalizado en todos los elementos constructivos; las fábricas de ladrillo visto, la comercialización de mármoles y granitos y su uso en aplacados; el desarrollo tecnológico y la aparición de pinturas, morteros sintéticos y el empleo de vidrios y metales en muros cortina; las corrientes migratorias hacia Europa de la mano de obra especializada y posteriormente el encarecimiento de la mano de obra; etc.

Todo lo anterior ha producido la pérdida de los conocimientos y las técnicas tradicionales de la cal y la casi desaparición del oficio de revocador; este hecho se ha visto apoyado por el poco testimonio escrito que existe sobre el revoco, las técnicas y mezclas se han ido transmitiendo a través de generaciones de artesanos, constituyendo el legado que les posibilitaba su vida laboral. Ya Manuel Fornes y Gurrea citaba que: “He advertido que pocos pueden dar razón minuciosa y exacta de los estucos, y que los que la poseen se la reservan como un secreto precioso”.

Afortunadamente, en el último tercio del siglo se ha producido, por varias circunstancias, una corriente de apreciación de las técnicas artesanales y de los materiales tradicionales. En primer lugar, por la importancia que tienen como símbolos de identidad y singularidad de nuestra cultura, pero también como una solución técnica, sobradamente experimentada, a los problemas planteados por la aplicación de materiales y técnicas modernas, sin tradición ni datos sobre su comportamiento a medio y largo plazo.

La cal, en sus numerosas aplicaciones, ya sea en forma de lechada, pasta o mortero, presenta una serie de ventajas que la convierten en el material idóneo para muchos usos:



- La bondad de la cal grasa apagada, permite unos trabajos con unos resultados estéticos inalcanzables para el resto de los materiales.
- Sus resultados en numerosas aplicaciones han sido probados a lo largo de la historia, teniendo una experiencia documentada en su uso como en ningún otro material.
- Los morteros de cal son elásticos, evitando las retracciones.
- No producen sales nocivas.
- Favorecen la permeabilidad del vapor de agua a través de los cerramientos.
- Al mezclarlos con áridos y pigmentos y después del trabajo artesanal no precisan un revestimiento posterior, como en el caso de los enfoscados con mortero de cemento.
- En las fábricas, tiene unas características muy similares al material que liga, piedra o ladrillo.
- Son impermeables, aplicados como revestimientos exteriores.

1.5. Situación actual de la cal en España.

Actualmente en España se está consumiendo del orden de 1.671.000 T/año, en forma de cal viva, cal apagada o dolomía, distribuido de la siguiente forma:

Industria siderúrgica, química, y de alimentación	77%
Materiales de construcción	0,5%
Construcción	8%
Protección medio ambiente	14%
Agricultura	0,5%

Frente al consumo mundial de 125.000.000 T/año, distribuido de la siguiente forma:

Industria siderúrgica, química, y de alimentación	62%
Materiales de construcción	4%
Construcción	17%
Protección medio ambiente	15%
Agricultura	2%

Datos facilitados por ANCADE.

2. Clasificación.

2.1. Tipología y funciones.

2.1.1. Tipos de cal:

Las cales para la construcción, según la Norma Europea UNE_EN 459-1 establece los siguientes tipos, de acuerdo con su composición química:

- **CALES AÉREAS:**

Producidas por la calcinación de calizas o dolomías, constituidas por óxido o hidróxido de calcio y/o magnesio. Carecen de propiedades hidráulicas ya que no tiene la propiedad de fraguar y endurecer cuando se mezcla con agua y/o bajo ella.

- Cales vivas (Q): Compuestas por óxidos de calcio y de magnesio. Obtenidas tras la calcinación de las caliza o las dolomías.

- Cales hidratadas (S): Resultantes del apagado de las cales vivas, compuestas por hidróxidos de calcio y magnesio

Las cales vivas e hidratadas:

-Cales cálcicas (CL): Calcinación de rocas calizas

Puras, riqueza en calcio > 95%, (componente fundamental CaO y MgO < 5 %)

-Cales dolomíticas (DL): Calcinación de piedras dolomíticas que contienen magnesio (MgO > 5 %)

Cal viva



Cal hidratada



Dolomía calcinada



Fig. 13. Tipología de cales.

- **CALES HIDRÁULICAS:**

Cal constituida, principalmente, por hidróxido de calcio, silicatos y aluminatos de calcio. Tiene la propiedad de fraguar y endurecer cuando se mezcla con agua y/o bajo ella. La reacción con el dióxido de carbono atmosférico es parte del proceso de endurecimiento.

Producidas por la calcinación de rocas carbonatadas que contiene arcillas ricas en sílice, aluminio y hierro. Mezcla de óxido de calcio más silicatos y aluminatos cálcicos.

La parte del óxido se comporta como cal aérea, el óxido de calcio pasa a hidróxido de calcio y tiene lugar una reacción de carbonatación con el aire.

La parte de los silicatos y aluminatos reacciona con agua, dando lugar a silicatos y aluminatos cálcicos hidratados (reacción hidráulica análoga cementos, endurecimiento más rápido que cales aéreas).

-Cales hidráulicas naturales (NHL): La cal hidráulica natural es una cal con propiedades hidráulicas, producida por la calcinación de calizas más o menos arcillosas o silíceas con reducción a polvo mediante apagado con o sin molienda. Tiene la propiedad de fraguar y endurecer cuando se mezcla con agua y por reacción con el dióxido de carbono presente en el aire (carbonatación).

Las propiedades hidráulicas son el resultado exclusivo de la composición química especial de la materia prima natural. Se permiten los agentes de molienda hasta el 0,1%.

La cal hidráulica natural no contiene ninguna otra adición.

En España no existe ninguna explotación de cal hidráulica natural (NHL)

-Cales formuladas (FL): La cal formulada es una cal con propiedades hidráulicas constituida principalmente por cal aérea (CL) y/o cal hidráulica natural (NHL) con material hidráulico y/o añadido.

Tiene la propiedad de fraguar y endurecer cuando se mezcla con agua y por reacción con el dióxido de carbono presente en el aire (carbonatación).

-Cales hidráulicas artificiales (HL): La cal hidráulica es un conglomerante constituido por cal y otros materiales tales como cemento, escorias de alto horno, cenizas volantes, filler calizo y otros materiales adecuados. Tiene la propiedad de fraguar y endurecer con el agua. El dióxido de carbono presente en el aire contribuye igualmente al proceso de endurecimiento.

Es muy importante no confundir la cal aérea, con la cal hidráulica, ya que esta última contiene silicatos que tienen un comportamiento diferente, sobre todo como material de construcción.

La cal hidráulica tiene un comportamiento similar al cemento.

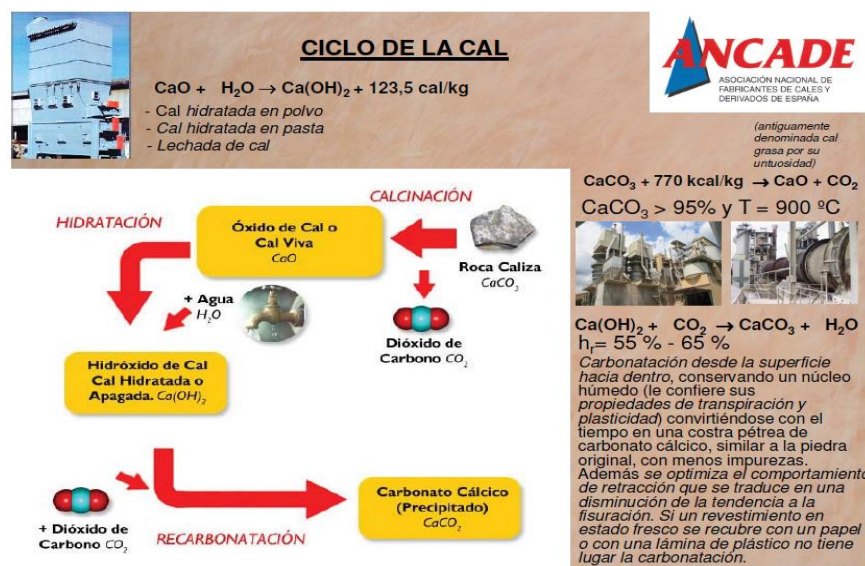


Fig. 14. Esquema ciclo de la cal.



Las cales aéreas cálcicas hidratadas son las más utilizadas en la fabricación de los morteros (UNE-EN 459-1): CL 90-S, CL 80-S, CL 70-S (CaO+MgO _ 90 %, 80% y 70 % respectivamente). Utilizar siempre cal hidratada completamente apagada para evitar fisuras y otra serie de desperfectos en la superficie, por aumento de volumen debido a su hidratación a posteriori a la aplicación del mortero (debe cumplir el requisito de estabilidad de volumen según la norma UNE-EN 459-2).

Clasificación según su puesta en obra:

- Según su localización: - Interior
- Exterior
- Según su puesta en obra: - In situ (tendido)
- In situ (Proyectado)
- En tablero
- Según el aglomerante principal: - De cal
- De yeso
- De escayola
- Mixto
- Según la textura: - Lisa: Mate
Brillo
- Rugosa: A la rasqueta
A la martillina
Picado a gavilán
Abujardado
Rústico
Pétreo
A la tirolesa
Lavado
- Según el modelo que imita: - Mármoles o piedras suntuarias
- Fingidos
- Fábricas de piedras
- Fábricas de ladrillo
- Según el modelo de decoración: - Esgrafiados
- Taraceados
- Avitolados
- Molduras
- Motivos en relieve



Fig. 15. Esquema diferentes acabados de los morteros de cal y mixtos. De arriba abajo y de izquierda a derecha: 1.- Rasqueta, 2.- Rasqueta con Plinto, 3.- Estuco brillo para exteriores, 4.- Pico Gavilán, 5.- Esgrafiados, 6.- Fratasado Fino, 7.- Imitación a Ladrillo, 8.- Martillina con Plinto, 9.- Piedras de abultado.

2.1.2. Tipos de morteros de cal:

Podemos clasificar los morteros de cal según el conglomerante que se incorpora a éstos. Así, los morteros pueden denominarse según la composición y proporción de sus componentes, o según una característica especificada que, según la norma UNE EN 998-2, define la resistencia a compresión a 28 días.

Clasificación según composición:

Conglomerante	Composición (ejemplos)	Resistencia
Morteros de cal hidráulica	cal:arena (1:3)	P.e.: M-5 (5N/mm ² a 28 días) M-20 (20N/mm ² a 28 días)
Morteros de cal aérea	cal:arena (1:3)	
Morteros mixtos de cemento y cal hidráulica	cemento:cal:arena (1:1:3)	
Morteros mixtos de cemento y cal aérea	cemento:cal:arena (1:1:3)	

En cuanto a la composición de los morteros, cabe resaltar la importancia de especificar si las proporciones han sido establecidas en peso o en volumen. Además, también es importante detallar la cantidad de agua de amasado a utilizar para dicha mezcla.

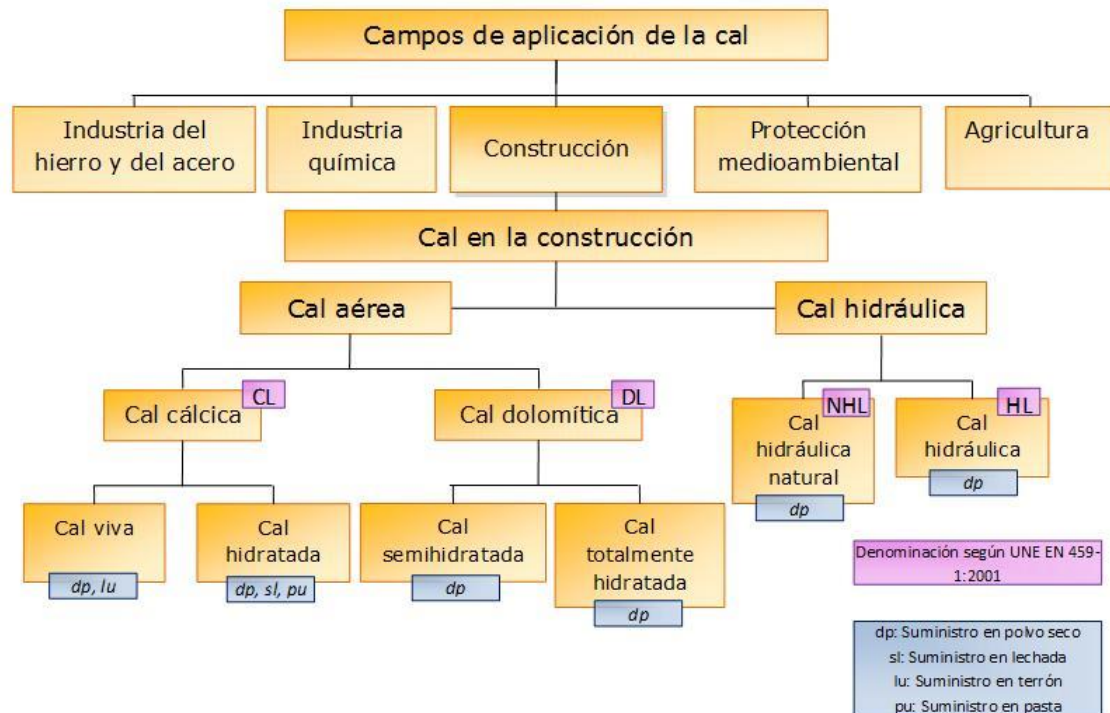


Fig. 16. Esquema campos de aplicación de la cal.

La incorporación de cemento en los morteros incrementa considerablemente la velocidad de fraguado, así como su resistencia mecánica. En el ámbito de la restauración suele emplearse cemento blanco para que éste pueda ser posteriormente pigmentado en caso necesario. En cuanto a los revestimientos, debe tenerse en cuenta el material de soporte y, en caso necesario, someterlo a tratamientos previos para garantizar la estabilidad y adherencia del revestimiento.

Según su uso o aplicación:

Según la aplicación de los morteros, éstos se clasifican en:

- Morteros para obras de fábrica
- Morteros de revestimiento
- Morteros para solados
- Morteros cola
- Morteros de reparación
- Morteros impermeabilizantes

Estos pueden ser de cualquiera de las composiciones de conglomerante anteriormente mencionadas, excepto los morteros mixtos de cemento y cal aérea que se aplicarán únicamente en obras de fábrica y revestimientos.

Según su método de fabricación:

La norma UNE EN 998-2 clasifica también los morteros según su método de fabricación:



Mortero para albañilería hecho en obra: la dosificación de los componentes y el amasado se realiza en obra.

Mortero para albañilería semiterminado hecho en fábrica. Pueden ser morteros que se dosifican en fábrica y se mezclan en obra; morteros cuya cal y arena se dosifica en fábrica y se mezclan en obra, añadiendo otros componentes suministrados o bien especificados por el fabricante.

Mortero para albañilería hecho en fábrica, o mortero industrial: la dosificación de los componentes y el amasado se realiza en fábrica.

Según su forma de suministro:

También pueden clasificarse según su forma de suministro:

Mortero seco en sacos o silos: el fabricante proporciona uno o varios sacos o silos de mortero especificado y sólo es necesario añadir el agua indicada para realizar la mezcla en obra. La utilización de sacos o silos dependerá de la cantidad de mortero requerida.

Mortero húmedo: generalmente son morteros de cal en pasta, que se suministran en sacos o bidones según la cantidad de mortero requerido. (Lopez 2002).

2.2. Ventajas del uso de los morteros de cal.

Las ventajas y características que aportan la cal a los morteros son innumerables, como la mejora de plasticidad y trabajabilidad, incremento de la retención del agua, obtención de morteros más flexibles y con mayor adherencia, facilitando en el reamasado, curado autógeno con menor retracción y fisuración.

Tiene una gran versatilidad, no produce sales nocivas (el cemento sí), su elasticidad evita retracciones, no se usan con ella más aditivos que los áridos necesarios en el diseño de su ulterior textura y pigmentación, lo cual hace innecesario el uso de pinturas de acabado (las multinacionales de las pinturas son otros enemigos potenciales de la reivindicación de este noble material), y su principal propiedad es el hecho de haber sido el único cementante empleado por el hombre en esa expresión de la cultura que es el arte de construir.

Como cualidad de sostenibilidad, mencionaremos que al cabo de cientos de años, la cal apagada, después de carbonatarse completamente, retorna a su estado original en la cantera, que es el de roca caliza.

2.2.1. Morteros puros de cal:

- Buena plasticidad y trabajabilidad (la cal, por su finura, envuelve la superficie entre los áridos, evitando rozamiento y mejorando el deslizamiento).
- Ausencia de retracción.
- Gran elasticidad (favorece adaptación deformaciones del soporte sin provocar agrietamiento)
- Constancia de volumen bajo condiciones variables de humedad.
- Permeabilidad apreciable al vapor de agua (los muros “respiran”). Evita condensaciones.
- No provoca eflorescencias debido a la ausencia de sales solubles.
- Buen aislamiento térmico y acústico.



- Permite realización capas más finas consiguiendo unos resultados inalcanzables con otros materiales.
- Fáciles de colorear alcanzando gran riqueza en cromatismos y luminosidad del color.
- Garantizan el sellado y estucado.
- Los morteros de cal poseen una buena resistencia a la penetración del agua de lluvia (en revestimientos verticales exteriores).
- Producto desinfectante y fungicida natural por la alcalinidad de la cal.
- Producto ignífugo que no emite gases tóxicos.

2.2.2. Morteros mixtos de cal y cemento:

- Mayor adherencia.
- Mayor plasticidad.
- Incremento de la permeabilidad al vapor.
- Disminución de eflorescencias.
- Menor retracción y fisuración.

Los valores de las resistencias mecánicas de estos morteros dependen de las proporciones de cal hidratada y de cemento (tipo y clase) de la mezcla. Las resistencias mecánicas serán más elevadas y los tiempos de fraguado más cortos cuanto mayor sea el contenido de cemento; pero serán menos plásticos y menos permeables al vapor de agua, con mayor posibilidad de tendencia a la fisuración por retracción. (Lopez 202).

2.3. Descripción de morteros mixtos.

2.3.1. Morteros según su composición (según el conglomerante que se incorpore en el mortero)

- Morteros de cemento
- Morteros de cal aérea (morteros fabricados con cal aérea hidratada y arena)
- Morteros de cal hidráulica
- Morteros mixtos de cal y cemento (comunes o blancos)

2.3.2. Morteros según su aplicación (según su aplicación constructiva)

- Morteros para obras de fábricas
- Morteros de revestimiento
- Otros: Morteros para solados, morteros cola, morteros de reparación, morteros impermeabilizantes.

2.3.3. Morteros según el concepto (producción de morteros a la medida del cliente, en propiedades a obtener: prestación y en la composición y proporción de sus componentes: receta)

- Morteros de receta o prescritos: Se denominan en función de los componentes Ej: cemento-cal-arena; cal-arena; cemento-arena.
- Morteros diseñados: Se le demanda una determinada característica (resistencia, adherencia, o hidrofugacidad).

2.3.4. Morteros según su método de fabricación (UNE-EN 998-2)

- Mortero para albañilería hecho en obra: con componentes dosificados y mezclados en obra.
- Mortero para albañilería semiterminado hecho en una fábrica: mortero para albañilería predosificado (con componentes dosificados en una fábrica y se suministran y se mezclan en obra) ó mortero para albañilería premezclado de cal y arena (con componentes dosificados y mezclados en una fábrica y se suministran en obra donde se añaden otros componentes).
- Mortero para albañilería hecho en una fábrica (mortero industrial): mortero dosificado y mezclado en una fábrica. Pueden ser: "mortero seco" (solamente requiere la adición de agua) o "mortero húmedo" (suministrado listo para su empleo). (Lopez 2002).

2.4. Diferentes aplicaciones de la cal como recurso material en la construcción.

Todo ello ha ido acompañado de un mayor conocimiento de los parámetros físicos y químicos que inciden en las características de la cal y en el desarrollo de las Normas a nivel ISO, CEN y UNE que señalan las definiciones de los tipos de cales, especificaciones, ensayos y criterios de conformidad que deben aplicarse según la utilización de la cal.

En este sentido, puede decirse que la cal es uno de los productos más versátiles por su empleo en distintos sectores, así no solo se usa en la construcción, sino también en la siderurgia, que es su mayor utilizador, metalurgia no férrea, industrias químicas, fabricación de azúcar, papel, fertilizantes, biocidos, nutrición, vidrio, protección ambiental tanto atmosférica como depuración de aguas, etc...

Finalmente, la obligación de disponer a partir del pasado 1º de Agosto de 2003 del Mercado CE para la comercialización y uso de las cales destinadas a la construcción que indica su conformidad con las normas UNE-EN armonizadas correspondientes añade una garantía más de calidad para las citadas cales.

A modo de curiosidad, nombraremos que una de sus utilidades más comunes en este aspecto ha sido su utilización como antiséptico en el cuidado de enfermos que permanecían largo tiempo en cama, pues se ponía un trozo de cal debajo de la cama, y esto, decían que evitaba el llagado.

Servía para sanar el aire en espacios cerrados y para prevenir la putrefacción de aguas estancadas. Las pinturas de numerosas iglesias desaparecieron a lo largo de los siglos bajo capas de cal que se ponían cuando había epidemias.

Una lista muy incompleta del uso de la cal nos aclara su importancia en el pasado: Se usó como fundente en operaciones metalúrgicas y alfarería, para realizar crisoles de altísima temperatura; deshidratación de líquidos y desecación de espacios y productos variados; elaboración del azúcar, fabricación de potasa, sosa, amoníaco, cloruro de cal; depuración de la sal, curtido de pieles; obtención de la cal sodada que tanto protagonismo tuvo desde el siglo

XIX hasta hace tres décadas en el desarrollo de los estudios fisiológicos; cal hidráulica y otros usos de lo más variado.

2.5. Aplicaciones de la cal en otros sectores.

2.5.1. Cal viva

La cal es uno de los productos más conocidos desde la antigüedad y con más aplicaciones diversas.

Se utilizó para desecar el aire en espacios cerrados, en forma de lechada como pintura antiséptica para estancias y fachadas, desinsectante del arbolado, desinfectante para el cólera, tifus y otras enfermedades infecciosas, inhibidora de la putrefacción de las aguas. El agua de cal medicinal se usó en el pasado en gargarismos para disolver las pseudomembranas de la difteria y en la laringitis, faringitis y amigdalitis; por vía interna contra los vómitos y diarreas y como antiácido; junto al azufre, sosa y arsénico formaba un depilante muy utilizado; se usó también la cal en el cáustico de Viena asociada a la potasa y con el jabón medicinal.

Se trataban con la cal o alguno de sus preparados: reumatismos, tumor blanco, hidrartrosis, parálisis, cólera _ En los últimos siglos la normativa sanitaria obligaba a cubrir con cal viva los cadáveres de animales o personas muertos por enfermedades infecciosas y desinfectar los materiales fecales en situaciones epidémicas por el mismo procedimiento.

De manera que cubre prácticamente todos los campos de la actividad humana (económica) como son:

- **Industria:**

Siderurgia: Se utiliza como fundente y escorificante.

Metalurgia: Se utiliza en los procesos de flotación; en la fundición de cobre, plomo y zinc; en la producción de magnesio (se pueden utilizar dos tipos de procesos de fabricación: proceso electrolítico o proceso de reducción térmica, en este último se utiliza cal viva); en la producción de aluminio; y como escorificante de la sílice evitando la formación de compuestos de aluminio y sílice.

Química: Se emplea en la producción de jabón, en la fabricación del caucho y de carburo cálcico, en la industria petrolífera, en la industria del papel y en cosmética.

Alimentaria: Se utiliza en la industria azucarera (en concreto en la elaboración del azúcar de remolacha); ostricultura; piscicultura; industria cervecera, industria láctea; en la fabricación de colas y gelatinas, en el tratamiento del trigo y del maíz; en la industria vinícola y para la conservación de alimentos en



Fig. 17. Estuco de cal, de las primeras civilizaciones..



contenedores de alimentos “autocalentables”.

Vidrio: Su utilización proporciona vidrios más brillantes y con mejor color. La fusión es más rápida, lo cual supone un ahorro económico durante el proceso de fabricación del vidrio.

Curtidos: Es una de sus aplicaciones más antiguas. Los baños de lechada de cal permiten la extracción de pelos e hinchamiento de las pieles antes del curtido.

- **Construcción:**

Geotecnia: En estabilización de suelos: para secar suelos húmedos, descongelar los helados y mejorar las propiedades de los suelos arcillosos.

Edificación: En la fabricación de prefabricados de cal: Hormigón celular ó aireado, ladrillos silicocalcáreos y bloques de tierra comprimida.

La cal es un producto de construcción más, con su "Marcado CE" y sus correspondiente normalización ("UNE EN-459:1, 2 y 3").

- **Protección del Medio Ambiente:**

Tratamiento de aguas de consumo (potabilización): Se emplea para ablandar, purificar, eliminar turbiedad, neutralizar la acidez y eliminar la sílice y otras impurezas con el fin de mejorar la calidad del agua que consumen las personas.

Tratamiento de aguas residuales y de lodos: Se utiliza, de manera muy habitual, en los tratamientos convencionales químicos de aguas residuales industriales, básicamente, de carácter inorgánico. También se utiliza ampliamente en el tratamiento o línea de lodos en las plantas de depuración de aguas residuales urbanas o en aguas industriales de carácter orgánico.

Remineralización de agua desalinizada: La adición de cal permite realizar un acondicionamiento del agua desalinizada que puede ir desde un ajuste de pH y reducción de la agresividad, hasta la remineralización de las aguas por el aporte de calcio. La cal es imprescindible para el tratamiento final de las aguas procedentes de la desalinización del agua del mar puesto que aporta uno de los compuestos nutricionales básicos - el calcio - y es necesaria para el mantenimiento del equilibrio cal-carbónico, con el fin de evitar incrustaciones o corrosiones.

Depuración de gases: La cal, dependiendo del proceso, es el desulfurante más rentable y natural que elimina el anhídrido sulfuroso y otros gases ácidos (HCl, HF y NOx) de los humos industriales de incineradoras de residuos sólidos urbanos, de centrales térmicas y de la industria en general.

La cal también se emplea para eliminar los compuestos orgánicos persistentes (COP) como son dioxinas y furanos, y metales pesados de incineradoras municipales e industriales.

Tratamiento de residuos: La cal se emplea, además de como integrante de diversos tratamientos químicos, como agente para prevenir los malos olores y la contaminación de las aguas por la lixiviación.

Tratamiento de suelos contaminados: Las técnicas empleadas en el tratamiento de suelos contaminados se agrupan de la manera siguiente:

- **Fisicoquímicos**



- Estabilización - solidificación
- Biológicos
- Térmicos

En el tratamiento ó método físico-químico (que constituye un proceso de transformación del residuo mediante la adición de una serie de compuestos químicos para alcanzar el objetivo deseado), la cal se utiliza en las técnicas de neutralización, precipitación y decoración.

Con respecto a la técnica de estabilización / solidificación (cuyo principal objetivo es reducir la movilidad y solubilidad de contaminantes presentes en el suelo, disminuyendo su toxicidad y eliminando su lixiviación), existe una variante denominada “Solidificación con cal y materiales puzolánicos”.

- **Agricultura:**

Enmienda: La cal se utiliza como enmienda para mejorar las características de los suelos agrícolas: acidez, porosidad y actividad biológica del suelo.

Fertilizante: Aporta el calcio que es un nutriente para las plantas.

Compost: Se emplea en la obtención de compost a partir de residuos agrarios, agroindustriales y urbanos.

Tratamientos fitosanitarios: Se utiliza en la preparación de los caldos que llevan cobre para los tratamientos que reciben las plantas con el objetivo de defenderlas de los ataques de hongos, como mildio de la vid, roña o moteado del peral y manzano, lepra del melocotonero, etc.

Biocida: Se puede utilizar como biocida cuyo fin es destruir, contrarrestar, neutralizar, impedir la acción o ejercer el control de otro tipo, sobre cualquier organismo nocivo por medios químicos o biológicos.

Alimentación animal: La cal se utiliza como reactivo, por su alta velocidad de reacción, para la elaboración de jabones cálcicos destinados a la fabricación de aditivos y derivados de pienso animal.

Además, la cal se utiliza en suelos ácidos (subiendo su pH y aportando calcio como nutriente), modificando la composición de las praderas, permitiendo que se desarrollen especies leguminosas que presentan mejor digestibilidad para el ganado y mayor contenido proteico. Esta operación en suelos ácidos permitirá que en su composición florística aparezcan una serie de especies, entre ellas las alfalfa, reconocida por la mayor parte de los ganaderos como la reina de las forrajeras.

2.5.2. Cal hidratada

La cal hidratada se emplea en:

- **Industria:**



Metalúrgica: En la producción de magnesio se pueden utilizar dos tipos de procesos de fabricación: proceso electrolítico o proceso de reducción térmica. En el proceso electrolítico se utiliza cal hidratada.

Química: En mezclas de pesticidas; en el proceso para la neutralización de ácido sobrante, en la industria petróleo; en la manufactura de aditivo para el petróleo crudo; en la industria petroquímica para la manufactura de aceite sólido; en la manufactura extracción de calcio; como relleno y como materia prima para la obtención de carbonato de calcio precipitado (CCP ó PCC).

- **Otras industrias:**

Industrias alimentarias:

- a) Industria azucarera (en concreto en el azúcar de caña)
 - b) Ostricultura
 - c) Piscicultura
 - d) Industria láctea
 - e) Fabricación de colas y gelatinas
 - f) Conservación de frutas y verduras: Para la eliminación del exceso de CO₂ en las cámaras de atmósfera controlada (AC) para la conservación de frutas y verduras (también flores)
 - g) Tratamiento del trigo y del maíz: Componente para la nixtamalización del maíz para producir tortillas.
 - h) Fabricación de la sal: Para librar una salmuera de carbonatos de calcio y magnesio en la manufactura de sal de mesa.
 - i) Para el procesamiento de agua para bebidas alcohólicas y carbonatadas
- Farmacopea
Cosmética
Industria papelera
Manufactura de discos de freno
Manufactura de ebonita
Material odontológico y dental: Material de tratamiento de los conductos radiculares
Endodoncia ó protección pulpar directa o indirecta en caso de restauraciones coronarias dentales [operatoria dental].

- **Construcción:**

Geotecnia: En estabilización de suelos para mejorar las propiedades de los suelos arcillosos y en mezclas bituminosas en caliente para aumentar su durabilidad.

Edificación: En morteros, enlados, pinturas (para la preparación de mezclas secas para pintura y decoración, y como pintura para muchas canchas de deportes como el fútbol y el tenis, estucos y prefabricados de cal (piedra artificial de cal y bloques de tierra comprimida).

- **Protección ambiental y Agricultura:** En estas áreas, tiene la misma utilidad que las cales viva.



2.5.3. Dolomía calcinada y sinterizada

Se utilizan en:

- **Industria:**

Siderúrgica: La dolomía calcinada se usa para mejorar la escorificación y para alargar la vida útil de los revestimientos refractarios de los hornos y cucharas.

Refractarios: En esta aplicación se suministra principalmente dolomía sinterizada que constituye una de las diversas materias primas utilizadas para la fabricación de ladrillos refractarios empleados en hornos de acerías, cementeras, etc. La dolomía sinterizada tiene una doble aplicación:

- Se emplea como materia prima para la fabricación de ladrillos refractarios básicos de alta densidad y con bajos contenidos en fundentes.
- Se utiliza para aumentar la vida útil de los revestimientos refractarios de los hornos.

Vidrio: La dolomía puede emplearse también en la fabricación de vidrio plano, donde el MgO actúa como estabilizante, mejorando la resistencia del vidrio al ataque de los gases y la humedad.

- **Protección del Medio Ambiente**

En el tratamiento de aguas residuales y de lodos.

- **Agricultura:**

Enmiendas: La dolomía se utiliza para mejorar las características de los suelos agrícolas: acidez, porosidad y actividad biológica del suelo.

Fertilizantes: La dolomía aporta calcio y magnesio que son nutrientes para las plantas.

Alimentación animal: La dolomía, en suelos ácidos, sube su pH y aporta calcio y magnesio como nutrientes, modificando la composición de las praderas, permitiendo que se desarrollen especies leguminosas que presentan mejor digestibilidad para el ganado y mayor contenido proteico. Esta operación en suelos ácidos permitirá que en su composición florística aparezcan una serie de especies, entre ellas las alfalfa, reconocida por la mayor parte de los ganaderos como la reina de las forrajeras. (Ancade).

3. Proceso de fabricación y transporte.

3.1. Extracción en canteras.

Aunque lo habitual en cualquier implantación es la colocación de las fábricas lo más cerca posible a la localización de la materia prima, en el caso de la cal no siempre ha sido así. Muchas veces era más determinante la cercanía del combustible que la de la materia prima, dado que ésta se transporta con un menor número de viajes, y por lo tanto con un menor esfuerzo.

Lo normal es extraer la materia prima a cielo abierto. Para ello se realizaban agujeros en las rocas, denominados barrenos, para lo cual se utilizaba la barrena, que se golpeaba con una maza. Con este último se abrían los llamados tiros, un agujero en el suelo por el que se introducía pólvora en el hueco, se ponía la mecha, se apretaba el explosivo y posteriormente se tapaba con papel y teja machacada.

También era habitual el arranque de piedras manualmente mediante el uso de picos.

El proceso de producción de este material era muy duro. Todo ello se realizaba a mano, gracias al uso de herramientas como el pico, el sacho, la barra, la leva y el barreno.

Una vez obtenidas las piedras había que transportarlas hasta el lugar donde se encontraba el horno. Para ello se utilizaba



Fig. 19. Trabajos en la cantera de Godella, "Les pedreres".

carros o simplemente se dejaban rodar por la ladera cuando la extracción estaba situada a alturas superiores a la localización del horno.

Actualmente las explotaciones de cal se realizan a cielo abierto, realizando la extracción mediante explosivos o máquinas excavadoras.

También es habitual el uso de desperdicios de canteras de piedra caliza y mármol. (Mileto y Vegas. 2008).

La forma de los hornos de cal es muy semejante a los hornos de yeso. Se trata de cilindros contruidos en mampostería de piedra en seco, normalmente aprovechando un desnivel existente para encajar el horno contra una ladera. En primer lugar se recogería el material de cocción de la cal, que estaba formado por grandes fajos de monte bajo, para que produjeran mucha llama y poca ceniza, y además contribuían a mantener limpios los montes de rastrojos para prevenir posibles incendios. Se debía calcular bien la leña necesaria para el horno porque existía el riesgo de quedarse a mitad la cocción y arruinar la hornada. Estos fajos se dejaban secar días e incluso meses a la intemperie.

En segundo lugar se limpiaba el horno de los restos de cal y ceniza de la hornada anterior, y se enlucían las paredes con una buena arcilla y agua. Este enlucido de arcilla permitía cerrar bien los poros y conservar el calor. Esta capa se cocía con la cal y se convertía en una especie de olla de cocción.

En tercer lugar, se extraía la piedra caliza apta para la fabricación y se transportaba al pie del horno, el cual se cargaba comenzando por la formación de una bóveda falsa, para dejar un espacio inferior para la combustión de la leña. Algunos hornos incorporan una repisa lateral perimetral como imposta para arrancar desde ahí la bóveda. Una vez cerrada la bóveda se carga desde arriba el resto de la piedra caliza.

Una vez cargado el hornada y con varios días apacibles de tiempo en perspectiva, comienza la calcinación encendiéndose el horno un día al amanecer para disponer de toda la jornada para controlar el fuego y llevar la cocción a su punto ideal. La calcinación duraba al menos tres días y dos noches, e incluso más tiempo. En las primeras horas, las piedras soltaban la humedad que contenían en su interior. Esta evaporación creaba una gran humareda. Con un forcón se empujaban los fajos de leña al interior del horno. La alimentación debía ser continua y uniforme. A medida que la temperatura aumentaba, las piedras se calcinaban y se volvían más blanquecinas. Tras unas horas, el agua que llevaban las piedras se había evaporado y el humo salía más negro. El fuego debía mantenerse al mismo nivel. El interior del horno debía alcanzar tras unas horas los 900- 1000 grados, ideales para la calcinación de la piedra.

El proceso se tornaba lento en ese momento. Se trataba de mantener el fuego en su nivel, alimentando el horno. Al anochecer se seguía echando fajos de ramillas en el horno. Cuando se acumulaba mucha brasa, se repartía la misma para aumentar la capacidad. Conforme se realizaba la combustión, se iban sacando las cenizas acumuladas para dejar más espacio a la leña. De la misma manera que con la cocción del yeso, en la calera se aprovechaba el calor del fuego para asar patatas, cebollas o carne, y realizar la comida en su entorno.

El viento en el caso de aparecer, retrasaba el ritmo normal de la cocción, ya que impedía el proceso. La lluvia copiosa también podía dificultarlo al enfriar el horno, mientras que la lluvia ligera podía evaporarse antes de llegar al interior del mismo. Tampoco era conveniente que hiciera ni mucho frío ni mucho calor. Si no corría prisa la cal, era necesario esperar al buen tiempo para que no hubiese problemas.



Fig. 20. Ciclo de la cal.

Otra fuente de información la extraemos del trabajo efectuado por Juan José Ros, donde al hablarnos de las fases de producción de los hornos de cal, se dice que "hasta hace unos años, el proceso se hacía de forma similar a como se venía realizando desde la antigüedad; los hornos solían ser de mampostería, alimentados por leña. Se iban colocando capas de caliza y leña hasta casi completar el volumen del horno. Los hornos estaban horadados para permitir la salida del humo" (Ros, 2011, 15).

La experiencia y algunas señales externas, como las piedras de la parte alta del horno al rojo vivo, indicaban que la calcinación había terminado. En ese punto, se tapaba la boca con piedras y barro para dejar la brasa dentro. Durante unos diez días, el horno permanecía casi cerrado, perdiendo el calor lentamente. Una señal adecuada de que la piedra estaba bien

calcinada era que la bóveda se hubiera hundido sola. Se desmontaba el horno y se sacaban las piedras, que pesaban mucho menos después de la cocción, hasta un 30-40% de su peso original.

Las piedras se recogían y se clasificaban según su grado de cocción, evitando que éstas estuvieran en contacto con la humedad del ambiente. En el interior del horno algunas piedras que habían permanecido lejos del fuego quedaban sin calcinar del todo. La cal producida era cal viva que podía quemar en contacto con la piel. Esta cal se extendía en balsas durante varios meses o años para emplearla en la construcción de edificios (Mileto y Vegas. 2008).

Se llamaba "Calera" como preferente para designar las canteras de piedra, dándose también este nombre al propio horno de la cal.

3.2. Trituración previa.

Previamente a la fabricación industrializada, antes de proceder a la calcinación había que realizar una trituración previa. Dado que la transmisión del calor es función, entre otros, de la superficie de contacto, la piedra caliza que se introduce en el horno debía tener un tamaño adecuado.

Si el tamaño es excesivamente grande se necesitaría mayor cantidad de energía que supone un gasto elevado de combustible, corriendo además el riesgo de no obtener una calcinación perfecta del núcleo de las piedras y obligando a que la cocción dure excesivo tiempo. Por el contrario, si el tamaño es muy pequeño, la piedra caliza no dejara espacio suficiente para que se pueda producir un tiro adecuado y consiguientemente se puede formar una abundancia de gases en el interior del horno, originándose la reversión de la reacción química, no obteniéndose el producto deseado.

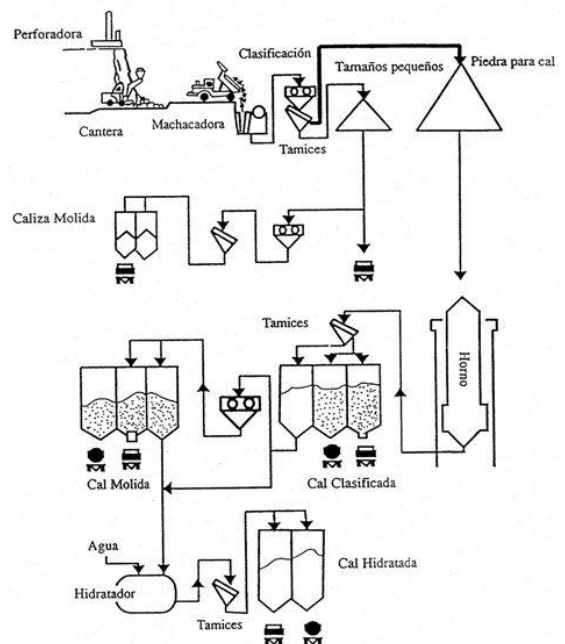


Fig. 21. Proceso de fabricación de la cal.

Por todo esto, una vez obtenida la piedra por cualquier de los procedimientos descritos, habría que proceder a reducirla de tamaño, operación llamada jaqueo. Esto se realizaba manualmente o con la ayuda de caballerías a las cuales se las hacía pasar repetidas veces sobre las piedras extendidas en el suelo.

En la fabricación industrializada actual, esta trituración se realiza mediante machacadoras de mandíbulas en donde se reduce la piedra hasta un tamaño comprendido entre 80 y 100 mm. Esto es lo que se denomina machaqueo primero.

Posteriormente, el material machacado pasa a una instalación de clasificación donde se clasifican en tamaño en función del tipo de horno empleado.



Para los hornos verticales, el tamaño de alimentación de la piedra caliza debe de estar comprendido entre 80 y 20 mm, y en los últimos tipos de hornos actuales, para un tamaño entre 30 y 10 mm. En el caso de hornos horizontales los tamaños serán entre 40 y 5 mm.

3.3. Calcinación.

En los sistemas tradicionales, uno de los problemas de la calcinación era la obtención del combustible.

Este normalmente era vegetal o mineral. Como combustible vegetal se utilizaba el brezo, la jara, romeros, etc. Para cortarlo usaban el calabozo. El combustible tenía que estar seco y se transportaba con ayuda de caballerías o bien cargando los fardos a la espalda, protegiéndose con sacos de esparto. Esta limpieza de maleza para la obtención del combustible, solía ser aprovechada para el pasto del ganado.

A modo de curiosidad, mencionare que en épocas no muy remotas, la obtención del fuego no resultaba tan sencilla y cómoda como en la actualidad. Y la obtención del mismo requería varias operaciones no muy fáciles de realizar: en el juego de la yesca, el pedernal y el eslabón se encerraba el secreto de su preparación. Debido a estas dificultades, se procuraba conservar de día y de noche el fuego en cada hogar o cocina doméstica de forma continuada; en caso de necesidad se podía acudir a la casa del vecino en busca de un «tizón», antes de iniciar el duro trabajo de sacar chispas del pedernal golpeándolo con el eslabón.

“El proceso consiste básicamente en quemar la piedra caliza hasta transformarla en cal viva: así, las materias primas utilizadas son: piedras calizas y combustible. El primer trabajo es recoger los fajos de arbustos que generalmente son utilizados como combustible, normalmente sarmientos, brezo, cepas, jara, ramas de olivo y todo tipo de arbustos que se encuentra en abundancia, dependiendo de la zona. Este tipo de combustible, además de ser frecuente en nuestros campos, es muy apropiado para su uso, pues produce mucha llama y muy poca ceniza. Además de su uso como combustible, esta labor tenía la función de limpiar de matorral los campos y pinares, evitando en gran medida el inicio y la propagación de los fuegos estivales. Estos arbustos deben ser cortados y hacinados durante un par de meses antes para que se sequen totalmente. La siguiente tarea que se debe llevar a cabo es la limpieza del horno de los residuos que hayan quedado de la cocción anterior, quitando los restos de piedra y cenizas. Si es necesario, se recubren las paredes de arcilla en aquellos lugares donde ésta haya desaparecido, y a esta labor se la llama emburado. Las paredes deben estar totalmente cubiertas de arcilla, que una vez seca y con el fuego que se obtiene durante la producción de la cal se cuece, formando una capa que evita las pérdidas de calor del horno. (Sanz y Perosillo, 2005, 63).



Fig. 22. Majada de roca caliza en el proceso de llenado del horno. Museo cal de Morón.

Actualmente los combustibles empleados fundamentalmente son el gas natural, el fuel oíl y el coque.

En cuanto a los tipos de horno se distinguen:

Horno Rudimentario

Consistían básicamente en un montón de capas alternadas de piedra caliza y carbón, cuya superficie exterior se recubría con barro o tierra. En el centro del montón se forma con piedras gruesas un hogar, abierto por un costado, donde se quema la leña.

Aunque el proceso era muy sencillo, la calidad de la cal obtenida no era muy buena. Por ello este horno prácticamente no se utilizaba.

Horno de cuba

En general por horno de cuba se entiende indistintamente tanto la pared circular de piedra o tierra que sirve como estructura fija, como el conjunto formado por dicha pared con piedra caliza preparada en su interior. A veces la pared de piedra era sustituida directamente por la excavación en el lugar donde se iba a realizar el horno, aprovechando esas paredes de la excavación directamente como las paredes de horno, utilizando un ribazo o alto del terreno. Si estas paredes eran muy porosas se procedía a darles de barro para que al cocerse con el fuego del horno hiciera el mismo efecto que una olla, conservando mejor y durante más tiempo el calor.

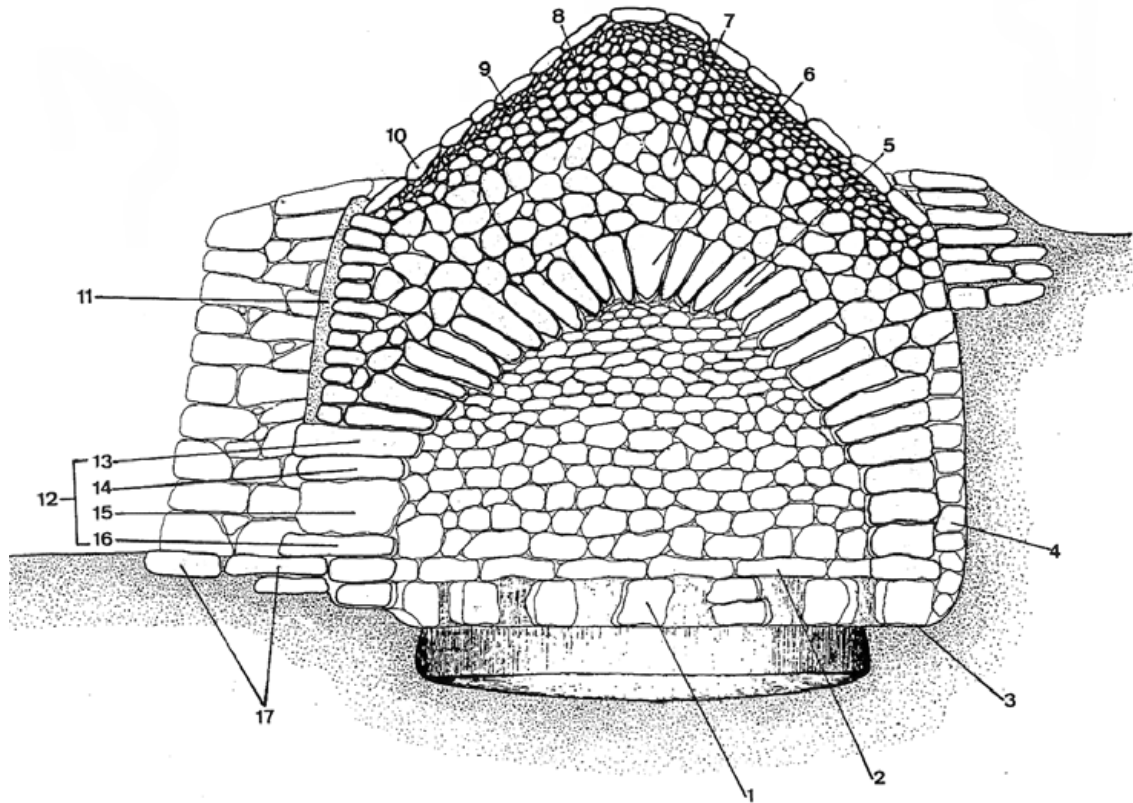


Fig. 23. Sección de un horno de cal discontinuo o intermitente en su variante de horno efímero levantado en el campo. 1- piló, 2- travesera, 3- relleixó, 4- conducte de tiratge, 5- lloses de la volta, 6- clau de la volta, 7- pedres de cabàs, 8- mitjançer gros, 9- reble, 10- rajoles refractaris, 11- entrepit, 12- boca, 13- pedres de l'arc, 14- llinda, 15- galtera, 16- sotana, 17- lloses de l'accés.

"En lo referente a la estructura del horno de cal, uno de los elementos más importantes es la caldera o fogón. Éste tiene que tener una capacidad determinada para admitir el suficiente rescoldo para que el horno cueza bien. Para su ventilación dispone de un conducto que sale desde debajo de la puerta y conduce al exterior lejos de esta. Otro elemento interesante son las alacenas: no está directamente implicada en el funcionamiento del horno, pero sirve para poner la radio, el tabaco, el vino dulce,... que los hornos tenían. Se trata de un casetón en la pared exterior del horno, que aparece por lo general a la derecha de la puerta. Las piedras con las que se construye el horno son de material refractario, utilizando arcilla como mortero y aislante, ya que se alcanzan temperaturas de 2500 a 3500 ° C con un tiempo de 55 o 60 horas" (Lijó y Monge, 2000, 155).



Fig. 24. Fase final de calcinación final de horno de cal.

El horno, como estructura fija, consta de una pared circular con un diámetro comprendido entre 1 y 1.70 m, en su parte superior. Su forma es la de un cono truncado de altura entre 1.5 y 3.0 m. En su base tiene una pequeña puerta rectangular.

Se construían enterrados en un montículo de tierra, dejando al descubierto solo parte frontal en la que estaba situada la puerta, franqueada por unas pequeñas paredes que sujetaban la tierra a los lados haciendo abrigo, de forma que no pudiese entrar demasiado aire. La tierra que rodeaba el horno tenía la función de mantener el calor durante la cochura.

“El horno se rellenaba hasta colmatarlo, sobresaliendo por arriba más de medio metro. Los caleros debían de asegurar muy bien esta bóveda ya que si cedía durante la cocción todo el trabajo sería en balde. Una vez encendido el horno debía de ir ganando calorías poco a poco hasta las doce horas, es aproximadamente en este momento cuando la experiencia y la resistencia física del calero jugaban un importante papel.

La temperatura de la caldera no podía descender, teniendo que arrojar a su interior de manera continuada durante las próximas veinticuatro horas más combustible. Día y noche se iban turnando los caleros” (Quintana, 2005, 99).

Como antes se ha dicho, la morfología apenas varía en función del tipo de cal. Sí encontramos, sin embargo, un tipo especial de horno, “el Calerín”, un tipo de horno más pequeño, que utiliza leña de cepa, y del que es difícil encontrar en pie algún ejemplar.

En la parte inferior del horno, a un metro del suelo, por su parte interna, la pared tenía un saliente en todo su contorno, a modo de repisa, denominada aparador. A la zona del horno entre el suelo y la repisa se la denominaba caldera.

Se introducía la leña en la caldera por la puerta, formando un entramado para que apoyara la piedra. El encañador formaba con bloques de piedra caliza una bóveda con la piedra a cocer. La primera hilada se asentaba sobre la repisa de la caldera y sobre la leña. A estas primeras piedras se las denomina encañaderas y en las tres o cuatro vueltas de la base son pequeñas, después cada vez más grandes. Van apoyadas por detrás por los calzos (en forma de cuña). Entre las encañaderas, para sujetar unas con otras, se ponían los trasquiles, que son piedras pequeñas. La disposición de las encañaderas con los trasquiles y los calzos, debía hacerse dejando resquicios por los que el fuego pudiese respirar y ascender.

Por detrás de la puerta del horno se colocaban dos piedras alargadas de pie, apoyadas una contra la otra, de forma que el hueco de la puerta quedase libre. Se llamaban caminales y se sujetaban por detrás con los sobrecaminales.

Al ir subiendo la bóveda, se colocaba dentro del horno cuando su altura así lo requería un andamio para que el encañador pudiera seguir colocando las piedras.

Terminada la bóveda se cerraba con una piedra grande a modo de cuña y se colocaban encima el resto de las piedras que cada vez eran más grandes (hasta 10-12 KG).

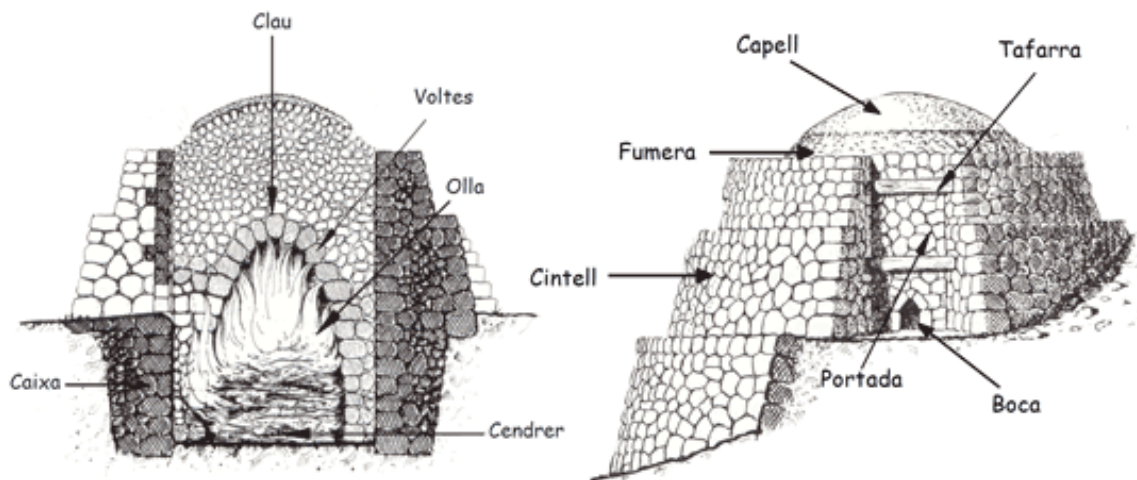


Fig. 25. Partes del horno de cuba.

El tamaño de los bloques, según se necesitasen se preparaban al lado del horno con una marra (maza de hierro). Cuando el horno estaba lleno hasta arriba se remataba con el reblo, montón de piedras pequeñas cuyo fin era guardar el calor. Estas piedras aunque no se convertían totalmente en cal, proporcionaban por lo menos un 50% de su peso.

Otro horno más pequeño u horno de capas, que se podía preparar entre dos personas y no necesitaba de encañador consistía en colocar capas alternadas de piedra con capas de brezo, siendo la primera y última de las piedras calizas.

Se encendía el fuego procurando que al principio no fuese muy fuerte, pues así las piedras que forman la bóveda comienzan a sudar y tienden a unirse con otras formando una costra. En este momento el fuego ya puede tomar fuerza pues no hay peligro de que se hunda la hornada, lo que implicaría vaciar el horno y empezar de nuevo.

El fuego tenía que ser uniforme ya que si no la piedra no se cocería adecuadamente.

La leña se introducía por la puerta con horcas de madera. Para remover los rescoldos y restos de leña ardiendo, se utilizaban los tusingones, sarrascaores o punchones, que eran varas de 4-5 m de largo, de roble verde para que no pudiese arder. A esta operación se la llamaba sobrasar.

Por la acción del calor las piedras de la pared del horno, cuando eran de cuarcita, soltaban el moco, es decir, se fundían y unían unas con otra.

Si la caliza era algo pizarrosa, saltaba al calentarse. Esto era peligroso pues podía producir el derrumbe de la hornada.

Al principio el humo era oscuro e iba blanqueando a medida que la piedra se cocía. Cuando se vuelve blanco, no daña a los ojos y se puede respirar sin que moleste. Esto indica que la cocción ha terminado. El humo lo respiraban las personas con afecciones respiratorias.

Otro indicativo del fin de la cocción es el gorro blanco, es decir, cuando él reblo que remata el humo aparece blanco (calcinado). Durante la cochura era necesario montar guardias por la noche para mantener vivo el fuego. Este proceso de cocción se prolongaba al menos durante tres días.



Fig. 26. Colocación de las piedras calizas, en el proceso de llenado del horno.

La lluvia no suponía problemas ya que el agua se evaporaba con el calor desprendido antes de llegar al interior del horno. Sin embargo el viento si influía, tanto la duración como la intensidad. Si el aire entraba por la parte superior y salía por la inferior, revocaba el fuego hacia el exterior, produciendo una desigual cocción entre el material y perdiendo calorías.

"Para poder construir un horno de cal, este exigía tres requisitos básicos (una forma cerrada, un espacio que estuviera cercano a un entorno de maleza para poder llevar cabo el proceso de combustión y tener a disposición rocas calizas). Este horno se construía en medio de ese espacio, para de esta forma reducir distancias. Por ello, en cuanto a la topografía, sino había más remedio, el horno se instalaba en una zona plana, a pesar de que los *calciners* preferían un barranco o un terreno con pendiente con tal de protegerse del viento de NW, y de esta forma tener más facilidad a la hora de querer construir el horno y poder trabajar a un nivel superior o inferior simultáneamente, sin dificultades." (COATB, 1987, 6).

Igual que en las carboneras, si dentro del horno quedaba algún trozo de metal o caía accidentalmente, el fuego no cocida la cal quedando totalmente cruda y obteniéndose una muy mala calidad de materia.

Cuando toda la hornada estaba cocida se cerraba la puerta, no permitiendo así que entrase aire frío, lo que podría ocasionar la fractura de las paredes y el derrumbe. Se dejaba enfriar

durante dos o tres días en los que el horno quedaba solo sin vigilancia. (I. Martínez Rossy y otros, 1986).

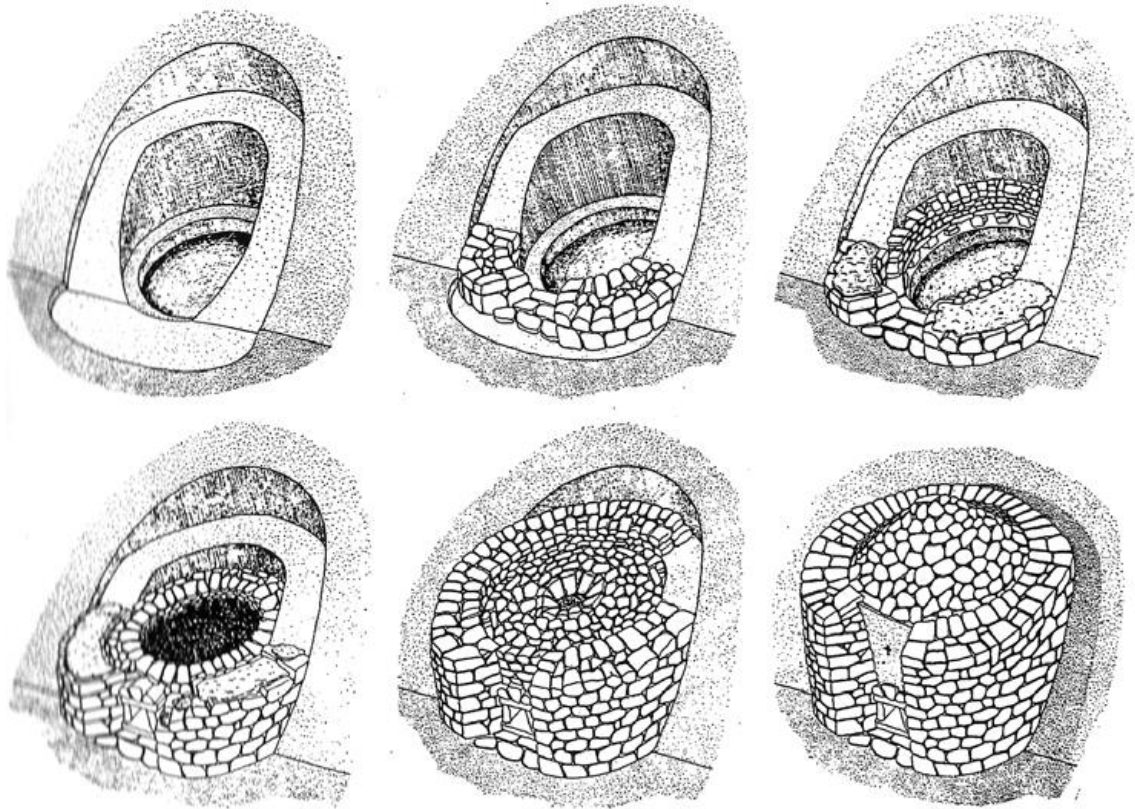


Fig. 27. Fases de la construcción y primera carga de un horno de cal efímero.

A modo de definiciones, nombraremos las siguientes palabras en valenciano:

"Arrimaparet": Proceso de preparar las piedras que conformarían la bóveda, sujetando el resto de la carga y dejando libre el receptáculo interior que tenía que alojar la combustión.

"Calços": La piedra menor con la que se llenaban los huecos que dejaban las piedras más grandes en el interior del horno.

"Caramull, còp o capucha": Una vez el horno estaba lleno de piedra, ordenada meticulosamente, hasta el nivel superior de la pared circundante, se completaba la carga al estilo de una cúpula denominada también "còp" o "capucha".

"Clau de volta": Última piedra que cierra la falsa cúpula.

"Pedres de cabàs": las piedras menudas, las cuales cabían varias en un capazo.

"Rebre": Piedras más pequeñas utilizadas, se colocaban encima de les pedres de cabàs, de diámetro 50mm aproximadamente.

"Boca": Apertura que se dejaba en la parte inferior del horno para introducir el material de combustible.

Horno rotativo u horizontal

Consisten básicamente en cilindros de acero apoyados en anillos también de acero que ruedan sobre rodillos del mismo material. Las longitudes de los hornos varían de 30 a 100 m y sus diámetros entre 2 y 5 m. todo el tubo está revestido de ladrillo refractario. La caliza triturada a



Fig. 28. Horno horizontal.

tamaño entre 40 y 5 mm es introducida por la parte superior del horno y en un tiempo que depende de las medidas del mismo, va saliendo ya cocido por la parte inferior.

Estos hornos, aunque exigen un consumo calorífico mayor que los verticales, permiten producciones superiores, hasta 1.000 T/día, y tienen la ventaja de aprovechar granulometrías con tamaños más finos.

Actualmente se fabrica por este sistema el 10% aproximadamente del óxido de cal.

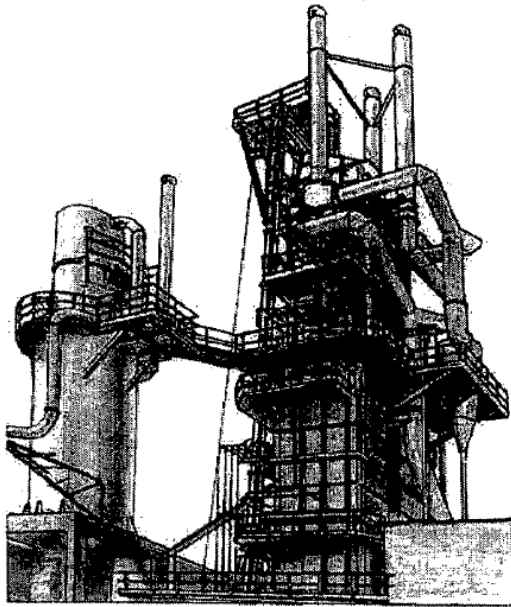
Horno vertical

Constituido generalmente por un cilindro de acero revestido, pudiendo llevar varios quemadores periféricos que inyectan en el horno gases calientes procedentes de la combustión de combustibles generalmente líquidos o gaseosos. Actualmente el mecanismo de carga es automático, situándose cerca de las machacadoras y transportándose la piedra mediante cintas transportadoras a la parte superior del horno, llenando en su base unas toberas para la inyección del aire necesario para la combustión.

El material obtenido por este procedimiento es de una gran calidad, siendo este sistema hoy en día el habitual en la fabricación de la cal, aproximadamente el 90% de la producción.

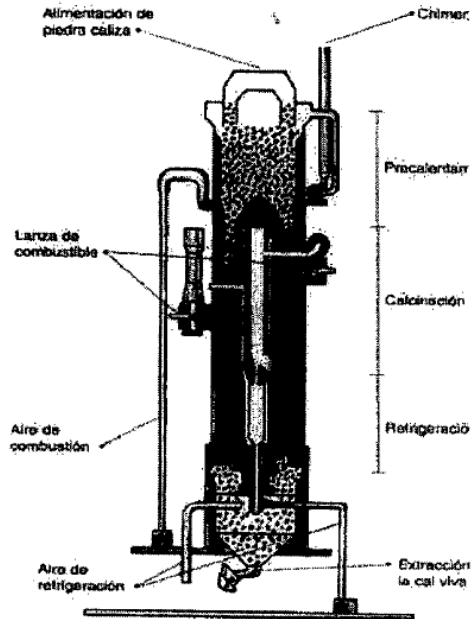
El proceso de fabricación es energéticamente intensivo y el combustible más idóneo es el gas natural por su poder calorífico y ausencia de azufre.

Después de la calcinación la cal se enfría pasando de 1000°C a 20°C, clasificándose por tamaños, en algunos casos se muelen, incluso se microniza y se almacena en silos.



1. Instalaciones de un horno vertical.

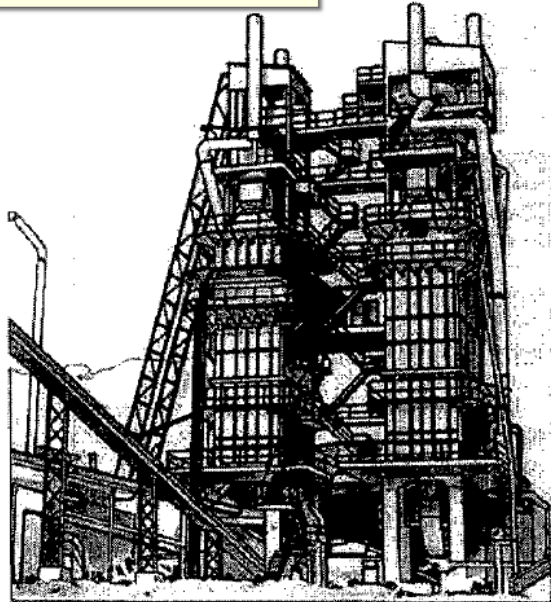
Fig.29. Dibujo del horno vertical.



2. Esquema de un horno vertical según Jacques Claude.

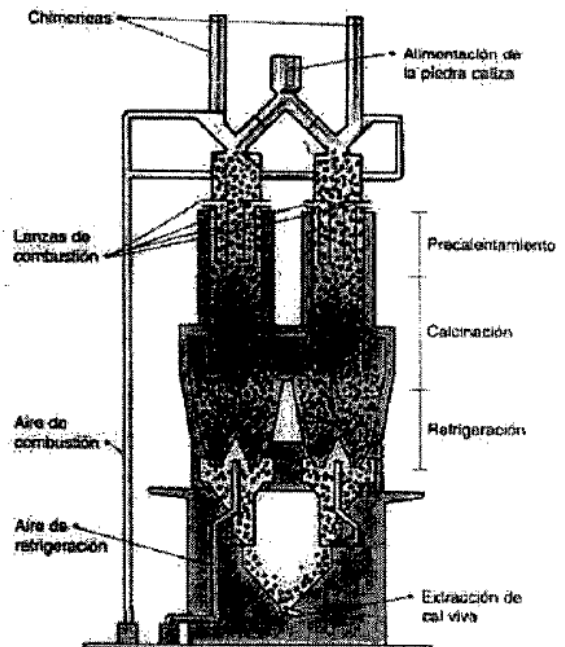
Con el mismo esquema de funcionamiento, pero con mayor producción y ahorro energético, se comportan **los hornos de corrientes paralelas**, que consisten en dos cubas verticales acopiadas que trabajan alternativamente.

de página: vaya a páginas concretas mediante ras



3. Hornos de corrientes paralelas.

Fig. 30. Dibujo horno corrientes paralelas.



4. Interior de los hornos de corrientes paralelas según Jacques Claude.

3.4. Apagado de la cal.

Son muchas las curiosidades que rodean el mundo de la cal, pero sobre el apagado de esta, podemos decir, que hasta hace poco más de un siglo, o siglo y medio, dependiendo de la zona de España, cuando alguien tenía un hijo se preparaba una balsa de cal para cuando este tuviese que emprender la construcción de su casa.

Una vez obtenida la cal viva CaO , se procede a su apagado mediante la adición de agua. El nuevo producto que se obtiene recibe el nombre de cal apagada, siendo éste un hidróxido cálcico, según la reacción. Este proceso se produce un gran aumento de volumen de la cal acompañado de un importante desprendimiento de calor.

Si tenemos en cuenta los pesos atómicos del calcio, 40, el oxígeno, 16 y el hidrógeno, 1, se deduce que por 56 partes de cal y 18 de agua se obtiene 74 partes de cal apagada en peso. En función del tipo de cal que queramos obtener, esto es, en polvo o en pasta, iremos añadiendo más o menos agua de la estrictamente teórica.

La velocidad con la que se vaya hidratando la cal va a depender de una serie de factores como son:

- Las condiciones físicas de la cal viva, ya que a menor tamaño y mayor porosidad, se va a producir la hidratación de forma más rápida.
- De la composición química de la cal viva: a mayor pureza mayor velocidad de hidratación y a mayor contenido de magnesio más lenta será dicha hidratación.
- También influirá la temperatura a la que se ha calcinado la piedra caliza.

Algunas empresas dedicadas a fabricar cal apagada en pasta para usos de revocos, traen la cal viva procedente de la cocción en hornos rudimentarios ya que según su opinión, la cal que se obtenía procedente de ella no podía ser sustituida por la comercializada en grandes fábricas.

Es importante también la duración del apagado. Los textos clásicos recomendaban duraciones de tres años para el apagado de la cal. Parece ser, aunque no se sabe con exactitud el funcionamiento científico, que la duración influye en la estructura cristalina del hidróxido resultante, dando cales de mayor untuosidad y plasticidad cuanto mayor duración tenga el apagado.



Fig. 31. Apagado de la cal de modo en pequeñas cantidades.

Varios son los sistemas para el apagado:

Apagado al aire

La cal viva se expone a la acción del aire y por efecto de la humedad de éste, se va apagando lentamente, reduciéndose a polvo por efecto del aumento de volumen. Dada la lentitud del proceso y que esta además continuamente adsorbiendo el CO_2 de ambiente y produciendo por lo tanto la recarbonatación, su empleo ha quedado reducido al uso de una mera



conservación en el caso de estocaje, disponiendo entonces la cal en grandes montones de tal manera que se forma una capa superficial de carbonato cálcico que protege el resto, conservándolo. En el momento de uso de la cal, se procede a eliminar esa capa de protección.

Apagado por aspersión

Existen dos formas fundamentales de realizar el apagado de la cal mediante aspersión, como son:

- 1) Se dispone la Cal extendida en el suelo sobre un piso suficientemente limpio y se riega con agua en cantidad del orden del 25 al 40% del peso de la cal. Cuando la cal empieza el desmoronamiento de los terrones, es práctico recubrirla con arena para que su apagado continúe lentamente y alejada del contacto con el aire, pudiéndose conservar así durante algún tiempo.
- 2) Se dispone la cal viva en capas superpuestas de poco espesor y se humedecen con abundante agua. Se riega la primera capa abundantemente y se reduce a polvo por sí misma por efecto de la hidratación, desprendiéndose suficiente calor como para evaporar en forma de vapor de agua, la cantidad sobrante, que empezará a hidratar la capa superior de cal viva, la cual se humedecerá en menor cantidad y así sucesivamente hasta formar un montón suficientemente húmedo para conseguir un efecto apagado de toda la cal y además reducir a polvo el producto debido al aumento de volumen experimental. Si se va a usar rápidamente puede envasarse con o sin cribado previo. Si se va a almacenar, suele cubrirse con una lona o arena húmeda hasta el momento de su utilización.

Apagado en bolsas o por fusión

También llamado por inmersión, hay varias formas de realizarlo en función del volumen de cal que queramos apagar:

- 1) La cal en terrones se coloca dentro de cestos de minbre y se les sumerge en agua el tiempo justo para que dejen de aparecer burbujas de aire. La cal empapada de agua se amontona en pilas y se recubre con una capa de arena de unos 20 cm para conservar el calor que se produce en el apagado, siendo aconsejable que la cal permanezca al menos dos días recubierta con esa capa. Se pasa después por un tamiz y queda lista para su uso.
- 2) Se realiza un estanque o excavación en el terreno, se vierte la cal viva y se le añade agua. Este sistema también, se utiliza cuando se apaga la cal en obra antes de su utilización, siendo conveniente dejarla reposar un mínimo de ocho días. Si se produce una adición insuficiente de agua o un batido inadecuado, provocando una elevación grande de temperatura, se origina el fenómeno de sobrecocción. La inundación es debida a una excesiva cantidad de agua que retarda la hidratación por mantener la temperatura demasiado baja.

- 3) El apagado recomendado por los revocadores consiste en verter la cal viva en un recipiente de forma cilíndrica, realizado de fábrica y enfoscado. Se le añade agua del orden de dos a tres veces el volumen de la cal y se espera hasta que no salga ninguna burbuja de aire. Este proceso suele alargarse durante todo el día. Posteriormente se abre el grifo de vaciado y poniendo previamente un tamiz, pasa la cal apagada a una fosa que ocupa la parte inferior de esta balsa. Así mantenida, protegida del CO₂ de la atmósfera se mantiene durante un periodo que ellos recomiendan de dos años. Esta teoría tan clásica del largo periodo de



Fig. 32. Apagado de cal.

apagado para la cal en pasta, para uso de revocos, viene ya de antiguo dado que Vitubio recomendaba ese apagado durante un mínimo de seis meses. No se sabe con exactitud a que se debe esa diferencia que tanto preconizan los revocadores referente a larga duración del apagado. En principio se cree que puede ser debida a un cambio en la estructura cristalina de la cal.

Se dice que en la antigüedad, cuando se comenzaba la construcción de algún monumento (catedrales, palacios, etc), lo primero se preparaban las balsas de cal, ya que era el último elemento que se usaba en grandes cantidades y como la construcción era muy lenta, en algunos casos duraba más de un siglo, la cal iba madurando para cuando fuera necesaria.

Extintor "TANK"

Fue construido por M. Ch. Candlot. Permite el apagado de las cales tanto grasas como hidráulicas. Está basado en el principio de que para obtener un buen apagado en necesario:

- Mojar la cal de tal manera que todos los trozos reciban la misma cantidad de agua.
- Mantener la cal humedecida en un medio cerrado para evitar la pérdida de calor.

El extintor automático Tank se caracteriza por una tolva giratoria suspendida que recibe por la parte superior al mismo tiempo el agua y la cal.

Apagado en hidratadores mecánicos

Es el procedimiento actual en fábricas de producción de cal apagada. Se hace pasar la cal viva, previamente molida, por una cámara en donde están dispuestos los difusores de agua, lo que permite controlar perfectamente la cantidad de agua que se utiliza en el apagado.

El hidrato seco que se obtiene es muy fino, con un tamaño de partícula del orden de la micra.



Apagado en autoclave

El autoclave es un aparato consistente en un recipiente metálico de gruesas paredes y una tapa con gran espesor cogida por tuercas para soportar la enorme presión que se va a producir en su interior. Una vez cerrado el autoclave, con la cal viva dentro, se inyecta vapor de agua a presión en su interior, produciendo una hidratación rápida y perfectamente controlada, obteniéndose una cal apagada de gran calidad.

Este sistema utilizado fundamentalmente en Norteamérica es aconsejable sobre todo para el apagado de las cales dolomíticas, cales con más de un 5% de magnesia, obteniéndose un apagado total y en tiempo reducido, presentando la cal así apagada una mayor plasticidad, lo que facilita su extendido con la llana para el uso en enlucidos y revocos.

3.5. Almacenaje y expedición de la cal.

La cal viva debe almacenarse durante poco tiempo ya que se hidrata con facilidad y se puede apagar al aire. Tanto al almacenaje como la expedición de la cal viva se hace en recipientes herméticos, como tipo bidones o sacos plastificados. Se puede suministrar en terrones de 20 a 120 mm, tal como se presenta a la salida del horno tras una posterior clasificación por granulometría mediante cribado, o molienda al tamaño que se desee. Para trabajos de revoco, como se ha señalado anteriormente, se prefiere el suministro en terrones para proceder posteriormente a su apagado en balsa.

La cal hidratada se suministra en polvo o pasta en función de la cantidad de agua que se haya utilizado en su apagado ya que si es la justa, por el aumento de volumen que se produce en la hidratación se reduce a polvo, y si se le añade más agua de la necesaria, se forma pasta.

La expedición y cuidados de la cal apagada son los mismos que los de la cal viva, ya que por acción del dióxido de carbono del aire puede recarbonatarse fácilmente.

Aunque se ha mencionado anteriormente que ya no se fabrica cal hidráulica en España, si voy a hacer una breve mención dada la importancia que ha tenido en tiempos anteriores.

La cal hidráulica había que apagarla con la cantidad justa de agua, presentándose solamente en polvo, ya que si se añade agua en exceso, al ser hidráulica, fraguaba. Es lo que se conoce por apagado selectivo de la cal.

A veces se la sometía a la operación del cernido después del apagado. La cal que pasa por el tamiz recibe el nombre de flor de cal, y el residuo que quedaba formado fundamentalmente por granos sobrecocidos, se le denominaba grappiers, cuyas características hidráulicas y mecánicas son mejores que los de la cal hidráulica, pero debido a su forma de elaboración y como subproducto que es, no hay fiabilidad en cuanto a la regularidad de sus características. (García/Conesa, Oriol).

3.6. Transporte y distribución.



Fig. 33. Acarreo de piedra caliza de la cantera en carro. (1900).

El transporte con carro de la cal hasta los pueblos donde por las características geográficas no se producía, era un trabajo recio y difícil.

El oficio de carretero necesitaba de una gran pericia para sortear las dificultades del camino y además considerando los carros de la época bien cargado para aprovechar el viaje.

Se transportaba desde las canteras hasta los pueblos donde pequeños distribuidores o comerciantes lo vendían según los acuerdos pactados.

El transporte en carros también era necesario en el proceso de fabricación, donde la piedra obtenida, se transportaba en carros arrastrados por bueyes. Cuando el carro tenía difícil el paso porque ya se encontraba en zona de monte, el transporte cambiaba, y terminaba de realizarse por medio de burros, que llevaban sobre su grupa unas grandes alforjas para este menester.

Cuando el horno estaba ya cargado de piedra caliza llegaba la tarea siguiente, que consistía en acercar hasta el horno la leña adecuada para poner la cocción en marcha, para ello, los caleros se servían otra vez de los burros para el transporte de la misma.

A continuación muestro alguna postal de un álbum de postales viejas publicado en los años '70 por el insigne periodista y escritor mallorquín Luis Ripoll, gran conocedor de la historia, extraigo las postales de los tipos de transporte que se utilizaban en aquellos años para el transporte y distribución de la cal y otras mercancías en distancias más bien cortas:

"CARRO DE PAREI".- Los carros de parei, eran -en los días de esta postal de 1870- los vehículos utilizados por los campesinos en sus labores del campo. Entonces, muy numerosos, se les veía por todos los caminos y carreteras. Cuarenta años antes sus ruedas no tenían radios, sino que eran completamente de madera. Estaba tirado por dos mulas, de ahí su denominación de parei.

En los días de fiesta, para viajar, se cubrían con un lienzo, y si se trataba de días de gran fiesta o en ocasión de visitas sonadas, su techo lo formaba la vånava, que es de ver en el dibujo, adornada con motivos lineales, cenefas y estrellas multicoloreados.

Por entonces se estaban perdiendo ya esas hermosas vånaves de fondo casi siempre amarillento o pajizo, y bordados, muy decorativos, de colores rojo, amarillo y azul celeste.



Fig. 34. "Carro de parei".

"GALERA".- El Archiduque Luis Salvador de Austria que las conoció en los caminos mallorquines, así las describía...

"De una construcción semejante a las galeretes son las galeras, pesados carricoches que utilizan los propietarios para transportar los materiales de construcción, los frutos de sus fincas y para trasladar a ella a sus criados y aun alguna vez para el viaje de los mismos señores. Van siempre pintadas de un color gris ceniza y su toldo, de lona blanca, es semejante al empleado en los carros"



Fig. 35. "Galera".

Con la suspensión muy mala, solamente un único resorte de ballestas. Dado el estado de los caminos de entonces, debía ser un festival de saltos y baches.

En cuanto al ferrocarril, su uso para el transporte de la cal no era muy común ya que este material se extraía de muchas zonas repartidas por toda la geografía. Simplemente se utilizaba para abastecer la gran demanda en época vigorosa de las grandes ciudades las cuales no tenían suficiente con los recursos de la zona.



Fig. 36. Primer camión que tuvieron los hermanos Granel. Cantera de Godella.



4. Ensayos.

Es conocida desde época romana el uso y empleo de morteros de Cal como revestimiento y la variabilidad que existe en la actualidad en dosificaciones y en el uso de morteros con otras adiciones que en muchos casos perjudican el ciclo normal de transpiración de las obras de fábrica antiguas, porque no se considera las características en cuanto a la porosidad y su comportamiento hídrico. El estudio de los procesos de deterioro y alteración, que con frecuencia se producen en los morteros de revestimiento en estas edificaciones antiguas se deben a diferentes causas, que abarcan desde las propiedades intrínsecas del material a la mala elección de sus componentes, que en el caso de las obras de restauración arquitectónica se hacen más latentes, como resultado de la incidencia de diversos fenómenos relacionados con la porosidad y con el empleo de materiales inadecuados y no compatibles con los originales en las obras de fábrica a recubrir. Por lo tanto es necesario establecer una línea de ensayos y evaluaciones de morteros, desde el punto de vista del diagnóstico, de acuerdo con la Normativa del Comité Internacional de la RILEM.

En el Symposium de Roma de 1981 se realizó un primer intento para establecer las características básicas que deben reunir los morteros de restauración y que son las siguientes: fácil trabajabilidad, fraguado rápido en ambientes tanto secos como húmedos, retracción lenta durante el fraguado, características mecánicas, térmicas y porosidad similar a las del material junto al que se colocan (piedra, ladrillo,...) así como un contenido en sales solubles lo más bajo posible.

Todos estos aspectos se relacionan con la importancia de la porosidad y la accesibilidad del agua con los procesos de alteración y durabilidad de los materiales de construcción, problema que afecta tanto a la arquitectura histórica como a la moderna. Y es todavía más destacable en los morteros como materiales compuestos en los que su calidad depende del mantenimiento en servicio de sus características de adherencia entre el conglomerante y el agregado.

Estas características son gravemente alternadas por acción del agua, especialmente si transporta sales solubles y la no adecuación de las dosificaciones de los distintos tipos de morteros empleados hoy en día, que en muchos casos limitan la transpirabilidad de los muros o paredes, y que se hace mucho más acentuado en el caso de obras de restauración arquitectónica.

En estos casos se tienen en cuenta los morteros de revestimientos y las causas son una serie de circunstancias que han provocado su deterioro que pueden ser intrínsecas al material por una mala elección de sus componentes, sumado a otras causas extremas y que tienen relación con el agua y las sales.

Por todo ello es importante estudiar diferentes dosificaciones de morteros para la restauración arquitectónica que incluyan desde los tradicionales de Cal Aérea e Hidráulica hasta otras con Zeolitas naturales considerando en este caso la actividad puzolánica e incluso con algún tipo de aditivo de tipo porógeno, para su mejor reacción ante los agentes agresivos y la adecuación de las especificaciones de compatibilidad con los materiales originales.

Es por ello que en dichos ensayos a practicar habrá que hacer especial hincapié en las propiedades hídricas, tales como: absorción al agua a baja presión, absorción por gotas, succión capilar, conductividad al vapor de agua y su curva de evaporación. Esto permite hacer



comparaciones con situaciones reales ya que el agua penetra por los poros sin presión y también por succión desde el terreno.

Con los resultados obtenidos podemos definir las características de las diferentes dosificaciones de morteros y su comportamiento hídrico, para al final elegir el más adecuado para el empleo en cada circunstancia.

Las propiedades de los morteros resultan determinantes para averiguar si éstos se adecúan a las exigencias o usos que se les vayan a dar. Por ese motivo, se realizan ensayos para su caracterización tanto en estado fresco como endurecido.

4.1. Ensayos en mortero fresco.

Los ensayos que se realizan en estado fresco son:

- **Ensayo granulométrico** según UNE EN 1015-2: consiste en agrupar los áridos de una muestra, de acuerdo a su tamaño, mediante el uso de tamices normalizados. La cantidad de áridos retenidos en cada tamiz se utilizan para hacer la curva granulométrica del árido, que se compara con la curva de máxima compacidad de Fuller y con los límites superior e inferior del huso.
- Determinación de la **densidad**: según UNE EN 1015-6, mediante el vaso cilíndrico del aerómetro, que se describe más adelante. Éste se llena de mortero hasta la mitad y se golpea 10 veces para compactarlo mediante una mesa de sacudidas. A continuación se rellena el volumen restante y se repite la operación. El peso del mortero se divide entre el volumen del recipiente del aerómetro, que es de 1dm³ por normativa.
- Determinación del **agua de amasado y consistencia**: el agua de amasado se determina según UNE EN 1015-3 mediante la mesa de sacudidas, a la que se le coloca previa humectación un cilindro normalizado que se rellena de mortero y se engrasa. A continuación se desamolda el producto, se esperan 15 segundos y se realizan 15 sacudidas, una por segundo. El diámetro final del mortero se denomina diámetro de escurrimiento y es el que determina su consistencia. De este modo, el agua de amasado que se emplee para un mortero será aquella que dote al mortero de un diámetro de escurrimiento, y por tanto de una consistencia determinados.
- Determinación de la **cantidad de aire ocluido** según UNE EN 1015-7: consiste en someter a presión un litro de mortero mediante un aireador para determinar mediante la caída de presión la cantidad de aire ocluido que éste contiene.



Fig. 37. Ensayos morteros fresco. Cantidad de aire ocluido, agua de amasado y consistencia, densidad y ensayo granulométrico.

También es importante determinar la **plasticidad** de un mortero, así como su hidráulicidad.

Se entiende por plasticidad la facilidad de la cal de ser extendida por la llana. Es decir, una de las características principales de un producto realizado con cal, ya sea una pasta de cal o un mortero es la suavidad con la que ésta se extiende sobre un paramento, lo que le aporta una gran trabajabilidad. Esta propiedad, físicamente denominada viscosidad, es una característica determinante en la calidad de las aplicaciones de pastas y morteros, así como de pinturas, ya que cuanto más fácilmente se extiendan mejor será el resultado final.

En el caso de los morteros, la incisión de áridos hace disminuir considerablemente la trabajabilidad de estos, y más aún en el caso de los cementos que, debido a su forma de partícula y estructura molecular, son menos trabajables. Por ello, en muchos casos

se añade cal a los morteros de cemento con el fin de mejorar su trabajabilidad, formándose así los denominados morteros bastardos.

Además, si el mortero va a utilizarse como revestimiento, se determina la **dosificación óptima de cal apagada** mediante los siguientes procesos:

- **Ensayo de placa de vidrio en laboratorio:** consiste en la ejecución de una capa de mortero para revestimiento de entre 6 y 8mm de grosor sobre una placa de vidrio. Transcurridas 24 horas, se coloca en posición vertical y se observa la muestra. Si ésta se encuentra fisurada la mezcla es demasiado rica en cal, y si se desmorona es demasiado pobre. Si no presenta defectos y la resistencia es suficiente, es decir la paleta no penetra en el mortero, es la dosificación adecuada.
- **Ensayo sobre rasilla en obra:** se prepara una cantidad de mortero y se aplica sobre una rasilla. Si después de 24 horas de aplicación se observa: que se desmorona, la mezcla es pobre en cal (falta adherencia y resistencia). Si se cuartea la superficie, la mezcla es rica en cal (riesgo de fisuración). Y si por el contrario la masa no se cuartea y es suficientemente resistente (la paleta no penetrara en el mortero), el mortero tiene la dosificación correcta.

También se recomienda ensayar la dosificación de aditivos si van a emplearse.

4.2. Ensayos en mortero endurecido.

Los ensayos en mortero endurecido se realizan a partir de la confección de probetas prismáticas y circulares, las segundas para determinar la adherencia, que son ensayadas tras su endurecimiento en condiciones ambientales de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa de $95\pm 5\%$, según UNE EN 1015-2, "Fabricación de probetas para morteros de albañilería".

- Determinación de la **retracción:** consiste en medir mediante un pie de rey, en mm, la disminución de volumen que ha tenido lugar entre el amoldado del mortero en las probetas y el final de fraguado.
- Determinación del **módulo de elasticidad:** para estudiar las deformaciones que admite el material objeto de ensayo se calcula su módulo de elasticidad estático y dinámico. El módulo de elasticidad estático, según UNE EN 14580, se obtiene calculando el incremento de voltaje mediante galgas extensiométricas al someter las probetas a una flexotracción. El módulo de Young dinámico puede determinarse mediante el ensayo de ultrasonidos según UNE EN 14150, o bien mediante la frecuencia de ondas sonoras según UNE EN 12680-1.
- Determinación de la **resistencia mecánica:** se realiza mediante la rotura de probetas prismáticas sometidas a flexotracción y posteriormente a compresión, según UNE EN 1015-11.
- Determinación de la **resistencia a la carbonatación:** para poder determinar la velocidad de carbonatación de un mortero, según UNE EN 13295 se le aplica un

reactivo denominado fenolftaleína, el cual reacciona si la muestra de contacto tiene un $\text{pH} > 8$, y por tanto la muestra no está carbonatada. De este modo se puede determinar qué profundidad de carbonatación ha alcanzado la muestra objeto de estudio en un tiempo determinado.

- Determinación de la **densidad aparente, relativa y cálculo del índice de porosidad** según UNE EN1015: a partir de las bases establecidas en el apartado 6 del capítulo 1, se determina las densidades y porosidad de un mortero endurecido de la siguiente manera. Se deseca la muestra para obtener su peso seco. A continuación, se la somete a un vacío y a una posterior inmersión en agua destilada, para que ésta rellene los poros, obteniéndose así un peso saturado de la muestra y un peso hidrostático. Teniendo la masa seca se deduce el volumen que ocupan los poros ya que éstos han sido rellenados de un líquido de densidad conocida, y mediante éste cálculo se determina la porosidad.

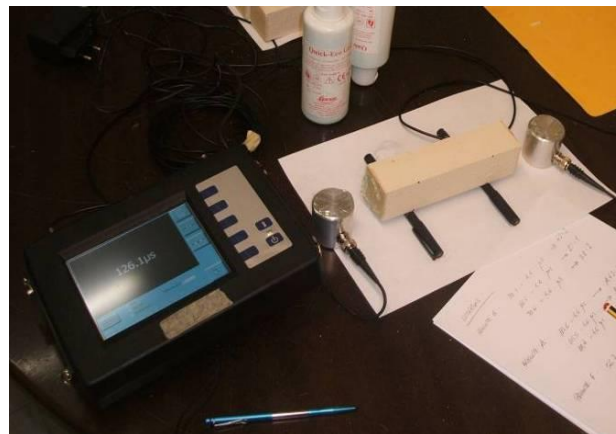


Fig. 38. Ensayos de mortero endurecido.

- **Permeabilidad, desorción y absorción:** la capacidad de absorción y retención de agua de un mortero resulta determinante, por lo que éstos son sometidos a ensayo para determinar la permeabilidad al vapor de agua según UNE EN 1015-19 y la desorción y absorción capilar según UNE EN 1015-18. Estas propiedades también pueden

determinarse mediante porosimetría por inyección de mercurio que, basándose en los principios de cálculo de porosidad y densidades, permite determinar las densidades utilizando el mercurio como líquido de densidad conocida.

- **Heladicidad:** sometiendo las probetas a la absorción de sales, tales como el sulfato sódico (Na_2SO_4) éstas, al internarse en los poros del mortero y cristalizar nos muestran la resistencia a las heladas del mortero objeto de ensayo, tal y como se describe en la UNE EN 1015-18.
- **Adherencia:** según UNE EN 1015-12, tras la confección de probetas cilíndricas éstas se colocan en un soporte rugoso y se las somete a una fuerza de tracción mediante un tester para determinar su adherencia al soporte.

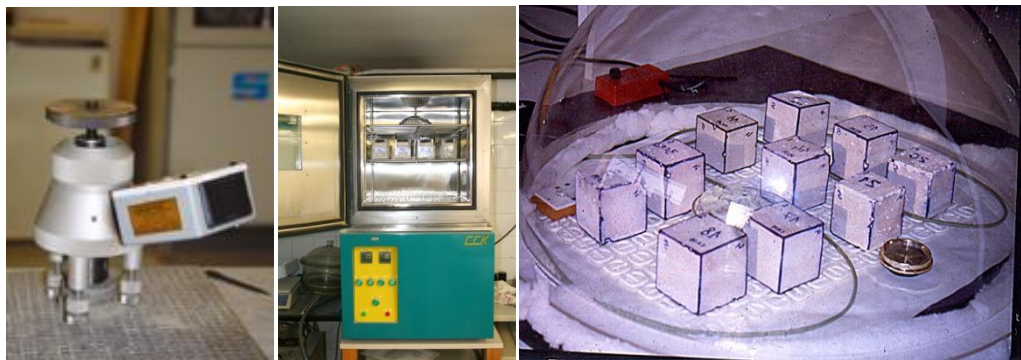


Fig. 39. Ensayos de mortero endurecido.

- **Conductividad térmica:** según UNE EN 1745, se determina mediante un sensor térmico automatizado conectado a un dispositivo de lectura, permitiéndonos conocer la capacidad de absorción de calor del futuro elemento constructivo.

Otros ensayos de aplicación para las cales hidráulicas y aéreas, hidratadas o vivas son las siguientes:

(Cantidad mínima de muestras 10Kg.)

Finura, para cales en polvo: Norma IRAM 1508 o 1626

Residuo de apagado, para cales hidratadas en pasta

Apagado isotérmico de cal viva. Norma B.S. 890

Agua para pasta normal. Norma IRAM 1508

Expansión en autoclave. Norma IRAM 1508 o 1626

Óxidos no hidratados. Norma IRAM 1626

Rendimiento de cal viva. Norma IRAM 890

Plasticidad Emley. Norma IRAM 1626

Trabajabilidad. Norma B.S. 890

Retención de agua. Norma ASTM C-110

Resistencia a la compresión. Ensayo de 10 probetas cúbicas a 7 y 28 días. Norma IRAM 1508



5. Estudio de tres focos de la cal en Valencia.

Estos tres focos a estudios no son ni mucho menos ni los únicos y los más importantes de la comunidad, simplemente son lugares que por su localización, tipología de terreno, cultura o necesidades, tuvieron una gran actividad calcinera y que gracias a su conservación, hoy tienen un papel importante.

Estos tres ejemplos de actividad calcinera, son muy diferentes entre sí, no ya por su ubicación si no por su forma de extracción de la piedra, donde encontramos que en Fontanars del Alforins y en Vinaròs la extracción de la materia prima se hacía más superficial, recogiendo las piedras que afloraban a la superficie y de una manera más rudimentaria y a menor escala. Y sin embargo en el caso de Godella la extracción de la piedra caliza era a través de la explotación de la cantera de “les pedreres” de una manera más industrial.

5.1. Fontanars dels Alforins.

Fontanars dels Alforins se conoce como la Toscana valenciana por sus peculiares características geográficas que convierten esta localidad de la Vall d’Albaida en un lugar único para el cultivo de la vid y el vino. La actividad vitivinícola se ha convertido en uno de los motores económicos del pueblo, un papel que hace unos años ocupaban los hornos de cal, que vivieron su época dorada en los años 60.

Actualmente aún se pueden encontrar restos de estos hornos dispersos por toda la Comunidad Valenciana, en especial en Fontanars dels Alforins, donde se puede identificar más de treinta, gracias a la conservación por parte del ayuntamiento y de algunas asociaciones, aunque gran parte de estos se encuentran medio derruidos, otros han sido invadidos por la maleza y otros, desgraciadamente, han sido convertidos en basureros o simplemente derribados por la acción irrespetuosa del hombre.

Los que aún pueden verse reflejando como fueron mientras tuvieron uso forman parte de las rutas que el Ayuntamiento de la localidad invita a hacer para conocer un oficio que ha pasado a la historia.

La cal de Fontanars dels Alforins, por su calidad, abastecía un amplio mercado: Xàtiva, Banyeres de Mariola, Gandía, Denia, Benidorm, Cartagena,...



Fig. 40. Horno de cal en Fontanars dels Alforins. Llamado: "pou del Capellá".

Evolución y cronología:

Primera etapa hasta 1960 mínima. Piedra recogida en superficie. Cocida a base de ramiza, recogida en la sierra, junto al yacimiento de las materias primas.

Segunda etapa, a partir de 1960, caracterizada por el abandono de los hornos diseminados, la concentración de la explotación en puntos localizados y estables con hornos de mayores dimensiones y un incremento de las ayudas mecánicas. La elaboración de la cal se convierte en un proceso mecanizado e industrial, desvinculándose del ámbito rural. Las últimas explotaciones, rudimentariamente mecanizadas, extinguieron su actividad y en 1990 no quedaba ninguno en funcionamiento.

Dichos hornos, se encuentran integrados en el paisaje, normalmente camuflados bajo la masa vegetal, o poco visibles por su estado de derrumbe.



Fig. 41. Horno de cal en Fontanars dels Alforins. Llamado: "l'altet de la Moneda".

Mayoritariamente se encuentran abancalados o a pie de sierra, incluso en medio de la misma. Se solía buscar el desnivel de una vertiente de la sierra o de un morro o el talud de salida de un barranco para abrir el cuerpo cilíndrico en el sustrato compacto y ahorrar así, parte de la obra de fábrica del muro circundante. Pese a esto, también se encuentran algunos en el llano. De esta manera, la ubicación de los hornos tradicionales solía ser próxima a yacimientos o puntos de extracción de las materias primas, la piedra y la leña. Cerca del horno había una barraca utilizada como refugio durante la quema, cuando el horno debía estar atendido sin interrupción.

Los hornos solían consistir en un vacío cilíndrico, la "olla", descubierto por la parte superior y que tiene una entrada frontal muy pocas veces cubierta por un porche, que secciona el muro circundante y delimitador de la propia cavidad crematoria. Los flancos del muro, a los lados de la entrada, se denominan baluartes; encontramos hornos con muro de fábrica de piedra obrada con mortero y otros más modernos hechos o rehechos por dentro con ladrillo cocido.



Fig. 42. Horno de cal en Fontanars dels Alforins. Llamado: "Sèquia de ca Traver".

Aspectos de los hornos de cal en Fontanars del Alforins:

Por lo general la capacidad de los hornos de este municipio, oscilaba entre las 30 y 50 toneladas de piedra viva, aunque los podía haber más grandes. El primer paso para la elaboración consistía en armar la hornada, es decir, colocar la carga calcárea dispuesta para

aplicarle el proceso de cocción. La piedra se tenía que extraer o recoger, seleccionarla y clasificarla según el tamaño. Se tenía que quebrar diestramente para preparar las piedras que conformarían la bóveda, sujetando el resto de la carga y dejando libre el receptáculo interior que tenía que alojar la combustión. Del proceso de quebrado de estas piedras surgían los "calços" y el "arrimaparet", es decir la piedra menor con la que se llenaban los huecos, y se dejaban las piedras más grandes en el interior del horno. Una vez el horno estaba lleno de piedra, ordenada meticulosamente, hasta el nivel superior de la pared circundante, se completaba la carga haciendo un "caramull" al estilo de una cúpula denominada "cóp" o capucha. El trabajo de montaje podía alargarse hasta casi una semana.

La duración de la quema era relativa,

dependiendo del tipo de leña y piedra utilizada, del tamaño del horno, etc. No obstante, normalmente se empleaban unas 72 horas quemando ininterrumpidamente. Los calcineros hacía turnos día y noche para controlar la quema, hasta que las llamas que salían por la capucha presentaban una coloración azulada y el color de la piedra adquiría la tonalidad propia de la cal. Esta era la señal del final de la cocción. Una vez el horno se había enfriado, se tenía que sacar la cal y ensacarla o triturarla. El vaciado del horno se hacía de forma manual, comenzando por el centro del "cóp". Era un trabajo duro, pues el horno conservaba todavía una elevada temperatura.



Fig. 42. Horno de cal en Fontanars dels Alforins.

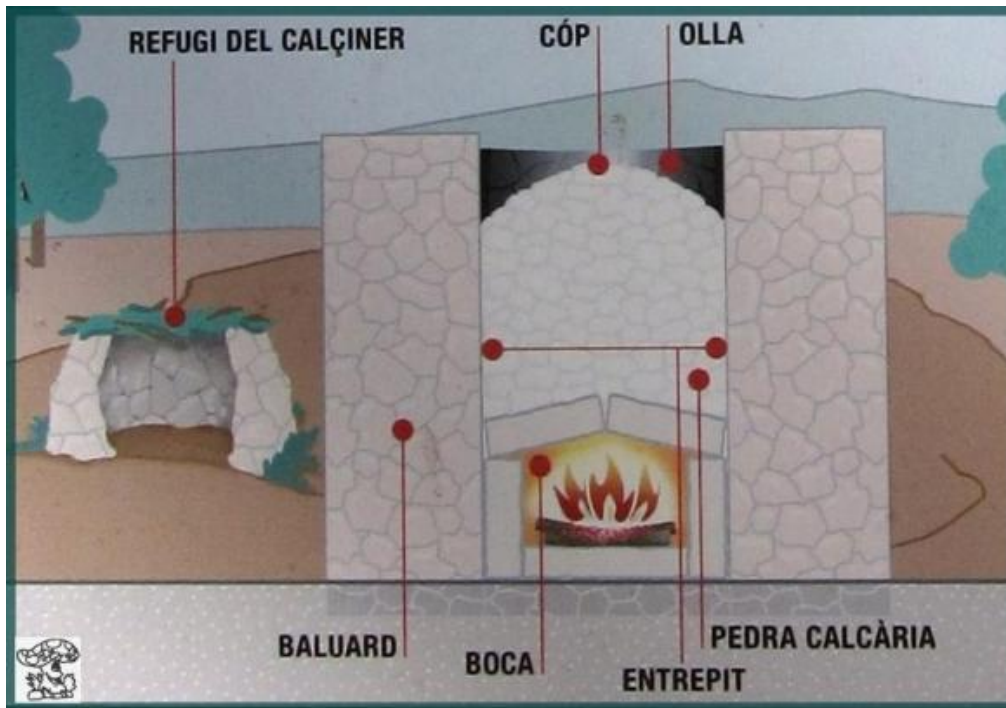


Fig. 44. Partes constitutivas de un horno de cal.



Fig. 45. Horno de cal en Fontanars dels Alforins. Llamado: "El balco".

Actualmente el ayuntamiento ha creado cinco rutas de senderismo en las que se va visitando diversos hornos a la vez que se combinan la actividad física.

Estas rutas son:

Ruta 1: San Enrique "EL PORT" (Distancia: 6,1Km), Ruta 2: "LA REPLANA" (Distancia: 6,2km), Ruta 3: "LES PILES" CALS COLAUS (Distancia: 7,8Km), Ruta 4: "EL BALCÓ" (Distancia 4,8Km), y por último la Ruta 5: "CALS FRAILES" (Distancia: 7,2).

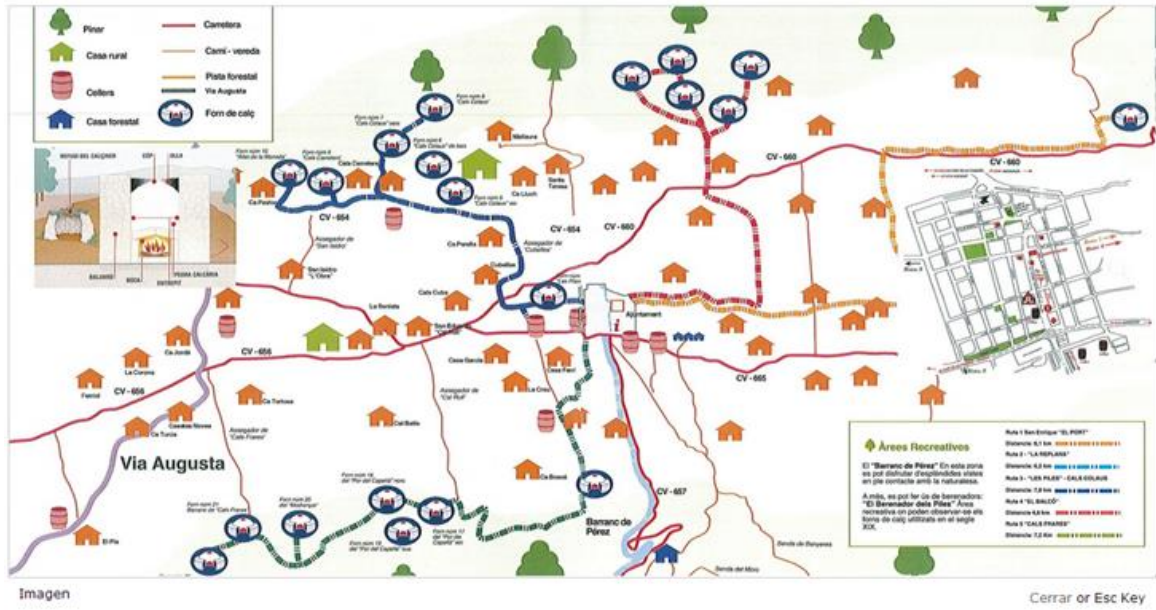


Fig. 46. Plano ruta de la cal Fontanar dels Alforins.

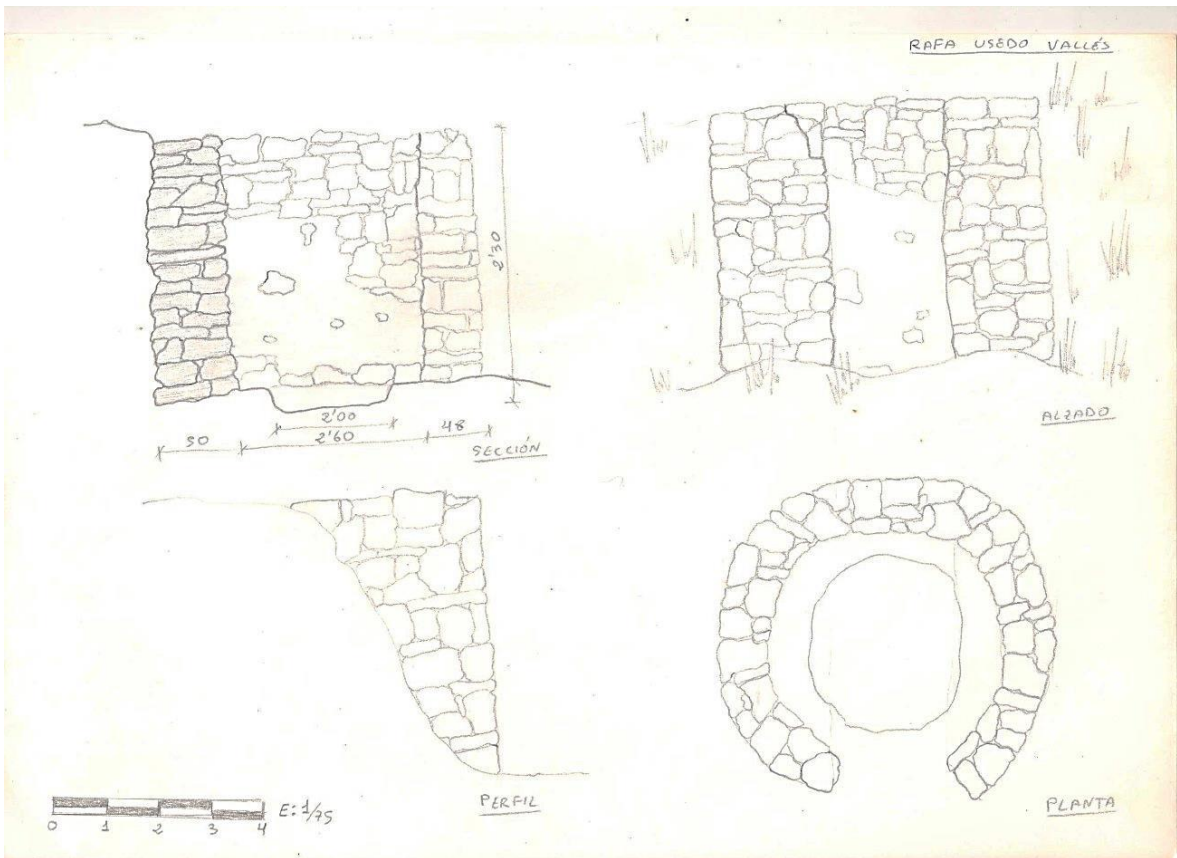


Fig. 47. Dibujo a mano alzada del horno dels Colaús. Fontanar dels Alforins

5.2. Vinaròs

Los hornos de cal son una figura arquitectónica (a simple vista de escasa envergadura), que alberga un elevado grado de importancia histórica e incluso arqueológica, de cara a un modesto pero interesante sector de la vieja economía de Vinaròs, los *calciners*. Un hecho que muchísima gente ignora y desconoce. A día de hoy, en los alrededores de 96 kilómetros cuadrados que ocupa el término municipal, no se sabe cuál es la cantidad de estas construcciones que todavía se conservan, pues la mayoría se encuentran en un estado de completa ruina y abandono, por contra, algunas afortunadas, todavía han conseguido permanecer intactas con el paso del tiempo.



Fig. 48. Ruina de un horno de cal en Vinaròs.

Muchos de estos hornos se han perdido en el olvido. Una buena parte han sido ocupados e invadidos por la vegetación de sus alrededores, ocultándolos a la vista de la mayoría de la gente que pasa cerca de ellos. Otros incluso se han llegado a colmatar de tierra.

El objetivo de este estudio, no es sólo el de recordar y plasmar la mayor cantidad de información posible sobre la localización y existencia de cada uno de estos hornos, sino que también el de remarcar su importancia histórica.

Pues lo que para los ojos de una persona desconocida en la materia, pueden parecer simples espacios abiertos sobre la tierra, para otras es algo más que un orificio cavado sobre la roca, ya que se trata de estructuras rurales, que hacen referencia a uno de los trabajos pre-industriales, posiblemente más antiguos que se han venido desarrollando en el municipio de Vinaròs desde antes de su existencia como pueblo. De ahí su enorme interés.



Fig. 49. Antiguo horno de cal en Vinaròs.

Historia de cal en Vinaròs

La piedra calcárea es un mineral que en Vinaròs, abunda en cantidades considerables.

En Vinaròs existen restos de un muro realizado con cal, ubicado en la falda montañosa del Puig de la Misericòrdia, que se cree que data de la era romana, dando a entender la antigüedad de su uso en dicha zona.

Por lo visto, en Vinaròs hubo un muro que defendería la población, y que se sabe que manda ejecutar Hugo de Folcaquer, aun que posiblemente una de las primeras construcciones que levantarían los "nuevos" cristianos de los que nos habla la carta puebla en 1241, sería la de una muralla temporal, que de acuerdo a las técnicas de la época, se realizaría empleando argamasa con cal. Una mezcla, que acompañada con arena y agua, permitió la elaboración de una simple tapia, que como mínimo valdría para poder ejercer la función aislante ante elementos climáticos que podían resultar incómodos, es el caso de fuertes ráfagas de viento, heladas invernales o escorrentías pluviales.



Fig.50. Antiguo horno de cal en Vinaròs.

Respecto a la fuente de extracción de la cal en Vinaròs, partiendo de la descripción que realiza el IGME sobre los cerros locales así como de su parte baja, se resume en:

"La Serra de Vinaròs (Puig de la Misericòrdia y el Puig del Perengil) pertenecen al período Cretácico (1) a la sub-edad Gargasiense (C² 15) (2), estando formada por calizas masivas en bancos de 20-30 cm., con presencia de Toucasias. Hacia la base se intercalan niveles de margocalizas y calizas nodulosas con gran contenido en Orbitolinas.

La potencia estimada es del orden de 150 m., aunque en parte pueden existir repeticiones. Se distinguen microfacies de biosparitas, biomicritas y biomicrosparitas, con Orbitolina (Mesorbitolina) texana (ROEMER), Orbitolina (Mesorbitolina) minuta (DOUG), Neotrocholina friburgensis (GUILLAUME y REICHEL), Lithocodium aggregatum (ELLIOTT), Simplorbitolina cf. manasi (CIRY y RAT), restos de Lamelibranquios, Gasterópodos, etc. El llano litoral pertenece al período Cuaternario (3), clasificado como cuaternario indiferenciado (Q); constituyéndose por grandes acumulaciones de cantos rodados calizos, con potentes intercalaciones arcillosas" (IGME, 1973).



Fig. 51. Antigua cantera donde se extraía piedra caliza. Vinaròs.

Otra cualidad de Vinaròs para la extensión de multitud de hornos era por la gran cantidad de materia prima para alimentar el fuego, "maleza".

En el término municipal, había grandes extensiones de fincas de cultivo que generaban ramas y toda una serie de desperdicios, fáciles de aprovechar para los hornos. Sólo como ejemplo, existe un documento notarial del siglo XVII, que hace referencia de una partida vinarocense llamada con el nombre del "Malear d'en Prima".



Fig. 52. Antiguo horno de cal en Vinaròs.

Se distinguía dos tipologías de hornos:

Los "forns efimers" que eran simples espacios abiertos en fincas, que tenían como única finalidad ser usados en escasas ocasiones, sin ninguna previsión de futuro, para luego ser abandonados.

Los "forns permaments" eran aquellos que se elaboraban para ser usados a largo plazo, y dejarlos de manera fija.

En el caso de Vinaròs, casi todos los que se ubican en el Puig (debido a la riqueza calcárea del lugar), eran "forns permanents", debido principalmente a que en aquella zona la materia prima nunca escaseaba.

Dentro de este grupo entrarían los "forns de raig" aquellos en los que la cal salía sin parar (COAATB, 1987, 3), y que comenzaron a abandonarse, debido a que el producto resultante era de baja calidad.

La diferencia entre ambos grupos estaría en que los permanentes requerían un coste económico muy superior a los que se levantaban de forma ocasional, puesto que los permanentes demandaban un mayor mantenimiento, así como una serie de problemas, que con el paso del tiempo fueron agravando su uso, y finalmente hacerlos desaparecer.

En el caso de Vinaròs podemos leer a través del COAATB (1987, 4), que ello sucedió "el día que las autoridades locales prohibieron la extracción de "bolos" de la playa con tal de proteger el sector turístico".



Fig. 53. Antiguo horno de cal en Vinaròs.

Como ocurriría en los distintos puntos de la geografía española, "las tareas derivadas de la explotación y beneficio de la cal se realizaban durante todo el año; solamente decrecía la actividad durante los meses de verano, pues debía de segarse y almacenar la cosecha. Muchos eran los que preferían sacar partido a los hornos, pues el beneficio era inmediato, mientras que la agricultura suponía, además de poder disponer de tierras que cultivar, el tener que esperar un año para percibir beneficio alguno, siempre y cuando la cosecha fuese buena" (Quintana, 2005, 98).



Fig. 54. Antiguos hornos de cal en Vinaròs.

Con la documentación que hay en el ayuntamiento de Vinaròs, se sabe por datos escritos, que la explotación de los hornos de cal era una realidad una de las actividades pre-industriales más destacadas siglos atrás. Algo que vemos en la transcripción dels Establiments del Lloctitent de Justicia de 1647, donde se mencionan los derechos que debían de respetar los *calciners* de Vinaròs:

"De la fornilla que poden tallar los que cohen forn de cals en heretat de altri que no's formiga: se ha establít que qualsevol vehí de la present Vila que farà y courà forn de cals en lo present terme puga tallar en heretat de altri fins a cent gavells de fornilla per a coure dit forn, sens encorre en pena alguna, e assò sia entés que se aga de tallar (fol. 20. r) en heretat que el ver señor no formigarà y serà la més prop y manco dany; y de sis anys que no se'n puga tornar a tallar dit çents gavells, si no és que sia heretat que no's puga colturar y sia entojar, y si lo contrari faran que se'n puguen clamar, sota pena de 10 sous, ut supra repartidors" (Albiol, 2003, 177).

Para regular la explotación y recolección de piedras, vemos esta actividad que se establece durante 1648, cuando se dice que:

"Ninguna persona gosse portar-s'en de pila de altri ningun gènere de justa y així mateix de menobra, ni pedres, de munt y pedregal de altri sens llicència dels versos dels señors y, si aquells no y serán, que lo y hajan de manifestar dins vint y quatre hores, y assò hajas de entendre estant obrant o en cas de neçessitat; y, si al contrari farà, encórrega en pena de deu sous y restituir la cossa o valor de aquella en doble al ver señor" (Albiol, 2003, 237).

Otro elemento de interés, que ya nos relata la importancia de los *calciners* en Vinaròs durante el siglo XVII, viene en el hecho de que el Mustassaf llega a tomar el control de la cal que se produce y vende dentro del municipio. Un fenómeno que apreciamos cuando leemos:

"Que no es puga traure ni vendre cals dels forns que auran cuyt los vehins de la present Vila en lo terme o fora de aquell sens adestir lo Magnífich Mustaçaf o la persona que aquell deputarà, sots pena de sexanta sous, repartidora dita pena ut supra, y que per dita asistencia tinga y se li haja de donar, de cada almodí, dos arrobes de cals, la una pagadora per lo comprador y l'altra per lo venedor, rellevant-la de l'almodí la una y l'altra del forn (fol. 49. V)" (Albiol, 2003, 262).

Si se llegaban a establecer medidas de este tipo, era porque los hornos de cal serían por aquel entonces uno de los elementos pre-industriales más activos de la localidad.

A priori, antes de que la explotación de los hornos decayera en uso, estos representaban un oficio que daba cierta seguridad y ganancias a sus empleados, puesto que normalmente, cuando se comenzaban a activar, era porque esa cal previamente ya se había acordado vender, motivo por el que funcionaban como un negocio seguro, que además no implicaba grandes inversiones. Esta venta podía efectuarse por acción directa del mismo *calciner* e incluso cabía la posibilidad de que hubiese un intermediario, que buscaba la clientela, y que por lo tanto, también contribuyera en la cadena de producción del horno de cal.



Fig. 55. Ruina de un antiguo horno de cal en Vinaròs.

Además, en el supuesto de que esa cal por algún motivo no se vendiera, siempre cabía la posibilidad de poder almacenarla en barriles, ya que si estaba mucho tiempo en contacto con el aire se degradaba, de ahí que hubiesen de "amerarla" en balsas.

Datos extraídos de las entrevistas realizadas por Sanz y Perosillo, a testimonios sobre los hornos de cal y los calciners en Vinaròs, más concreta mente a las familias Gombau Brau y Gombau Forner.

Resulta curioso destacar (de acuerdo a los datos que hemos podido recabar), que desde el final de la Guerra Civil Española, en Vinaròs sólo había dos familias dedicadas al mundo de los hornos de cal.

Casualmente, las dos familias de *calciners* se apellidan Gombau, aunque ello es un hecho casual, ya que no les une ningún vínculo familiar, a pesar de tener el mismo apellido y haber residido en la misma calle.

La primera persona entrevistada fue la señora Teresa Pablo Miralles, viuda del último *calciner* que trabajó a tiempo completo en los hornos de cal de Vinaròs.

La segunda entrevista se realizó a dos miembros de la familia Gombau Forner.

La tercera y última (se efectuó en dos tandas), a los miembros de la familia Gombau Brau, concretamente, a Juan Vicente Gombau, el último *calciner* que técnicamente hubo en Vinaròs, así como a su padre, Juan Bautista Gombau.

Los datos proporcionados en estas entrevistas han sido vitales, puesto que nos describen la dura vida que llevaban los *calciners*, un trabajo muy agotador, que hoy casi nadie conoce, pero



gracias al cual se pudieron efectuar construcciones y edificios de grandes proporciones, que a día de hoy todavía siguen en pie.

Se trata pues de la última generación de personas, que venía desempeñando un oficio arraigado a nuestra tierra, que bien como mínimo ya existía desde siglos y siglos atrás, incluso muy probablemente, con anterioridad a la fundación de lo que hoy es Vinaròs...

- **Entrevista realizada a la viuda de Sebastià Gombau Brau “Cabrera”;**
20/12/2010(Vinaròs):

Teresa Pablo Miralles, estaba casada con Sebastià Gombau Brau (conocido en Vinaròs con el mote de “Cabrera”). El oficio de calciner, ya venía arraigado de familia, pues su padre (Sebastià Gombau Zaragoza), lo ejercía desde su juventud. Sebastià (padre), ya lo trabajaba con su hermano Agustí.

El emplazamiento de los hornos fue variado, siendo el más importante el que poseían acondicionado en lo que antes era el barranc del Clot o también conocido con el nombre de Fondo de Pipante (al sur de la Plaza de Toros). Sabemos que tanto en la partida Boverals, como en lo alto de la ermita de la Misericòrdia, construyeron hornos, que explotaron en distintas épocas e intensidad.

El trabajo era muy duro, ya que para que se transformaran las piedras del horno en cal, debía de transcurrir un periodo de entre unas 48-50 horas, motivo por el que venían a extraer cantidades que podían oscilar entre las 12-14 toneladas de cal.

En el caso de la familia Gombau Brau, en un principio hacían la cal, sabiendo de antemano que esta se les iba a comprar, ya que al poco tiempo, si no se llegaba a vender, se deterioraba y quedaba inservible, de ahí que hubiese de “amerarse”. Posteriormente y con el paso de los años, crearon un depósito, que ya les permitía tenerla almacenada, y de esta forma venderla con posterioridad, guardándose así un stock de producción en el caso de querer comercializarla posteriormente, sin necesidad de comprometerse con anterioridad a ningún comprador.

Su principal zona de extracción era la Pedrera de la Parreta o el Perengil, donde se abastecían de la caliza. En un primer momento esta era bajada con carros tirados por caballos o mulos, posteriormente los animales se substituyeron por un moto-carro que compró la familia, que durante los últimos años fue relegado por un camión alquilado, que les permitía bajarla en grandes cantidades.

Los mejores compradores de cal durante los primeros años eran los vecinos de Benicarló, quienes venían hasta la población con carros tirados por dos mulos, y compraban cal en grandes cantidades.

En esta etapa, y durante el estallido de la Guerra Civil Española, vendieron cantidades considerables a los vecinos benicarlandos, puesto que allí, la cal era un producto mucho más apreciado y utilizado.



Fig. 56. Ruina de un antiguo horno de cal en Vinaròs.

Entre los hornos, parece ser que el ubicado en la ermita, se empleó sólo de forma esporádica durante el periodo de la Guerra Civil Española, en cambio, los que mayor uso tuvieron (aproximadamente a partir del año 1952 hasta el momento en que desaparecería el oficio), fueron los emplazados en la partida Boverals, donde había un par de estos.

Sabemos que Francesc Gombau (el hermano de Sebastià), también se dedicó a trabajar a tiempo completo en los hornos de cal de Vinaròs. Además, el trabajo estaba repartido en tareas, de forma que Francesc estaba especializado en la fase de seleccionar cual era el tipo de piedra idóneo para el proceso de combustión. Para ello, se desplazaba hasta la zona de extracción, escogía la que creyese mejor, y la transportaba hasta el punto en el que se encontraba el horno.

En cambio, Sebastià era el único que sabía cómo colocarla en su interior, ya que esta tarea era más compleja de lo que uno podría creer. Motivo por el que una vez que su hermano la bajaba, éste se encargaba de posicionarla como tocaba antes del proceso de quema en el interior del horno.

En cuanto a las distribución económica de la materia prima, cuenta que durante los últimos años, el flujo de comerciantes era distinto, dependiendo más de tierras catalanas que de la comarca. De forma que los compradores de Benicarló dejaron casi de existir, por lo que en los años ochenta, la cal de la familia Gombau Brau, principalmente se vendía a un vecino de



Tortosa, así como otro de Gandesa, que solía comprar cantidades de unas 30 toneladas de cal en cada una de sus visitas.

Según relata, el comprador de Gandesa era un intermediario, que ejercía el oficio de compra-venta entre los calciners y el destinatario final. Siendo básicamente estos dos compradores catalanes, quienes mantendrían el negocio de esta familia, hasta su desaparición a principios de los noventa.

- **Entrevista a Juan Bautista Gombau Brau “Cabrereta” (padre) y Juan Vicente Gombau Drago (hijo), el último calciner que ejerció este oficio en Vinaròs; 6/7/2011 y 15/7/2011 - (Vinaròs)**

Trabajaban dos tipos de hornos, los permanentes y los efímeros. Los primeros y principales, se emplazaban en la partida Boverals. Su familia, se desplazaba hasta la partida de Les Ribes, concretamente en el margen donde hoy se encuentra el Estret, para así hacerse con “malea” y matojos con los que alimentar el horno.

Los Cabrera destacan que los tres elementos básicos para poder levantar un horno de cal eran: “malea”, piedra caliza y un terraplén de tierra.

Curiosamente, en la calle Santa Ana, se encontraban las dos familias que vivían de este negocio, y eso que a priori, no guardaban ningún parentesco familiar. Por un lado estaban (según el apodo con el que se les conocía), los “Cabrera”, al que Sebastià Gombau pertenecía, así como luego los “Garboso”.

Durante el periodo de Guerra Civil, los Cabrera dejaron de utilizar los hornos del Puig de la Misericòrdia, para bajar a las afueras del pueblo, y así trabajar una serie de hornos efímeros, que les valdrían temporalmente para salir del paso. Posteriormente, una vez finalizada la contienda, estos se desplazaron hasta el barranc del Clot, en donde hoy está la actual calle Cervantes, lugar en el que levantaron su horno de cal. Finalmente, este lo abandonaron y se dirigieron a lo que serían los dos últimos hornos de cal que hubo en Vinaròs, estos se encontraban en la partida Boverals.

Al igual que Teresa, Juan Bautista comenta que la piedra que extraían del Perengil era de buena calidad, en cambio la del Puig de la Misericòrdia, al poseer mucha de la variedad oscura, no era tan apta como la del cerro vecino, sirviendo sólo para pintura.

La existente en el Puig de la Nau de Benicarló, era también buena, siendo por sus características similar a la del Puig Perengil.

Los “Cabrera” traían al principio la piedra desde Ulldecona (la cual tampoco era de gran calidad). Luego se desplazaron hasta la cantera de Alcalà de Xivert, debido a que esta les proporcionaba mejores resultados. No obstante, recalcan que la mejor piedra caliza que aprovechaban de todos nuestros alrededores, la encontraban en Amposta.

Respecto al aprovechamiento de la cal, sabemos que la cal blanca servía para labores relacionadas con la pintura y la construcción, mientras que la negra sólo lo hacía como mortero.

Los bolos de la playa eran también aprovechados, los cuales, recogían en la desembocadura del riu Cervol. Este tipo de material era bueno tanto para la cal de construcción como para la pintura, no obstante, ello sólo ocurría cuando los cantos eran de caliza blanca, ya que si su composición se asemejaba más a la de la caliza gris o negra, estos entonces dejaban de emplearse como blanqueante de fachadas.

Uno de los trabajos más laboriosos, era el de romper las rocas de caliza, puesto que solían tener un peso de entre 2 y 3 toneladas. Ello se hacía con la ayuda de un *mall* o mazo, que según comenta Juan Bautista, en su caso, pesaba alrededor de unos 6 kilos de peso. Con este se rompía el núcleo de la caliza, posteriormente, una vez fragmentado en pedazos, se empleaba el martillo para moldear la roca en porciones que pudieran "*carregar i descarregar*".

La "malea" que empleaban para activarlo, fue usada durante la década que va desde los años 40's-60's. En cambio, a partir de los 70's, estaba prohibido su corte, con lo cual, José Català Gombau, les proporcionaba los desperdicios de los pinos que bajaba desde Morella.

Juan Bautista nos comenta que incluso podían diferenciarse los distintos tipos de brozas (de acorde a su calidad), así, la aliaga junto con el romero, eran las mejores de las que podían proveerse en el municipio. En cambio, la coscoja no era muy buena.

El tiempo que costaba el proceso de extracción de cal, hacía que en invierno el horno hubiese de estar encendido 48 horas. Con el tiempo, a Juan Bautista Gombau se le ocurrió incorporar una segunda olla en la zona inferior de la primera, que a su vez poseía un orificio y le servía de evacuador.

La cal la vendían a kilos, pudiendo ser lo que llamaban "viva" o "muerta" (almacenada en agua). Entre los edificios más representativos en los que se usó esta cal, tenemos casi todos los hoteles que al principio se levantaron en Peníscola, así como el famoso bloque de viviendas de Benicarló, y que todavía la gente conoce popularmente con el mal nombre de "Torre Collons". Todos estos edificios se elaboraron en su totalidad con la cal de los Cabrera, de acuerdo a su testimonio.



Fig. 57. Foto de la entrevista realizada a los últimos calciners de Vinaròs. A la izquierda, Juan Vicente Gombau Drago. A la derecha, Juan Bautista Gombau Brau (15-7-2011).

Por término medio, los hornos modernos en los que se usaban 30 toneladas de piedra y 15 toneladas de cal, solían estar en funcionamiento continuo durante unas 48 horas, alcanzando una temperatura de entre 900º-1000º.

Los Cabrera recuerdan que la mayor cantidad que llegaron a introducir en un horno, fue un total de 40 toneladas de piedra, junto con 20 de cal, motivo por el que la estructura estuvo funcionando de manera continúa alrededor de unas 60 horas.



Fig. 58. Foto de la entrevista realizada a Juan Vicente Gombau Drago (6-7-2011).

A la izquierda, David Gómez, en el centro, José Antonio Baila, a la derecha, Juan Vte. Gombau (6-7-2011)

- **Entrevista realizada a los hijos de los calciners Gombau Forner "Garboso" - 3/2/2011 (Vinaròs):**

Respecto a esta familia de *calciners*, sabemos que el negocio ya se había heredado de padres a hijos, sin poder averiguar con certeza desde cuando se remontan sus raíces. Hecho idéntico al que ocurre con la familia Gombau Brau, y que demuestra que este oficio era transmitido de generación en generación.

En lo que respecta a la familia Gombau Forner, los hornos se emplazaban en la carretera de Càlig. Tiempo después, acabarían de trasladarse hasta la zona de la carretera de Morella.

En cuanto a su clientela, los constructores eran los principales compradores en Vinaròs, aunque ello no impedía que tuvieran mayor demanda del municipio vecino, pues vendían más cal a Benicarló.

La diversidad del material era variable, la cal podía ser blanca y gris/negra. En lo que concierne a la blanca, esta la extraían de la pedrera de Vinaròs, pues era de una mayor calidad, aunque ello les comportaba a su vez, más dificultad a la hora de sacarla.

En cambio, la cal gris o negra (más oscura), poseía una menor calidad. Esta se extraía de calizas sueltas, como las que existen en la parte trasera del Puig de la Misericòrdia o la partida dels Racons.

Finalmente, a principios de los años 80's, la familia fue abandonando el oficio de los *calciners*, ya que el trabajo no salía rentable, pues el portland tras alcanzar un auge considerable en el mercado, acabó sustituyendo a la cal.

La carbonilla o ceniza que sobraba una vez que era extraída de los hornos, se aprovechaba y se vendía por las casas, luego, esta también se exportó a Barcelona, pues los carboneros la reutilizaban.

Del mismo modo, otra utilidad que poseía, era la de abono para los campos de cultivo, pues resultaba ser un buen fertilizante.



Fig. 59. Ruina de un antiguo horno de cal en Vinaròs.

Listado de los hornos de cal de Vinaròs (de acorde a su localización)

1. Creu de l'Ermita
2. Repetidor de l'Ermita
3. Repetidor de l'Ermita (II)
4. La Ponderosa
5. La Ponderosa (II)
6. La Ponderosa (III)
7. Camí de S. Sebastià
8. Camí de S. Sebastià (II)
9. Camí de S. Sebastià (III)
10. Camí dels Racons -*desaparecido*-
11. Camí dels Racons (II) -*desaparecido*-
12. Camí de l'Ermita
13. Partida Sotarranyes Altes
14. Partida Sotarranyes Altes (II) -*desaparecido*-
15. Carrer Obispo Lasala, junto al río Cervol -*desaparecido*-
16. Barranc de les Capsades (actual Calle Cervantes) -*desaparecido*-
17. Barranc de les Capsades (II) (actual Calle Cervantes) -*desaparecido*-
18. Barranc d'Aigua Oliva
19. Barranc de la Venta Barana
20. Barranc de Lo Saldonar -*desaparecido*-
21. Partida Boverals -*desaparecido*-
22. Partida Corralet -*desaparecido*-

23. Partida Sant Roc *-desaparecido-*
24. Finca de la Parreta (cima del cerro)
25. Carretera de Càlig (granja de gallinas)
26. Partida de Les Bases (carretera de Morella)
27. Partida de Les Murteres

5.2.1. Material fotográfico histórico sobre la producción de cal en Vinaròs.



Fig. 60. Horno de los Cabrera (1945), ubicado en el barranco del Clot (actual zona de la calle Cervantes). En la zona superior, a la izquierda, Juan Bautista Gombau con su perro "Dic", a la derecha Sebastián Gombau (padre). En la zona inferior, Sebastián Gombau (hijo). Archivo familiar Gombau Brau.



Fig. 61. Sebastián Gombau Brau, colocando las piedras de la bóveda del último horno de cal que funcionó en Vinaròs. Archivo familiar Gombau Brau.



Fig. 62. Sebastián Gombau Brau, colocando una bastida para extraer cal. Archivo familiar Gombau Brau.



Fig. 63. Sebastián Gombau Brau, cerrando la bóveda, a punto de colocar la piedra llave. Archivo familiar Gombau Brau.



Fig. 64. Sebastián Gombau Brau, en la zona superior del horno de cal. Archivo familiar Gombau Brau.



Fig. 65. Barriles de acero para almacenar la cal viva. Archivo familiar Gombau Brau.



Fig. 66. Francisco Gombau Brau, sacando cal viva de los bidones, para convertirla en "cal muerta". Archivo familiar Gombau Brau.



Fig. 67. Los últimos hornos de cal que existieron en las cercanías de la partida Boverals. Archivo familiar Gombau Brau.



Fig. 68. El camión de José Baila Gombau, descargando piedra de la cantera del Puig de la Nau. Archivo familiar Gombau Brau.



Fig. 69. Sebastián Gombau Brau, terminando de cerrar la boca del horno. Archivo familiar Gombau Brau.



Fig. 70. El calciner Gombau Brau, en el proceso de quema del horno de cal. Archivo familiar Gombau Brau.



Fig. 71. El horno de los Gombau Brau, tras finalizar la fase de cocción. Archivo familiar Gombau Brau.



Fig. 72. El horno de los Gombau Brau, tras finalizar la fase de cocción. Archivo familiar Gombau Brau.

5.3. Canteras de Godella

Los 300 mil metros cuadrados de la Pedrera de Godella, esconden pequeños tesoros de muy alto interés histórico.

Se han encontrado vestigios de extracción manual del siglo XVI, pero la presencia de un acueducto romano nos hace pensar en un asentamiento que ya sacaba aprovechamiento de este espacio en esa época.

De lo que si hay constancia es del uso de piedra de Godella en la construcción de la muralla de Valencia. En el archivo de la ciudad hay un documento del 1356 que así lo consta.

Casi toda la Valencia monumental está hecha con la conocida piedra de Godella, la Catedral, las antiguas murallas, el Monasterio de San Miguel de los Reyes, los Consistorios, Palau de la Generalitat y por descontado la Lonja que en 1482 el picapedrer Pere Compe ponía la primera piedra de este magnífico edificio, hecho exclusivamente con piedra de Godella. Es una piedra muy utilizada en la época medieval y moderna en la ciudad para construir edificios públicos.

La denominación "Piedra de Godella" hace referencia también a Tosfera, Rocafort, Moncada y la propia Godella, que antes era Pedrer.

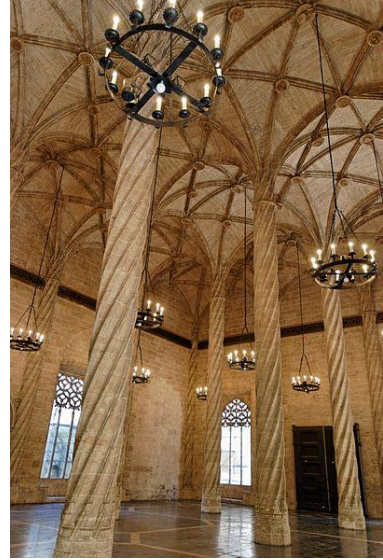


Fig. 73. Sala de Contratación o Salón Columnario. La Lonja. Valencia.

A mediados del siglo pasado hubo una gran demanda para la ampliación de los nuevos muelles para la gran expansión del puerto de Valencia, esto hizo que cambiara la forma de explotación de la cantera que paso de manual y en superficie a mecánica y con voladuras.



Fig. 74. Panorámica de la cantera de Godella. Les Pedreres.

Gracias a esto tenemos hoy el paisaje que podemos apreciar en la Pedrera, casi Lunar, paisaje formado por paredes de piedra de más de 30 metros de altura intactos desde los años 80.

La proximidad de la Pedrera de las casas de Campo Olivar, supuso la clausura definitiva. Desde ese momento diferentes medios han solicitado la protección, que ahora empieza a materializarse. Lo hace con un Plan Especial ya redactado para la creación de un parque natural y la protección de las paredes de los cacheros de finales del siglo XIX y de los restos

del acueducto Romano, también de la flora endémica y de la colonia de Soliguers que anidan entre estas paredes.

Los restos de las montañas de piedras todavía se conservan intactos, dando la sensación de grandes acantilados. Además, también permanecen siete refugios, contruidos por los entonces trabajadores de la cantera para resguardarse de las explosiones y que datan de la edad medieval.



Fig. 75. Cachirulo de Baltasar Domenech (Saro).

Estos refugios, conocidos popularmente como cachirulos, están ubicados alrededor de la cantera y son unas construcciones de piedra con una altura de un par de metros respecto al nivel del suelo y una amplitud interior alrededor de un metro y medio metros.



Fig. 76. Esquema cartográfico de la cuenca de Valencia-Lliria. Cuadrilado: substrato Mesozoico. Enladrillado: calizas lacustres del Mioceno Superior. Punteado: depósitos Fuente: Santisteban, C. de, J. Brito y J. Usera (1988)

Actualmente, el Plan General de Godella de 1990 sí contempla una protección para el paraje. Sin embargo, la nula recuperación de la zona ha hecho que con el paso de los años se haya deteriorado y algunas de las construcciones de la cantera hayan desaparecido.



Fig. 77. Vista aérea de la cantera de Godella. Les Pedreres.

Actualmente, todo el perímetro está vallado ya que transitar por ciertas partes de lo que fue la cantera puede resultar peligroso. Sin embargo y pese a la magnitud del área muchos son los vecinos de esta localidad y de poblaciones cercanas que desconocen esta zona de gran valor patrimonial, etnológico y natural.

Desde hace tres años una pareja de rapaces vive en Les Pedreres.

Se trata de una especie protegida que anida en una de las canteras.

También la zona boscosa tiene un gran valor natural ya que cuenta con lugares donde hay nacimientos freáticos.

Otro de los propósitos municipales, que se desarrollarán dentro del plan de protección, es la realización de rutas verdes para que la gente conozca el entorno.

Durante siglos la cantera de Godella se convirtió en el referente del suministro de piedras blancas para la construcción de grandes obras arquitectónicas. Según los archivos municipales, un gran número de piedras de la Catedral de Valencia y de la Lonja fueron extraídas de esta población, y también algunas de las utilizadas para la construcción del puerto de Valencia.

Se calcula que en los años de mayor esplendor de la cantera trabajaban en ella más de 500 personas, produciéndose su cierre definitivo en los años 50.

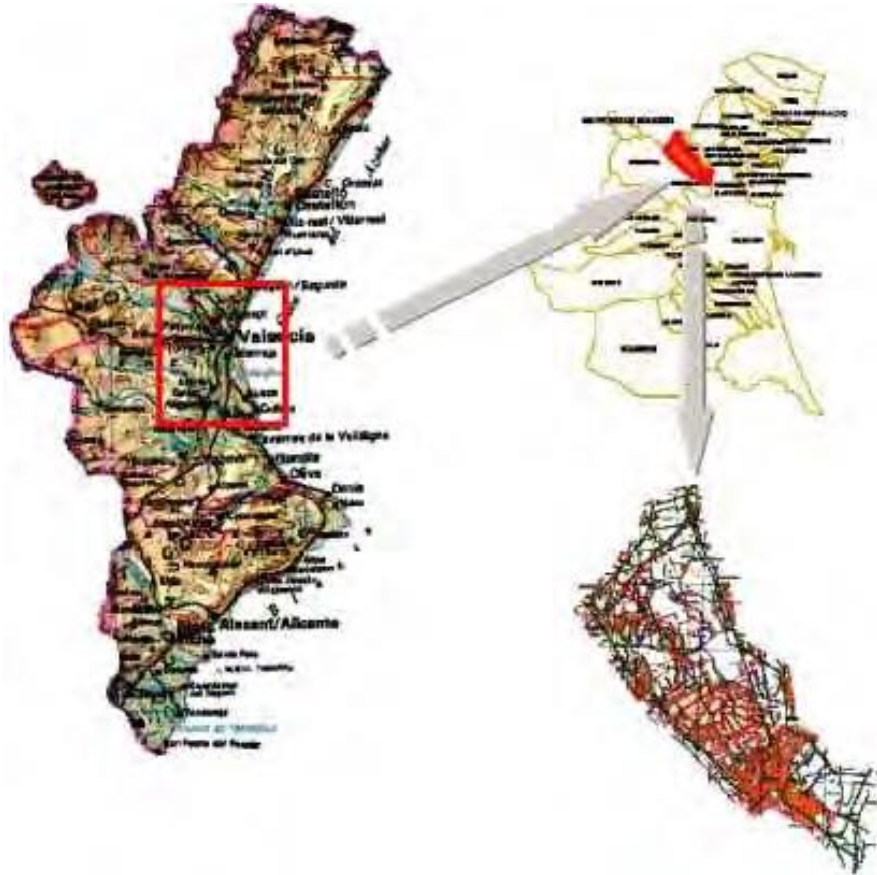


Fig. 78. Encuadre geográfico del término municipal de Godella

Una arista relevante de este plan reside en el traspaso del suelo de manos privadas a públicas. Actualmente los más de 360.000 metros cuadrados se reparten en 17 parcelas privadas, la mayor parte de ellas pertenecen a la constructora Dragados, que además se asienta en la zona de más valor. A través del plan, el ayuntamiento negociará con los propietarios para intentar adquirir este terreno gratuitamente a cambio de futuras compensaciones urbanísticas en el próximo PGOU, y de esta forma convertir los Pedreres en un suelo dotacional público. El pedregal data de la Edad Media y linda con Campolivar. De esta cantera se extraía la piedra para construcciones emblemáticas, como la Lonja de Valencia. Además, los materiales también se destinaban a la fabricación de cales y a obtener áridos de machaqueo para hormigón. Para que la protección de "Les Pedreres" sea una realidad, el ayuntamiento aprobó en pleno el pliego de cláusulas para la redacción del Plan Especial "Les Pedreres", que cuesta 50.000 euros.

El objetivo es delimitar el ámbito de actuación para proteger la zona, definir el régimen de usos permitidos y "adoptar las medidas necesarias



Fig. 79. Uno de los accesos de la cantera de Godella. Les Pedreres.

para la conservación de los bienes de interés cultural, arquitectónico y medioambiental".

En estos momentos, el PGOU clasifica "Les Pedreres" como suelo no urbanizable de protección especial.

Tesoros que perduran como las marcas que los picapedreros realizaban en las sillares extraídos de esta cantera para la construcción del Puente de los Serranos, y que no sólo forma parte de la historia de Godella sino de muchas poblaciones más.

Las canteras que levantaron Valencia guardaban un relato apasionante sobre la historia de la ciudad. Pero nadie se había acercado a la hondonada caliza de Godella para escucharlo. Hasta que un joven arqueólogo, Miquel Martí, se ha dedicado durante meses con ayuda de la asociación de vecinos de Campo Olivar a buscar las huellas que han dejado allí en los últimos 4.700 años los picapedreros de todas las civilizaciones. Sus hallazgos aportan datos inéditos sobre la historia de Valencia, desde un yacimiento eneolítico hasta la partida de nacimiento de L'Almodí.

Al pie de una ladera rocosa, Martí ha hallado los restos de La Covatella, un yacimiento del Eneolítico (entre el Neolítico y la Edad de Bronce). Pero los barrenados que se hicieron en el franquismo para sacar rocas han reducido la cueva al tamaño de una brecha. Los fragmentos de estalactitas mezclados con restos eneolíticos avalan la existencia de la cueva. Por fortuna, las explosiones lanzaron algunos restos arqueológicos hacia el exterior, lo que ha permitido a Martí encontrar, sin excavar, un ajuar funerario eneolítico, formado por un idolillo, un cristal de roca, collares de conchas y un diminuto cuchillo tallado en sílex. "El enterramiento en la cueva", precisa el investigador, "representaba el viaje de retorno al útero de la madre tierra". El idolillo es un hueso de cabra, con rasgos humanos en tonos ocres. Una suerte de salvaconduto en el viaje al más allá. Martí destaca que es el primer idolillo de este período hallado al norte del Júcar, y precisa que el cristal de roca también forma parte de los ajuares funerarios hallados en Navarrés. Los fragmentos de conchas



Fig. 80. La cantera de Godella. Les Pedreres. Desde la cara Norte.

aún conservan el agujero para trenzar el collar. Entremezclados con estos

restos ha hallado asas de las jarras que utilizaban los picapedreros romanos para saciar su sed. De este período Martí ha encontrado tres trozos de columnas acanaladas idénticas a las que se utilizaron para edificar el foro romano de Valencia. Tal vez eran piezas defectuosas o sobrantes. Lo cierto es que por alguna razón nunca llegaron a su destino. "A los romanos debió encantarles la cantera de Godella por su piedra porosa, similar a la que utilizaban en Italia", explica el arqueólogo. El ritmo de la cantera coincide con las épocas de esplendor y decadencia de la Valentia romana: desde el inicio vacilante, al apogeo de la época imperial y la escasa actividad cuando la ciudad entró en crisis. Los clavos de finales del siglo II son los últimos vestigios romanos hallados, cuando, en plena decadencia, se detuvo la construcción del foro.

Los visigodos no se dejaron ver por la cantera, pero sus construcciones, como la cripta de Sant Vicent, se alzaron con piedra de Godella. "Aprovecharon las losas de la ciudad romana en ruinas", aclara Martí, que piensa reunir sus hallazgos en un libro. La cantera apenas trabajó



Fig. 81. La cantera de Godella. Les Pedreres. Desde la cara sur-oeste.

bajo la ocupación islámica, pero tras la conquista de Jaume I "se tiró abajo una buena parte de la ciudad y Valencia volvió a demandar piedra". Martí no se ha limitado a inspeccionar el terreno. También ha buceado en el archivo de la ciudad de Valencia. Legajos analizados mil veces, pero no desde la perspectiva de la cantera, la madre de los edificios. Esa nueva visión le ha permitido fijar

la fecha en que comenzó la construcción de L'Almodí, el granero medieval: el 11 de enero

de 1497, casi un siglo antes de lo que se creía. A partir de este día, el administrador de la obra, Arcys Vinyoles, empezó a recibir 127 "carretades" (cargamentos de losas en carretas) para construir L'Almodí. Valencia estaba en una época de esplendor y había duplicado su población hasta las 75.000 almas. Y Vinyoles era el responsable de la construcción de la Lonja, L'Almodí y las Atarazanas. Para la Lonja, Vinyoles necesitó 11.144 carretades de Godella. En esa época, la roca se usó hasta para las lombardas (balas de cañón) de la Armada real. El récord de carretades lo ostenta Bernat Colom, que aportó a la ciudad 2.271 carretas llenas de losas de Godella entre 1483 y 1506. En el siglo XIX, Martí ha documentado la decadencia de la cantera, que pasó a producir losas poco labradas para entradas de carruajes, y acabó en los sesenta aportando rocas para el espigón del puerto. En los últimos años se ha convertido en el cementerio de las fincas de Valencia, acumulando toneladas de escombros. Sefa Olmos y Juan de Miguel, los vecinos que han ayudado a Martí, advierten sobre el futuro incierto de la cantera: el Ayuntamiento de Godella quiere urbanizar la explotación, sin importarle que se inundara en 1990 porque "está situada sobre unos acuíferos".



Fig. 82. La cantera de Godella. Les Pedreres.



Fig. 83. La cantera de Godella. Les Pedreres. Desde la cara sur-oeste.

Lo que muy poca gente sabe es que además de la actividad de la pedrera de Godella para la extracción de sillares de primerísima calidad, con los cantos que no tenían el tamaño suficiente o las características necesarias, así como los desechos de los picapedreros, se utilizaban para la formación de la cal. Trabajando conjuntamente picapedrero y calcineros.



Fig. 84. Panorámica de la cantera de Godella. Les Pedreres.

La cantera de Godella podemos encontrar cinco espacios con muestras de canteras diferenciadas:

- CANTERA NOROESTE: Uno de los Cantiles más modernos y espectaculares de Les Pedreres. Tiene forma de arco de aproximadamente 700 metros de desarrollo perimetral desde el Camí dels Negres por el extremo este, hasta cerca del antiguo pozo del Barón de Campolivar por el extremo opuesto.
- CANTERA SOROESTE: También dibuja o traza un arco de aproximadamente 600 m de perímetro, desde unos metros al norte del pozo del Barón de Campolivar hasta el antiguo Camino de las Canteras. En el mismo acantilado de la cantera se construyeron alguno de los chalets de Campolivar (calles Joaquín Ugarte y Avenida del Pinar).
- CANTERA NORESTE: Con una superficie conservada de unos 60 m lineales, se localiza al este de los Hornos de Cal y el Camí dels Negres. Sobre ella han sido construidos los hornos de cal y algunos viales peatonales y de ajardinamiento de la urbanización Santa Bárbara II.
- CANTERA SURESTE: Conjunto de Canteras de pequeñas dimensiones situadas al sureste de Les Pedreres, ocupando una loma de 4 ha basculada hacia el E (el cementerio municipal).
- CANTERA CENTRAL o L'ILLA: tiene forma triangular, y ocupa 7570 m². Es el elemento que imprime personalidad a Les Pedreres. La plataforma conservada no presenta ningún tipo de evidencia extractiva, a diferencia de lo que sucede con los tres lados de la isla, donde son abundantes las huellas de barrenados.

Los calcineros tenían sus propios hornos de cal allí mismo a las orillas de la cantera, y desde allí se vendía o se distribuía a quien lo demandara.



Fig. 85. Ortofoto del área de Les Pedreres de Godella.



Fig. 86. Antiguo horno de Cales Pascual. A los pies de la Pedrera.

En la actualidad, lo único que se puede apreciar en el entorno de la cantera relaciona con la cal, junto al *Camí dels Negres*, es un antiguo horno ya de época moderna de la antigua fábrica de Cales Pascual, la cual tenía sus infraestructuras a escasos 100 metros de la cantera de Godella. Es uno de los pocos ejemplos de arqueología industrial de nuestro país relacionado con la producción de cal de forma industrial.

Se trata de naves de principios del siglo XX, en las que se habilitaron hornos en batería actualmente abandonados.

En la actualidad gran parte de la cantera de Godella pertenece a la constructora Dragados y a un grupo inversor, aunque el ayuntamiento de esta localidad, está en negociaciones con sus dueños para la futura creación del Parque Natural.

Con esta intención de protección de la cantera de Godella, el ayuntamiento de esta localidad en marzo del 2011, mandó redactar el plan especial de protección de le pedreres de Godella, através de la empresa Hadit Arquitectos s.l.p.

Con los siguientes puntos como más importantes: Antecedentes, Planeamiento vigente y legislación aplicable, estudio del medio físico, estudio del medio antrópico y por ultimo infraestructuras y servicios.

5.3.1. Fotos históricas cantera de Godella.



Fig. 86. Parque Público Les Pedreres. Vista desde el norte del Lago formado en 1990.

Fotos extraídas del archivo histórico de Francisco Sáez:





PROYECTO FINAL MASTER.

“Estudio y análisis de la utilización de la cal para el patrimonio arquitectónico”





5.3.2. Cachirulos.

"Catxerulos", "Mullós" o "Cassetes de Moros"

En "Les Pedreres" de Campolivar existieron 8 "catxerulos" (en la actualidad 7, ya que uno ha sido destruido recientemente).

Se trata de un tipo de construcción muy característico de las zonas de secano del Levante español donde abunda la piedra. Este tipo de construcción popular de carácter rural se ha venido utilizando como refugio de pastores o labradores y, en este caso, como polvorines de las canteras, almacén de herramientas y refugio de los canteros.

Estas construcciones muestran un importante interés etnológico y ofrecen una amplia gama de posibilidades didácticas que hacen recomendable su conservación y mantenimiento.

Normalmente presentan planta circular, pero también las hay elipsoidales, cuadrangulares, etc. Están construidas de piedras sin devastar dispuestas en seco. El alzado interior se realiza mediante el sistema de aproximación sucesiva de hiladas horizontales, formando falsas cúpulas. Sobre la estructura de piedra hay una capa de tierra y gravas que actúa impermeabilizando la construcción.

En algunos de ellos, el acceso a la cámara se encuentra precedido de un pequeño corredor de entrada, construido con grandes sillares preparados para acoplar una puerta y piedras sin trabajar.



Fig. 88. Cachirulo que era en su día de José Alandés (el delegat) de Masarrochos, apodo por su vinculación con el facultativo de minas el cual visitaba una vez al año las canteras para ver si había alguna irregularidad y era el que lo acompañaba para ver toda la cantera.



Fig. 87. Cachirulo de la cantera de Godella. Les Pedreres.

En las paredes del interior de la cámara existen repisas o huecos, para colocar las herramientas de trabajo.

Aunque la técnica constructiva de falsa cúpula empleada es de origen muy antiguo, la presencia en su construcción de piedras en las que se pueden apreciar huellas de barrenado que confirman que su cronología es relativamente reciente, probablemente del siglo XIX.

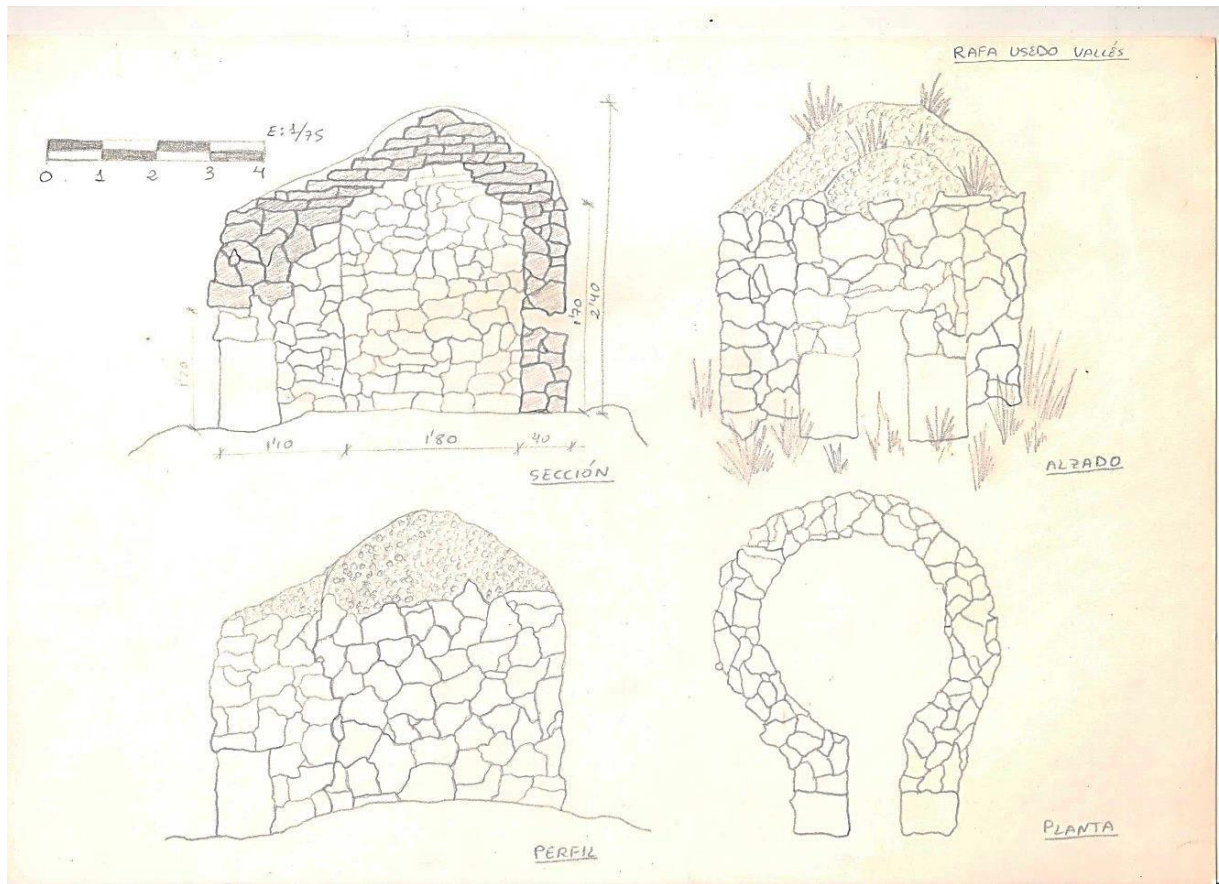


Fig. 89. Dibujo a mano alzada del Cachirulo de (Taulari) de Masarrochos, en la pedrera de Godella. Se usaba para hacer polbora y guardar herramientas.

5.4. Ubicación geográfica de los tres focos de estudio.

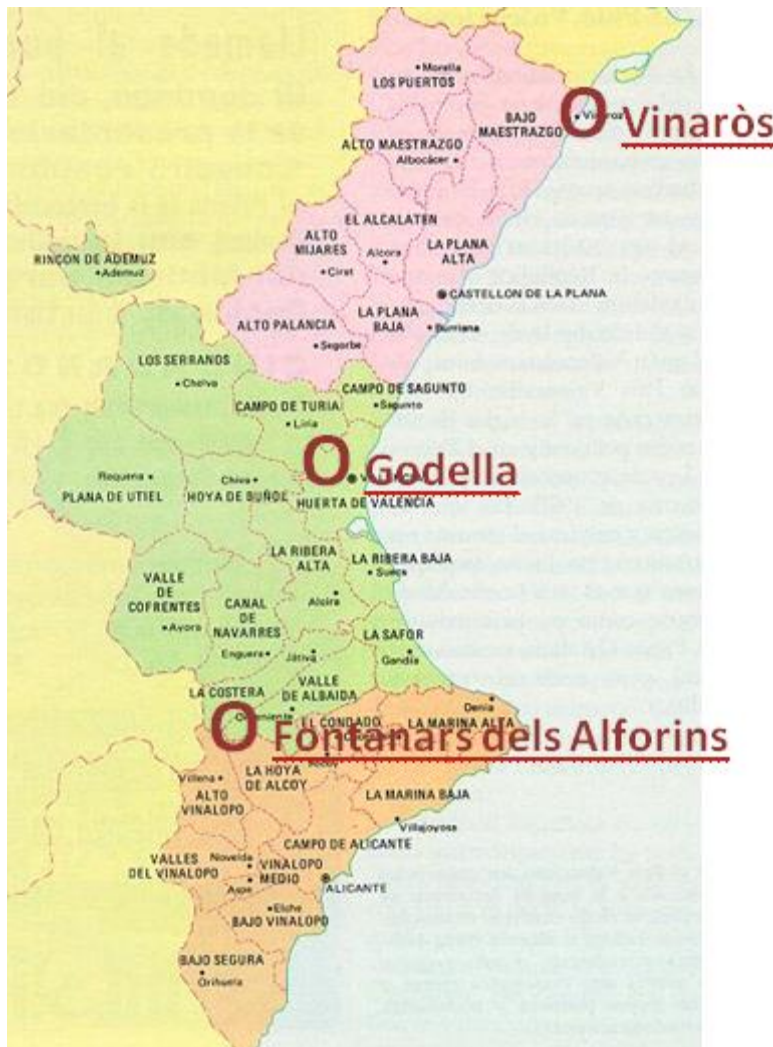


Fig. 90. Plano de ubicación de los tres focos a estudio.

Como podemos comprobar en el mapa por su ubicación geográfica, estos tres focos de estudio estaban muy bien repartidos por todo el litoral Valenciano.

En primer lugar Vinaròs, situado al norte de la comunidad distribuía cal prácticamente a toda la comarca de Castellón.

Godella situado a pocos kilómetros de la ciudad de Valencia abarcaba toda la zona centro de la comunidad.

Por último Fontanars o Fontanars dels Alforins como se conoce oficialmente, situada al sur de la ciudad de Valencia lindando con el norte de Alicante, podría distribuir a todo Alicante y al sur o interior de la ciudad de Valencia.

Esto no significaba que solo existieran estos tres focos. Todo lo contrario, la cal era tan útil y necesaria que practica mente en todos los pueblos existía alguna familia que se dedicaba al oficio del calciner.

Podemos nombrar a modo de interés el número de canteras emplazadas en la provincia de Valencia en las cuales seguramente habría algo de actividad calcinera:

- CANTERA DE ROCAFORT "EL BADALL"
- CANTERA DE MASARROJOS "LES DOS LLOMETES"
- CANTERAS DE GODELLA "LES PEDRERES" Partidas de Barranquet Vell y Barranquet Nou



PROYECTO FINAL MASTER.

“Estudio y análisis de la utilización de la cal para el patrimonio arquitectónico”

-
- CANTERA DE BURJASSOT
 - CANTERAS DE MONCADA “LES VIÑETES” Y “EL TOS PELAT”
 - CANTERA DE PICASSENT “NIÑEROLA”
 - CANTERA DE LIRIA
 - CANTERA DE RIBA-ROJA
 - CANTERA DE ALCUBLAS “Partida de la Pedrera”
 - CANTERA DE BENIGÁNIM “Partida de Alcantarilla”
 - CANTERA DE BARXETA
 - CANTERA DE QUATRETONDA “BUIXCARRÓ”
 - CANTERA DE PORTA-COELI
 - CANTERA DE NÁQUERA “Partida de la fuente del Oro”
 - CANTERA DE NÁQUERA “Partida de Penya Roja”
 - CANTERA DE SAGUNTO “Partida de la Montaña del Castillo” y “Pedrera de Santa
 - CANTERA DE TORRENTE
 - CANTERA DE SEGART
 - CANTERA DE ALGINET

Datos extraídos del trabajo final de máster de M^a Verónica Gómez Granero.

5.5. Oficio del calcinero.

Los calcineros:

El oficio ha estado desde siempre vinculado a la tierra, como una ocupación propia del sector primario, mayoritario en las sociedades de autoconsumo. Los calcineros limpiaban la sierra de ramiza, altamente inflamable, recogían la piedra calcárea que afloraba de manera natural y también la procedente de los cortes para hacer nuevos abanalamientos. La cal, que producían a partir de una cocción controlada, tenía aplicación en la obra, la agricultura y la ganadería, creando un ciclo vital casi perfecto desde el punto de vista medioambiental.



Fig. 91. Horno de Fontanars dels Alforins.

Cada calcinero llevaba su propia cuadrilla, que era esencialmente familiar y que se incrementaba con jornaleros más o menos fijos y más o menos especializados. El espacio físico del horno raramente era propiedad de quien se ponía a quemar. Los hornos estaban situados en propiedades comunales de los municipios y los calcineros los utilizaban alternándose de manera rotatoria y discrecional; o bien eran tierras de alguna heredad. La propiedad de la finca rústica en la que estaba enclavado el horno recibía beneficios, ya fuera una porción de cal o un tanto a cambio de la leña. No se cobraba nada ni por la piedra ni por el uso del horno. El trabajo eventual de calcinero a menudo se complementaba con otras ocupaciones de las habituales que proporcionaba la sierra, como cortar pinos para carbón, recoger ramas para el horno del pan, anudar esparto o hacer garrotes los días de mal tiempo, etc.

Los calcineros hacían turnos día y noche para controlar la quema, hasta que las llamas que salían por la capucha presentaban una coloración azulada y el color de la piedra adquiría la tonalidad propia de la cal. Esta era la señal del final de la cocción.

Se veían obligados a superar el horario solar, soportando inclemencias meteorológicas y sufrimientos; no obstante, el contacto directo con la naturaleza y la cal los hacía, según dicen, resistentes e inmunes a muchas enfermedades. Era un oficio duro y tenaz, donde las ganancias eran pocas en comparación a las penalidades que tenían que pasar.

Un oficio, que a pesar del transcurso de miles de años, se realiza prácticamente del mismo modo que en tiempos de los romanos, íberos e incluso mucho antes.

Los antiguos caleros decían que la cal ideal era la que llevaba al menos treinta años en reposo y la denominaban "chica" mientras que a la cal de entre veinte y treinta años la denominaban "chico".

La forma de construir un horno de cal (como algunos de los que aún se conservan en nuestros municipios), no mutó en ese extenso espacio de tiempo. Su finalidad consistía en crear cal, para emplearla en labores antisépticas, como blanqueante de viviendas en zonas calurosas, así como para aplicarla en forma de pintura, sobre la zona inferior de los troncos de los árboles.

No obstante, es necesario remarcar, que los *caleros*, han sido uno de los oficios más duros que antaño pudieron existir, ya que su tarea se efectuaba literalmente de Sol a Sol, valiéndose de un esfuerzo titánico, desde el momento en el que se comenzaba construyendo en un terraplén, así como posteriormente, a la hora de cortar manualmente los interminables montones de "malea" que servían para activarlo, pasando a la fase de romper y acarrear toneladas de piedra caliza (una por una), que en su justo sitio, habían de prenderse, para que así el horno estuviese durante un par de días en fase de combustión.

Una actividad imposible de olvidar para aquellos que la realizamos, ya que generaba un calor insoportable, que empezaba subiendo desde la parte baja de los pies, hasta extenderse en cuestión de segundos por todo el cuerpo.

Como curiosidad, es interesante saber que no pocas veces se les quemaban los "espardenyots", porque había que servir cuanto antes a los clientes, y no se podía esperar a que el horno se enfriase lo suficiente, para evitar el citado incidente.

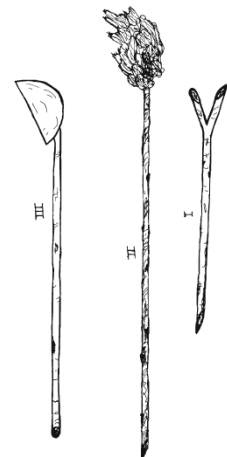
Desgraciadamente, y como muchas cosas de esta vida, su labor, irónicamente se recompensaba con un salario miserable. Un aspecto, que junto con otros elementos que no vamos a detallar, hizo que su uso acabara extinguiéndose.

A modo de definición nombraremos "Retullezo o Tolluezo" al nombre que en la antigüedad recibían los caleros de factura arcaica, hechos vaciando el suelo sobre una ladera y reforzando con pared circular de piedra.

Herramientas de los Calcineros:

En cuanto a las herramientas que se utilizaban para el trabajo del horno, existe una variada tipología. Para la extracción de la piedra caliza y su colocación en el horno tenemos las marras (martillos de madera con cabeza de hierro, preparados para moldear la piedra), los porrillos, herramientas de modelación de la piedra que según su tamaño se convertirá en ripio, cuño, trascuño o armación. Para sacar la piedra de la misma cantera se utilizaba en general el barreno y la maza.

Otras herramientas sirven para transportar la leña: el garabato, especie de palo de madera con dos guías, una para sujetar los haces de leña y la otra para tirar de ella con la mano; el calabozo, para el roce de la leña, cuando ésta se hallaba muy lejos, es una especie de arco provisto de un cabo; o también las horquillas, de madera de castaño u otro material, que sirven para meter la leña. En algún caso se hacían la horquilla de metal, con lo cual eran más resistentes.



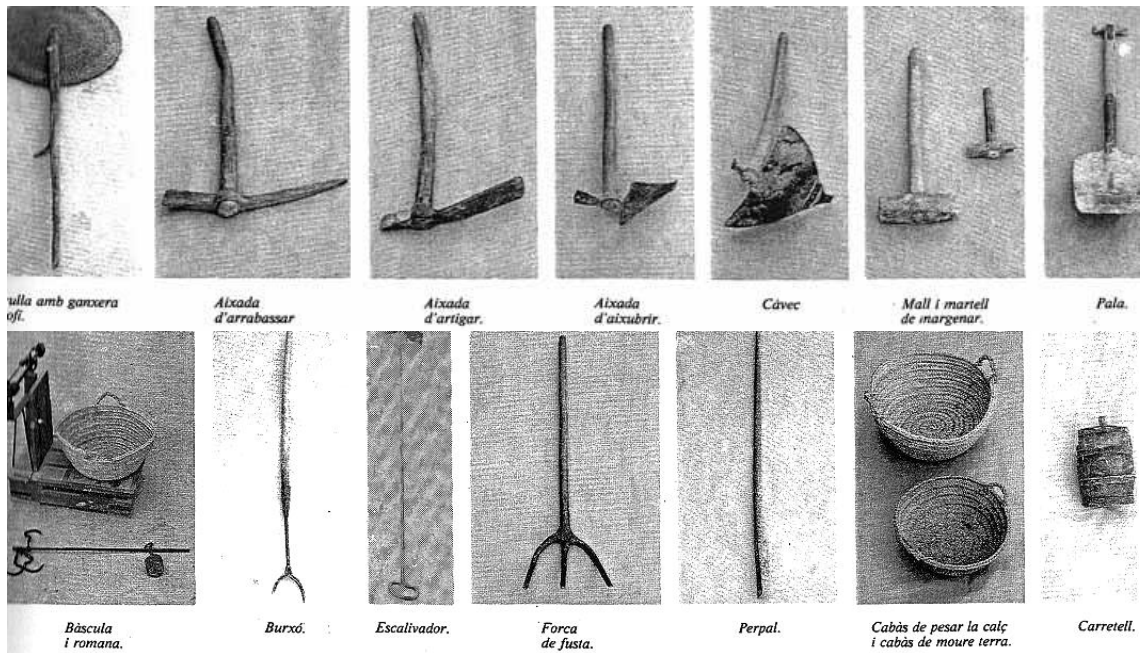


Fig. 92. Herramientas de los calcineros .

Corte y transporte de matojo.

La recogida de la leña en invierno se explica por la sencilla razón de que no se puede cocer un horno en esta época puesto que la leña corre el peligro de mojarse y no arder bien con el consecuente riesgo de “*aciscamiento*”. Esto ocurría cuando el horno quedaba saturado de combustible que no acaba de quemar, perdiendo fuerza el fuego y habiendo riesgo de que los conductos de ventilación, el “*tiro*”, quedasen obstruidos.

Como consecuencia la cal no se cuece bien.

Así pues, en invierno los caleros y horneros recorren los campos y las sierras en busca de combustible, arbustos que se cargan en burro. La leña se disponía en haces, y un conjunto de éstos conforman un chupón y siete chupones constituyen, por lo general, la carga de un mulo, y por último, en esta sucesión de unidades, varios chupones hacen un rengue.



Fig. 93. Almacén de combustible.

Labores dels "calciners". "El cortador de maleza, con su azada, segaba y hacia montones, encima de los cuales ponía piedras, para que así el viento no se los llevara. Una vez secos, este introducía "el cofí", clavando la aguja hasta la "ganxera". Después, poco a poco, se acercaba el mango hasta el suelo para que no resbalase, levantando de este modo el "gabell" y el "cofi", encima de la espalda, desde donde todo el contenido era transportado hasta las cercanías del horno".

(COATB, 1987, 7)



Consta que en época del esplendor de la cal, España poseía frondosos bosques, y ello era posible en gran parte gracias a la labor de los caleros. Esto tiene una explicación, se debe a que la materia prima que se utilizaba como combustible para cocer la cal, era precisamente, la leña

baja de los montes, y ello hacía que los mismos estuviesen siempre limpios de maleza, (primer ingrediente causante de los incendios forestales).

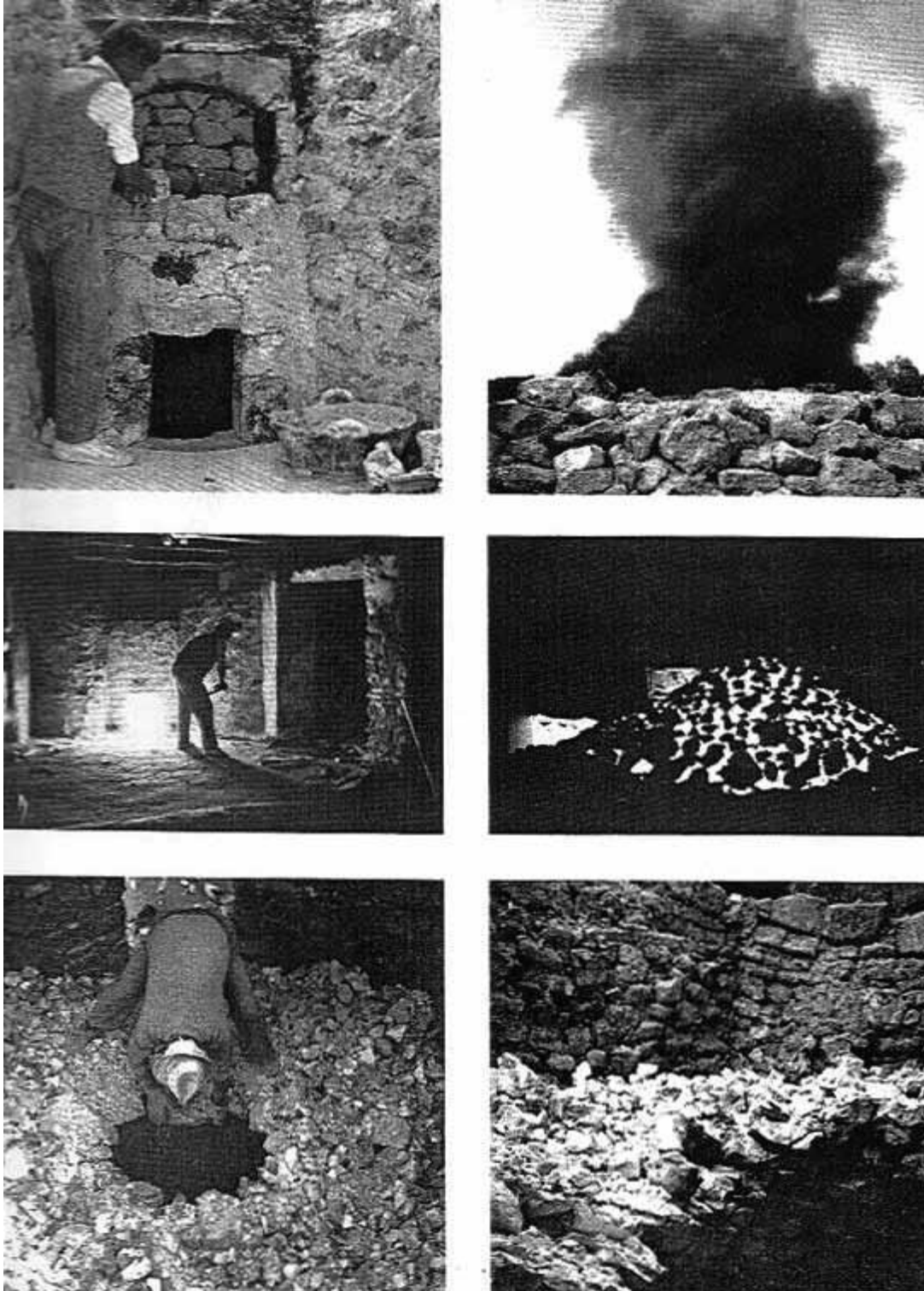


Fig. 94. En estas imágenes observamos el horno en pleno funcionamiento. El horno a punto de finalizar la fase de cocción. Corte del interior del horno con cal.

6. Última tecnología. El Grafeno.

El Grafeno es una sustancia formada por carbono puro, con átomos dispuestos en patrón regular hexagonal, similar al grafito, pero en una hoja de un átomo de espesor. Es muy ligero: una lámina de 1 metro cuadrado pesa tan sólo 0,77 miligramos. Se considera 200 veces más fuerte que el acero y su densidad es aproximadamente la misma que la de la fibra de carbono, y es aproximadamente cinco veces más ligero que el acero.

El Premio Nobel de Física de 2010 se les otorgó a Andréy Gueim y a Konstantín Novosiólov por sus revolucionarios descubrimientos acerca de este material.

El nombre proviene de intercambio –en el vocablo grafito– de sufijos: «ito» por «eno»: propio de los carbonos con enlaces dobles. En realidad, la estructura del grafito puede considerarse una pila de gran cantidad de láminas de Grafeno superpuestas.

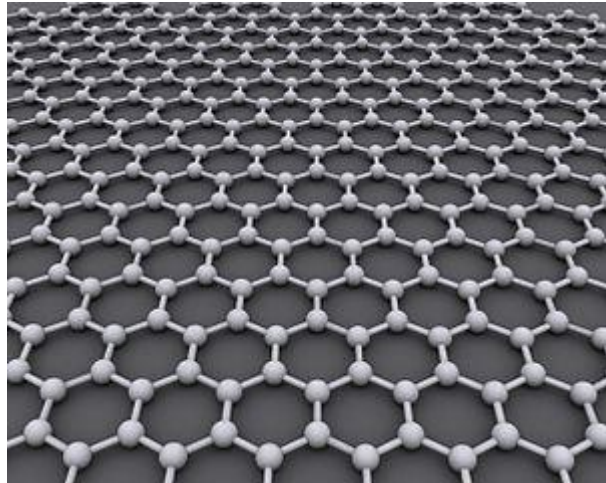


Fig. 95. Representación artística del Grafeno.

Entre las propiedades destacadas de este material se incluyen:

- Es extremadamente duro: 100 veces más resistente que una hipotética lámina de acero del mismo espesor
- Es muy flexible y elástico.
- Es transparente.
- Autoenfriamiento (según algunos científicos de la Universidad de Illinois).
- Conductividad térmica y eléctrica altas.
- Hace reacción química con otras sustancias para producir compuestos de diferentes propiedades. Esto lo dota de gran potencial de desarrollo.
- Sirve de soporte de radiación ionizante.
- Tiene gran ligereza, como la fibra de carbono, pero más flexible.
- Menor efecto Joule: se calienta menos al conducir los electrones.
- Para una misma tarea que el silicio, tiene un menor consumo de electricidad.
- Genera electricidad al ser alcanzado por la luz.
- Razón superficie/volumen muy alta que le otorga un buen futuro en el mercado de los supercondensadores.
- Se puede dopar introduciendo impurezas para cambiar su comportamiento primigenio de manera que, por ejemplo, no repela el agua o que incluso cobre mayor conductividad.

- Se autorrepara; cuando una lámina de Grafeno sufre daño y se quiebra su estructura, se genera un 'agujero' que 'atrae' átomos de carbono vecinos para así tapar los huecos.
- En su forma óxida absorbe residuos radioactivos.
- Alta movilidad de sus electrones, una propiedad que eleva su potencial uso en los veloces nano dispositivos del futuro.
- Es prácticamente transparente y tan denso que ni siquiera el helio puede atravesarlo.

A modo de curiosidad, para hacerse una idea de la capacidad de estas propiedades mecánicas, el premio Nobel hizo una comparación con una hamaca de Grafeno de un metro cuadrado de superficie y un solo átomo de espesor. Esta hamaca de Grafeno podría soportar hasta 4 kg antes de romperse (equivalente al peso de un gato). En total esta hamaca pesaría lo mismo que uno de los pelos del bigote del gato, menos de un miligramo.

3 millones de láminas de Grafeno apiladas una encima de otra 1mm de espesor.

El repentino aumento del interés científico por el Grafeno puede dar la impresión de que se trata de un material nuevo. En realidad se conoce y se ha descrito desde hace más de medio siglo. El enlace químico y su estructura se describieron durante el decenio de 1930. Philip Russell Wallace calculó por primera vez (en 1949) la estructura electrónica de bandas. Al grafeno se le prestó poca atención durante décadas al pensarse que era un material inestable termodinámicamente ya que se pensaba que las fluctuaciones térmicas destruirían el orden del cristal dando lugar a que el cristal 2D se fundiese.

El Grafeno añadido a los morteros de cal, le proporciona Nanotecnología aplicada a la protección de superficies y preservación del aire



Fig. 96. Representación tridimensional del Grafeno.

La nanotecnología es la ciencia que estudia, diseña, manipula y controla la materia a nivel atómico y molecular (nanomateriales), utilizando como unidad de medida el nanómetro, equivalente a la millonésima parte de un milímetro, es decir, mucho más pequeño que un virus e incluso a veces que una molécula.

Esta ciencia genera propiedades físicas y químicas totalmente nuevas hasta ahora, y sus múltiples aplicaciones las podemos ver en áreas tan distintas como la ingeniería electrónica, la protección de superficies, la medicina, la cosmética, e incluso

la industria alimentaria, por ejemplo.

En función de las nanopartículas aplicadas a una superficie, se generarán, entre otras, unas propiedades físicas como por ejemplo:

- **HIDROFOBIA:**

Repelencia al agua

La superficie protegida tiende a expulsar el agua. De esta forma la gota se concentra al no ser aceptada por el material, y las superficies se mantienen impermeables.

- **HIDROFILIA:**

Atracción al agua

La gota se dispersa sobre la superficie aplicada, generando una película que protege el material de agentes externos.

En función de las propiedades, podemos dividir en dos grupos la gama de productos nanotecnológicos aplicados a la protección de superficies.

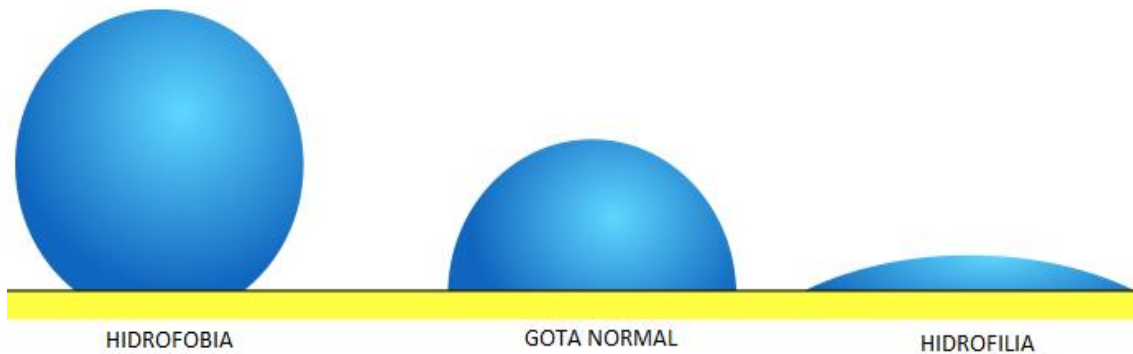


Fig. 97. Representación diferencial entre Hidrofobia e Hidrofilia.

- **SUPERHIDRÓFILA:**

Que necesita la luz ultravioleta (UV) para ejercer sus propiedades de protección de superficies. Se basa en el principio activo de la fotocatalisis, usado como recubrimiento y fotocatalizador en lechos fijos, formando oxígenos radicales que actúan descomponiendo casi cualquier clase de material orgánico al contacto con nuestro nanorecubrimiento.

Se puede utilizar sobre la mayoría de las superficies de los espacios al aire libre y también en recintos interiores. Entre estas superficies están el vidrio, la piedra, el hormigón, la cal, la cerámica, los metales como el acero o el aluminio, polímeros y todo tipo de plásticos, las fibras textiles y el cuero.

Entre sus propiedades más importantes destacan:

- Son autolimpiables por la acción del agua y de la luz solar o artificial mediante la fotocatalisis.
- No habrá formación de gotas sobre el vidrio, ya que la lluvia forma una fina película sobre éste y el cristal de la ventana se mantiene limpio y uniforme.

- La visibilidad desde el interior o desde el exterior no se altera. La vista a través de un cristal de una ventana recubierta es más transparente que a través de un cristal de la ventana sin revestir
- La fina película de agua sobre la superficie soporta la evaporación si hace calor. Esto MEJORA LA REFRIGERACIÓN DEL EDIFICIO, AHORRA ENERGÍA Y PROTEGE DEL MEDIO AMBIENTE.
- En las fachadas se garantiza que no se formarán ni musgos ni algas en la superficie. Las partículas de suciedad, gérmenes y esporas de moho se descomponen de manera activa y desaparecen también.
- El recubrimiento en las zonas de sombra de los edificios hace su efecto sin el esfuerzo de la luz solar directa.
- El recubrimiento es transparente, pasa la luz pero protege de los rayos ultravioleta de forma ilimitada.
- Además de los efectos positivos que ejerce sobre ventanas, es perfecto para la madera, las superficies pintadas o las vallas publicitarias.
- Reduce la contaminación ambiental y purifica el aire, por la alta oxidación que genera.
- Además es antialérgico.

Se ha comprobado que 1000m² con este recubrimiento en fachadas, limpian el aire de partículas contaminantes, en tan sólo 12 horas de luz de día, tan eficazmente como 70 grandes árboles, o lo que es lo mismo, 1m² de aplicación purifica 20.000 litros de aire (20 m³) cada día. En los espacios interiores neutraliza los olores de forma totalmente inocua, como el del monóxido de carbono de los coches que se filtra a través de las rejillas de ventilación de los edificios, el tabaco, las grasas cocinadas, etc.

Es capaz de descomponer sustancias orgánicas por fotocatalisis y convertir los malos olores y los gases en agua y dióxido de carbono.

Los olores desagradables no serán recubiertos por fragancias, ni absorbidos químicamente, reduciéndose también el uso de los costosos sistemas de filtración de aire, con el consiguiente ahorro de energía.

La forma más efectiva y sobre todo más rentable para eliminar los contaminantes del aire, bacterias, gérmenes y olores desagradables, es aplicar este recubrimiento nanotecnológico sobre la superficie del techo y las paredes, dotándoles de un sistema de luz ultravioleta, y aprovechar para tal fin, la convección y la circulación natural del aire en los espacios interiores. La eficacia se puede demostrar midiendo el nivel de compuestos orgánicos volátiles (C.O.V.) y de olores, antes y después de la aplicación del revestimiento.

Este recubrimiento nanoestructurado, tiene propiedades tan importantes como la repelencia al agua (hidrófugas) y al aceite (oleófugas).

El llamado "efecto loto", generado de forma natural en las hojas de la planta de loto, es el origen de estas propiedades.

Repelen la humedad y sus filtraciones, y convierten las superficies porosas en impermeables.

Además, tienen otras múltiples propiedades, como



Fig. 98. Planta de loto, "Efecto loto".

son la gran resistencia térmica o las alternativas a los viejos conocidos recubrimientos multicapa o tapaporos.



Fig. 99. Horno en pleno proceso de calcinación.

La CAL con NanoFibras Grafeno adquiere resistencia a tensiones diagonales que le proporcionan características únicas de adherencia sobre cualquier superficie. Además le proporciona:

- Resistencia a tensiones diagonales
- Características únicas de adherencia
- Conductividad eléctrica y térmica
- Fuerza y resistencia
- Absorbe CO₂ en su secado
- Alta elasticidad y dureza
- Muy ligero
- Biocida
- Transpira
- Impermeable
- Reduce la transferencia de sonido
- Reduce el consumo de energía
- Cómoda y rápida aplicación
- Es ecológico
- Es bactericida y fungicida
- No lleva ninguna producto químico

A modo de curiosidad comentaremos que el nuevo Trencadís con el que se a revestir las planchas metálicas del Palacio de las Artes Reina Sofía uno de los emblemáticos edificios de la Ciudad de las Artes y las Ciencias de Valencia después de su fracaso de agarre inicial, se va aplicar sobre dichas planchas metálicas antes de pegado con cola, una capa de una pintura de exteriores mezclada con Grafeno. Esta combinación la hace extremadamente flexible, transpirable, que tenga agarre en casi cualquier superficie e impide que se cuartee. Dicho material se llama Graphenstone y es la solución propuesta por la empresa Graphenano.

Graphenstone		SILICATO (Sylitol Bio)		PLÁSTICA (Supercarra)		PINTURA CAL (Ibercal)	
ADHESIÓN MEDIANTE ENSAYO DE ARRANCAMIENTO							
EN 1542:2000	Sistema Flexible 0,81N/mm2		NO CLASIFICA		NO CLASIFICA		NO CLASIFICA
RENDIMIENTOS M2/L o KG DOS MANOS							
DIN 13300 EN 6504-3:2007	11,92	DIN 13300	3,5	DIN 13300	3,5-4,5	DIN 13300	0,5-2
ACCIÓN MICROORGANISMOS. METODO A Y B							
ISO 846	I-1		NO CLASIFICA		NO CLASIFICA		NO CLASIFICA
PROPIEDADES FÍSICAS							
Peso Especifico 1,20gr/l	Contenido Sólido 65%	Peso Especifico 1,50gr/l	Contenido Sólido No Clasifica	Peso Especifico 1,40gr/l	Contenido Sólido 61%	Peso Especifico 1,62gr/l	Contenido Sólido 68%
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA							
EN 23993	0,10W/(m*K)		NO CLASIFICA		NO CLASIFICA		NO CLASIFICA

DATOS OBTENIDOS y EXTRAÍDOS DE LAS FICHAS TÉCNICAS EMITIDAS POR CADA FABRICANTE

Graphenstone		SILICATO (Sylitol Bio)		PLÁSTICA (Supercarra)		PINTURA CAL (Ibercal)	
DURABILIDAD Y RESISTENCIA							
EN ISO 13300	CLASE I	EN ISO 13300	CLASE 3	EN ISO 13300	CLASE I	EN ISO 13300	NO CLASIFICA
CONTENIDO EN PRODUCTOS QUÍMICOS							
COV's 0	HAV'S <0,001	COV's <1gr/l	HAV'S No Clasifica	COV's 40gr/l	HAV'S No Clasifica	COV's No Clasifica	HAV'S No Clasifica
ABSORCIÓN O2							
KG/15l	4,8	KG/15l	0	KG/15l	0	KG/15l	NO CLASIFICA
TRANSPIRABILIDAD, PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA							
EN 7783/2	Clase 1 Sd=0,023m	DIN EN 1062	Sd<0,02m		No Clasifica		No Clasifica
ABS, CAPILARIDAD, PERMEABILIDAD AL AGUA							
EN 1062-3	w<0,1		NO CLASIFICA		NO CLASIFICA		NO CLASIFICA

DATOS OBTENIDOS y EXTRAÍDOS DE LAS FICHAS TÉCNICAS EMITIDAS POR CADA FABRICANTE

Fig. 100. Tablas comparativa entre pinturas normales y pintura con Grafeno.

Podemos poner como ejemplo de dicha técnica aplicada al patrimonio arquitectónico, la rehabilitación de las cubiertas de la catedral de Cádiz.



Fig. 101. Cubierta de la catedral de Cádiz, rehabilitada con pintura de cal con Grafeno.

Tal actuación ha despertado el interés en el campo de la Arquitectura en todo el mundo, interesados por las técnicas que se han utilizado.

El arquitecto gaditano Alberto Jiménez fue el encargado de esta intervención, a petición del Cabildo Catedral, que ha sido el que ha financiado la obra.

Durante los meses de mayo y junio se realizaron trabajos de limpieza, retirada de vegetación y suciedad acumulada, saneando las zonas afectadas.

Una vez terminados estos trabajos previos, se aplicó varias capas de pintura a base de cales naturales con Grafeno, en todo el suelo de la cubierta de aproximadamente, tres mil metros cuadrados que tienen las cubiertas del primer templo de la Diócesis de Cádiz y Ceuta.

La novedad no reside precisamente en este último aspecto, la utilización de materiales ecológicos, concretamente una cal puramente natural que se fabricó en la localidad sevillana de Morón, si no en la incorporación a la pintura de cal de NanoFibras Grafeno. Este aspecto ha despertado el interés en el campo de la Arquitectura a nivel internacional.



Fig. 102. Cubierta de la catedral de Cádiz, antes de su rehabilitación.



Fig. 103. Cubierta de la catedral de Cádiz, después de su rehabilitación.

Esta nueva creación es un recubrimiento ecológico que, utilizando materiales nanotecnológicos de baja densidad y combinándolos con materiales naturales que controlan los agentes contaminantes, puede ser utilizado tanto en interiores como en exteriores, convirtiéndose en la solución más avanzada en pinturas, que además tiene componente ecológico. No se descascarilla, no se cuartea, es sólida y además tiene una larga durabilidad, pudiendo pasar hasta 10 años hasta que vuelva a ser necesario pintar la superficie, haciendo menos costoso y molesto su mantenimiento.



7. Aprendiendo a utilizar la Cal.

7.1. ¿Qué tipo de cal necesito?

En estas líneas pretendo dar algunas pautas para la elección del tipo de cal más apropiado para cada obra, y en cada momento, ya que la gran variedad de tipos de cal que se comercializan puede llegar a confundir al consumidor. Por otra parte, es frecuente que en los comercios de materiales de construcción no sepan dar un asesoramiento adecuado sobre el tema, generalmente por desconocimiento sobre este material.

Desgraciadamente, el uso de la cal está siendo abandonado y en pocos establecimientos disponen de varios tipos de cal o de cal con una calidad adecuada. Espero poder ordenar la información de un modo coherente para que sirva de ayuda a quien lea este texto.

Los factores que van a determinar la elección de un tipo de cal son muy variados. A grosso modo se pueden dividir en:

-**Ubicación de la obra:** interior o exterior.

-**Tipo de obra:** solera, revestimientos exteriores/interiores, pintura, muros de carga, tabiques, elementos decorativos.

-**Materiales con los que se va a combinar la cal:** piedra, balas de paja, ladrillos ceramicos, adobe/tapial, o bloques de hormigón.

-**Disponibilidad:** no en todas las zonas es posible encontrar el tipo de cal deseado.

-**Volumen de la obra.**

-**Cantidad de dinero del que se dispone.**

-**Tiempo para la ejecución.**

Analizando cada factor por separado:

- **Ubicación de la obra:**

Quizás sea el factor más importante. Las exigencias cuando se trata de una obra al exterior, sobre la que van a incidir directamente la lluvia, los rayos del sol, la humedad, el viento y los cambios de temperatura, son mayores.

Así, si el clima es cálido y seco, se podrá emplear indistintamente cal en pasta o cal aérea en polvo. Incluso, si llueve poco, es posible emplear una lechada de cal (empleando cal viva) sobre un revoco de arcilla. En este último caso será necesario aplicar varias capas de lechada de cal, mezclando la última con un aditivo que confiera a la mezcla propiedades hidrorrepelentes, como el aceite de linaza. Se ha de tener en cuenta que la lechada de cal necesitará un mantenimiento anual para que no pierda su eficacia.

Si se trata de un lugar en el que las variaciones de temperatura son bruscas habrá que tener en cuenta que la obra se ha de realizar en temporadas en las que dichas variaciones sean lo más suaves posible. Normalmente, en lugares como el centro de España es mejor hacer la obra en primavera y principios de verano. En este tipo de climas no se han de llevar a cabo las obras en invierno, puesto que la cal en temperaturas inferiores a los 8º C no fragua del todo bien.



Si el clima es muy húmedo y llueve con frecuencia, aunque se pueden emplear la cal en pasta y la cal aérea en polvo, los resultados son mejores si se utiliza cal hidráulica natural.

- **Tipo de obra:**

-Soleras: se pueden realizar soleras con cal en pasta, cal aérea en polvo y cal hidráulica natural. La elección dependerá del aislamiento que se disponga debajo de la solera. Si no se dispone de una barrera contra la humedad de capilaridad (no es aconsejable) la mejor opción es la cal hidráulica natural. También influye el tiempo de ejecución de la obra y la carga que va a soportar la solera. En casos en los que se necesite una mayor rapidez en el fraguado y/o la solera soporte peso, la opción idónea es la cal hidráulica natural.

-Revestimientos exteriores: es posible realizarlos con cal en pasta o con cal aérea en polvo. También se pueden combinar ambos materiales, utilizando para el enfoscado cal aérea en polvo y para los enlucidos cal en pasta. En cualquier caso, una opción buena para los muros orientados al norte y para zócalos exteriores es la cal hidráulica natural. Así, se puede hacer un zócalo de 1 metro de altura desde el suelo con cal hidráulica natural y el resto del revestimiento exterior con cal aérea (pasta y/o polvo).

-Revestimientos interiores: en este caso, las exigencias estéticas son las que normalmente priman. Para un acabado muy fino es mejor utilizar cal en pasta apagada durante un mínimo de 6 meses, ya que se trabaja mejor y se asegura la ausencia de caliches que puedan dañar con el tiempo los enlucidos.

-Pintura: para realizar una pintura a la cal se suele utilizar cal viva en terrones, recién apagada. No obstante, también se pueden obtener buenos resultados con cal en pasta a la que se añade agua. Es posible, incluso, añadir a la cal en pasta agua y un árido muy fino como la marmolina para obtener una superficie rugosa que sirva de agarre mecánico a las posteriores lechadas, que se aplicarán si carga.

-Muros de carga: es posible realizar dicha obra utilizando cal hidráulica natural. El peso que pueden recibir los muros estará determinado sobre todo por el material con el que se combine la cal. De este modo, encontramos miles de ejemplos de edificios cuyos muros de carga están hechos con piedra y cal, con mampuesto y cal e, incluso, con tapiales calicostrados. Se pueden hacer muros de carga moderados con piedra/ladrillo/bolques y cal en pasta o cal aérea en polvo.

-Tabiques: para levantar tabiques en el interior de un edificio se puede utilizar indistintamente cualquier tipo de cal. Es más, es posible levantar tabiques interiores con piedra/ladrillo/bloques/mampuesto y una mezcla de arcilla, arena y paja. Este método ha sido empleado durante muchos siglos en las construcciones más modestas con buenos resultados.

-Elementos decorativos: en este caso nos referimos a esgrafiados, estucados y pinturas murales. Para este tipo de elementos la cal añeja (al menos 1 año de apagado) en pasta es el material idóneo. De hecho, la mayoría de los tratados escritos sobre este tipo de técnicas recomiendan el uso de cales apagadas durante mucho más tiempo.

- **Materiales con los que se va a combinar la cal**



-Piedra: en el caso de construcción con sillares regulares, el mortero de cal actúa como material que permite deslizar un sillar sobre otro, reduciendo la fricción entre los sillares y facilitando el asiento de los bloques. Los sillares son en sí muy resistentes a compresión, por lo que no es necesario contar con un conglomerante que ofrezca valores muy altos de resistencia. Cualquiera de los tipos de cal es válido para construir con sillares.

Si el muro se va a levantar con mampostería, es decir, piedras irregulares, se necesitará más cantidad de mortero/argamasa para asentar las piedras. Para ello se puede emplear tanto cal aérea en polvo como cal en pasta. Dependiendo de la orientación, las condiciones climáticas y la época del año, la construcción de este tipo se verá limitada por el tiempo de endurecimiento de la cal.

El tiempo de endurecimiento no es de carbonatación. La carbonatación total del hidróxido cálcico se produce lentamente, con el paso de los años. El endurecimiento del mortero es una primera fase, en la que éste pierde agua y plasticidad, permitiendo al trabajador seguir levantando muros.

Así, generalmente, los muros de mampostería no permiten levantar una altura superior a 1 metro en una jornada. Si las condiciones climatológicas son favorables, al día siguiente se podrá proceder con la construcción, levantando 1 metro más. Si el mortero sigue ligeramente plástico se deberá esperar hasta que endurezca más.

Esto puede suponer un contratiempo en caso de contar con abundante mano de obra o con poco tiempo para construir. Si es así, aconsejo el uso de cal hidráulica natural NHL5. También es posible hacer un mortero combinando cal aérea en polvo con cal hidráulica natural en una proporción de 4 partes de cal aérea y 1 parte de cal hidráulica natural.

-Balas de paja: En la construcción con balas de paja la cal no sirve para el levantamiento de muros o tabiques, sino que se emplea como revestimiento protector de las balas de paja. Por ello, seguiremos las recomendaciones ya descritas para los revestimientos.

En cuanto al revestimiento de balas de paja con mortero de cal, no hay datos que garanticen su durabilidad. Pero por lo general es mejor aplicar primero un revestimiento a base de arcilla y arena. Esto se debe a la gran plasticidad de las balas de paja, que contrasta con la rigidez del mortero de cal, creando un comportamiento diferencial ante los movimientos y los cambios volumétricos del muro de balas de paja.

-Ladrillos cerámicos: con este tipo de material se puede utilizar cualquier tipo de cal (aérea en polvo, en pasta, hidráulica natural). Se deberá tener en cuenta el endurecimiento del mortero. La cal aérea en polvo y la cal en pasta no permiten levantar más de 1 metro aproximadamente. Con la cal hidráulica natural se pueden levantar alturas superiores en una jornada.

-Adobe/tapial: sobre muros hechos con mezclas arcillosas se puede aplicar cualquier tipo de cal. Lo que se ha de tener en cuenta es que las arcillas son muy absorbentes, por lo que el muro deberá estar bien humectado a la hora de aplicar cal. De lo contrario, el agua del mortero será absorbida por el muro, provocando posteriores grietas y desprendimientos de los enlucidos/enfoscados.

-Bloques de hormigón: Al igual que con los ladrillos cerámicos, en este caso también se puede utilizar, tanto la cal aérea en polvo o en pasta como la cal hidráulica natural.

A continuación presento unas fichas para completar este apartado donde se podrá observar los rendimientos y coste de las aplicaciones e usos de la cal.

7.2. Fichas de técnicas con Cal.

FICHA CONSOLIDACIÓN Y FIJACIÓN DE SUPERFICIES

FTC 01

Descripción: Cubrimiento de la superficie mediante agua de cal.

Palabras claves: Transparente, fijación, transpiración, económico, natural, antiséptico.

Objetivos: Fijación de áreas frágiles o descohesionados.

Materias primas:

El agua de cal, esta agua es un líquido transparente, procedente de la curación de cal grasa en pasta, procedente de una fabricación artesanal y elaborada de calizas de muy elevada pureza.

Tipos de agua de cal:

- 1.) Agua sobrante, procedente de apagado/curación de la cal grasa en pasta joven (de 6 meses o más tiempo de curación), eventualmente movida varias veces.
- 2.) Agua de cal procedente de la centrifugación de cal grasa en pasta muy añeja (decenas de años de curación).



Fig. 104. Cripta de las Escuelas Pías tratada mediante agua de cal.

Campos de uso principales:

En la restauración de monumentos, en función de consolidación.

Fijación de áreas frágiles o descohesionados de morteros de cal (morteros en muros de fábrica de ladrillo, calicestrados, rejunteados, revocos, estucos...), fijación de piedra caliza, de pintura al fresco y teñidos de piedra caliza.

Precauciones:

Proteger el agua de cal del aire para evitar la carbonatación de su superficie, ya que de esta forma se va perdiendo la efectividad de su acción (cubrir el recipiente con una hoja de poliestireno, por ejemplo).

PH elevado, trabajar con guantes y gafas de protección.

El agua de cal puede incrementar el PH de superficies a tratar hasta 14 (proteger en su caso superficies lindantes).

Funcionamiento:



El agua de cal presenta iones Ca^{2+} y OH^{-} .

Por difusión en los poros de la superficie a tratar, saturada con agua previamente, penetran los iones Ca^{2+} y los grupos oxidrilo (OH^{-}). A continuación se produce la carbonatación, por lo cual las partículas, sueltas por pérdida de conglomerante, lo recuperan de nuevo.

Aplicación:

Tras su limpieza (mecánica, con agua, etc.), la superficie se satura con agua potable, mejor aún agua pura o destilada, con menos tensión superficial, para facilitar una entrada más profunda e intensa de agua de cal en los poros de la pared.

A continuación se nebuliza el agua de cal con una bomba manual u otro sistema spray y se para cada vez que la superficie muestra un débil brillo. En un periodo de varios días se efectúan, según grado de deterioro, hasta 40 aplicaciones, si es con agua de cal tipo 1. Considerablemente menos aplicaciones si es con agua de cal tipo 2, más rico en iones que primero.

La aplicación puede continuar mientras la superficie absorba, pero el exceso de agua no absorbido se debería de quitar inmediatamente tras cada aplicación, para evitar la carbonatación en superficie y la consecuente reducción de penetración en las aplicaciones posteriores.

Ventajas:

La permeabilidad al vapor de agua de la Cal facilita la transpiración de la superficie, que favorece la creación de un clima interior de bienestar, evitándose de esta forma la humedad que provocó los desconchamientos.

Además es un producto muy económico, fácil de aplicar y en el que no se necesita mano de obra cualificada.

Propiedades antisépticas, derivadas de la elevada alcalinidad.

Producto natural y ecológico.

Mantenimiento:

Ninguno.

Coste de aplicación:

m² Consolidación de superficies. 3,18€

Tratamiento superficial de protección, para la consolidación y el sellado de revestimiento absorbente deteriorado, en paramentos verticales u horizontales, mediante la aplicación de 115 g/m² de agua de cal.

Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	Precio unitario	Precio partida
	kg	Imprimación incolora, a base de agua de cal, para la consolidación y protección frente a desconchones y humedad de revestimientos y soportes absorbentes.	0,115	4,69	0,54
	h	Peón especializado revocador.	0,150	16,58	2,49
	%	Medios auxiliares	2,000	3,03	0,06
	%	Costes indirectos	3,000	3,09	0,09
Coste de mantenimiento decenal: 0,48€ en los primeros 10 años.				Total:	3,18

FICHA ENCALADO O ENJABELGAR

FTC 02

Descripción: Lechada de cal

Palabras claves: Transpiración, pigmentos, blanqueado, económico, natural, antiséptico.

Objetivos: Blanqueado de la superficie interior o exterior.

Materias primas:

El blanqueado, encalado o aplicación de lechada de cal, es una técnica que proporciona una apariencia opaca y muy blanca a las superficies en las que se aplica. Con una mezcla hecha de cal y en ciertas zonas también se añade sal, y alumbre.

Campos de uso principales:

Blanqueado interior y exterior de superficies. Su popularidad se debe a que, al reflejar la radiación solar, el color blanco consigue que los muros absorban menos energía calorífica, por lo que los interiores de las casas se mantienen más frescos. Además desinfectará nuestra casa y tendrá todas las cualidades de la cal: Transpirabilidad y flexibilidad.

Uno de sus usos ha sido por gran poder desinfectante, la aplicación en cuadras, frutales, viviendas, aljibes, etc.

Hay muchas superficies como la madera, el ladrillo y la piedra, que pueden tratarse con éxito de este modo. El encalado brinda protección a estas superficies contra la intemperie, lo que permite que duren más tiempo en mejores condiciones.



Fig. 105. Fachada encalada con cal.

Ventajas:

La cal permite la necesaria transpiración de los muros, por lo que el encalado es un buen sustituto de las pinturas acrílicas o plásticas, las cuales no siempre conviene usar en construcciones antiguas pues, al ser revestimientos más impermeables, pueden provocar retenciones indeseadas de humedad en el cerramiento.

Además de ser un material barato y fácil de utilizar.

Propiedades antisépticas, derivadas de la elevada alcalinidad.

Producto natural y ecológico.

Pigmentación:

Tiene que utilizar pigmentos que no alteren sus propiedades en ambientes alcalinos, estos pigmentos serán lo más mineral posible, nunca orgánicos. Tienen que ser los óxidos de hierro artificiales y las tierras naturales.

Funcionamiento:

Básicamente una pintura puede definirse como un material compuesto de aglomerante, pigmento y agua. En el caso de la pintura de cal se simplifica, porque el aglomerante y el pigmento son la misma cosa: la cal.

Aplicación:

Para poder realizar el encalado, se debe mezclar la cal grasa apagada con agua hasta que la mezcla alcance la consistencia de una pintura.

Una vez que todos los ingredientes hayan sido mezclados completamente, deja que la lechada de cal repose durante toda la noche.



Fig. 106. Fachada encalándose con cal.

Se aplica la pintura en la pared utilizando siempre brocha o pincel, nunca con rodillo ni con máquina.

Una buena pintura de cal se debe aplicar en veladuras (capas muy transparentes) sucesivas y estas, una a plomo y la siguiente a nivel (hasta ocho capas). Para esto debéis preparar una pintura con esta dosificación: 1 volumen de cal grasa (en pasta) o de hidrato por 4 a 7 de agua, cuanto más espesa sea la pintura más riesgo hay de que posteriormente manche.

Si la queréis más cubriente esta otra dosificación: 1 volumen de cal grasa (en pasta) por 2 a 3 volúmenes de agua y esta otra dosificación: 1 volumen de hidrato por 3 a 4 volúmenes de agua.

La superficie encalada no quedará muy blanca inmediatamente después de la aplicación, pero a medida que seque, el acabado se iluminará y adquirirá una densidad considerable.

La pintura de cal no es "perfecta", porque se puede ver la mano del que lo hizo y cómo al final de los brochazos se concentra un poco más de color, aunque nos parezcan inapreciables.

Mantenimiento:

Entre sus desventajas, figuran cierto deterioro y suciedad con bastante facilidad, por lo que las viviendas se deben pintar con cierta frecuencia, una vez al año.

Coste de aplicación:

m² Pintura a la cal para exterior e interiores. 4,96€

Pintura a la cal, color a elegir, aplicada con brocha, mediante mano de fondo (rendimiento 0,15 kg/m²) y mano de acabado (rendimiento 0,15 kg/m²), sobre paramento vertical de mortero, piedra o ladrillo.

Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	Precio unitario	Precio partida
	kg	Pintura a la cal, a base de cal grasa completamente apagada y reposada, tierras colorantes, muy permeable al vapor de agua, resistente a la contaminación urbana, a los rayos UV y a los gases de la combustión, color a elegir, aplicada con brocha.	0,300	9,95	2,99
	h	Oficial 1ª pintor.	0,101	17,24	1,74
	%	Medios auxiliares	2,000	4,73	0,09
	%	Costes indirectos	3,000	4,82	0,14
Coste de mantenimiento decenal: 10,52€ en los primeros 10 años.				Total:	4,96

FICHA PINTURA DE CAL Y GRAFENO

FTC 03

Descripción: Pintura de cal con Grafeno

Palabras claves: NanoFibras, Grafeno, Nanotecnología.

Objetivos: Características únicas y novedosas.

Materias primas:

Es un recubrimiento ecológico que, utilizando materiales nanotecnológicos de baja densidad y combinándolos con materiales naturales que controlan los agentes contaminantes, puede ser utilizado tanto en interiores como en exteriores, convirtiéndose en la solución más avanzada en pinturas, que además tiene componente ecológico.

Campos de uso principales:

Los campos de usos son los mismos de cualquier pintura convencional, para uso exterior e interior. Con la singularidad de que el Grafeno, le aporta propiedades totalmente impermeables, recomendándose para impermeabilizaciones de cubiertas como es el caso de la restauración de la catedral de Cadiz.

Ventajas:

Al aplicarlo en interiores, además de la estética, se logra la purificación del ambiente y la creación de lugares sanos.

En exteriores el Grafeno es capaz de proteger las paredes de todos aquellos agentes contaminantes y corrosivos que pueden dañar las estructuras de las construcciones. Del mismo modo, este tipo de pintura soporta las variaciones térmicas y las inclemencias meteorológicas mucho mejor que las opciones tradicionales. No se descascarilla, no se cuartea, es sólida y además dura más tiempo, menor esfuerzo de mantenimiento, evitar que se condensen los ambientes. En su proceso de curado fija CO2 del ambiente. Además gracias a su composición y a los elementos nanotecnológicos se reduce la transferencia de sonido.

Pigmentación:

Tiene que utilizar pigmentos que no alteren sus propiedades en ambientes alcalinos, estos pigmentos serán lo más mineral posible, nunca orgánicos. Tienen que ser los óxidos de hierro artificiales y las tierras naturales.



Fig. 107. Fachada del Palacio Episcopal de Málaga. Rehabilitada con pintura de cal y Grafeno.

Funcionamiento:

Este tipo de mezclas ya vienen preparadas por algún fabricante especializado, como es el caso de Graphestone.

Aplicación:

La aplicación es como la de cualquier pintura. La superficie tiene que estar limpia y sin restos de polvo o grasas.

Se le aplicaran varias manos, en función de las necesidades y resultado a conseguir, teniendo en cuenta que la primera será siempre más diluida para que penetre bien en los foros y filtre en las fisuras, garantizando un mejor agarre del resto de capas.



Fig. 108. Cubierta de la catedral de Cádiz rehabilitada con Pintura de cal y Grafeno.

Se aplica la pintura en paramentos horizontales o verticales utilizando siempre brocha, pincel o rodillo, no se aconseja el uso con máquina.

Mantenimiento:

Larga durabilidad, pudiendo pasar hasta 10 años hasta que vuelva a ser necesario volver a pintar, y el hecho de que no se cuartee, ayudará a que el paso del tiempo trate mejor a todos los espacios, haciendo menos costoso y molesto su mantenimiento.

Coste de aplicación:

m² Pintura a la cal para exterior e interiores. 4,96€

Pintura de cal con Grafeno, color a elegir, aplicada con rodillo, mediante mano de fondo (rendimiento 0,15 kg/m²) y mano de acabado (rendimiento 0,15 kg/m²), sobre paramento vertical de mortero, piedra o ladrillo.

Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	Precio unitario	Precio partida
	kg	Pintura de cal con Grafeno, a base de cal grasa completamente apagada y reposada, tierras colorantes, muy permeable al vapor de agua, resistente a la contaminación urbana, a los rayos UV y a los gases de la combustión, color a elegir, aplicada con rodillo.	1,192	20	23,84
	h	Oficial 1ª pintor.	0,101	17,24	1,74
	%	Medios auxiliares	2,000	4,73	0,09
	%	Costes indirectos	3,000	4,82	0,14
Coste de mantenimiento decenal: 0,52€ en los primeros 10 años.			Total:		25,81

FICHA CONSOLIDACIÓN DE MUROS MEDIANTE INYECCIÓN

FTC 04

Descripción: Inyección de lechada de cal para el relleno de grietas.

Palabras claves: Inyección, fijación, fluido, económico, natural, cal hidráulica.

Objetivos: Consolidación de muros mediante inyección.

Materias primas:

Mástiques de cal: Sirven para pegar y aglutinar materiales de naturaleza igual o distinta y rellenar grietas.

Consiste en una lechada de cal, formada por cal hidráulica natural, agua y un poco de arena muy fina, preferibles las arenas silíceas y calizas de trituración artificial de rocas o de río y se evitan aquellas que contengan arcilla.

Esta arena se puede sustituir por ladrillo de barro molido.

Tendrá una consistencia muy fluida para que rellene bien las cavidades.

A dicha lechada se le podrá agregar proteínas, para producir así una lechada espumante para aligerar peso y coste, esta técnica solo se utilizara en muros donde el relleno de grietas sea superior al 15% del volumen del muro.



Fig. 109. Boquillas para inyectores de lechada de cal. Lorca.

Tipos:

Para el relleno de grietas en madera lleva: polvo de cal, cuajo y alúmina.

Campos de uso principales:

Principal mente en restauración para el relleno y consolidación de grietas en muros de mampostería, muros de adobe, etc...

Precauciones en su aplicación:

Buena dosificación en relación agua aglomerante
Evitar el secado rápido en tiempo caluroso (sombrear y humedecer en los primeros 72 horas).



Fig. 110. Inyección de lechada de cal en muros. Lorca.

Contraindicaciones:

Trabajos en tiempo muy frío (< 3°C) o muy caluroso (> 30°C).
Ambientes agresivos.

Aplicación:

La lechada de cal tendrá una consistencia muy fluida para que rellene bien las cavidades.

Se colocaran tubos de goma cada 30 o 40 cm en todos los sentidos, tanto horizontal como vertical, con una ligera inclinación hacia arriba.

A continuación se enlucen las caras del muro con mortero para tapar todo agujero y grietas por las que no queremos pérdidas de material incontroladas.

La mezcla se introduce mediante gravedad a través de un embudo o mediante inyectado a presión si es un gran volumen.

Según vayamos rellenando de abajo hacia arriba iremos retirando los tubos y taponando los orificios con mortero de cal de consistencia más bien seca.

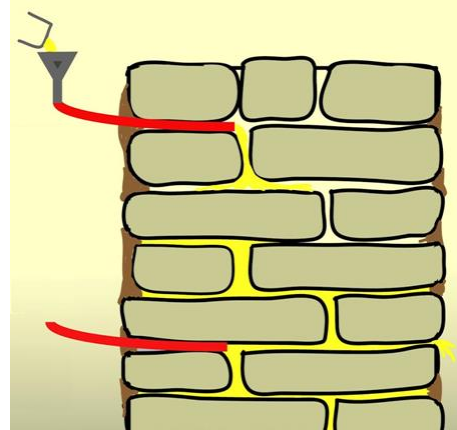


Fig. 111. Esquema inyección de cal.

Probablemente se produzcan fugas de lechada por orificios inesperados que no tenemos bien tapados, para ello tendremos a mano mortero de cal de consistencia más bien seca para ir tapando según aparezcan en el exterior.

Fases de ejecución:

Conexión de la manguera con los inyectores. Inyección de la lechada. Desconexión de la manguera. Limpieza superficial.

Ventajas:

Al utilizar cal hidráulica, fragua y endurece en contacto con el agua y no con el aire inexistente en el interior de las grietas rellenas.

Aumento de la resistencia y estabilidad de los muros al consolidarse si interior.

Sistema fácil de aplicar.

Coste aplicación:

m Inyección de lechada de cal hidratada para la consolidación de muros de 20,93€ mampostería.

Inyección a baja presión o por gravedad en juntas de muros de mampostería, con 6 kg/m de lechada superfluida, de cal hidráulica, para la consolidación de muros de menos de 30 cm de espesor.

Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	Precio unitario	Precio partida
	kg	Lechada superfluida, de cal hidráulica, aplicable en inyecciones de consolidación en muros de mampostería.	6,000	1,88	11,28
	h	Equipo de inyección manual de morteros fluidos y resinas.	0,250	1,54	0,39
	h	Oficial 1ª construcción.	0,249	17,24	4,29
	h	Peón ordinario construcción.	0,249	15,92	3,96
	%	Medios auxiliares	2,000	19,92	0,40
	%	Costes indirectos	3,000	20,32	0,61
Coste de mantenimiento decenal: 1,05€ en los primeros 10 años.				Total:	20,93

FICHA MORTERO DE CAL Y ARENA

FTC 05

Descripción: Mortero de cal, arena y agua.

Palabras claves: Jabelga, estuco, revocos, económico, natural.

Objetivos: Enfoscados y colocación de piezas.

Materias primas:

Compuesto de cal, arena y agua. Su propiedad de argamasa depende de la calidad de la cal y de la preparación. La arena utilizada debe estar limpia, ser de grano vivo y resistente, asimismo el agua utilizada debe carecer de sales y de barro. La arena tiene la función de aumentar el volumen, comunicar dureza aglomerante y asegurar una mayor porosidad del material en el fraguado. La cal además debe haber sido conservada en alberca por más de seis días.

Tipos de morteros:

A la técnica de utilizar un mortero para enlucir un paramento, se denomina Revoco. Según el tipo de árido:

- **Jabelga:** Cuando al igual que el revoco se le añade polvo de mármol, pero en este caso tiene una consistencia como la pintura.
- **Estuco:** Si la cantidad de marmolina aumenta hasta adquirir consistencia de pasta, o si se añade también arena, entonces tanto la técnica como el material obtenido se denominan estuco.

Según el tipo de Cal:

- **Con cal aérea:** Para enjalbegar, enfoscados, revocos, estucos y lechadas.
- **Con cal hidráulica:** ésta contiene muchos silicatos y tiene un comportamiento diferente a la aérea. Para cimentaciones, mampostería, enfoscados y estabilizador de tierras.

Campos de uso principales:

Los campos de aplicación de los morteros de cal y arena se aplican en Restauración, obra nueva y bioconstrucción.

Estas aplicaciones se distribuyen en:

- Mampostería de bloques cerámicos.
- Colocación de piedra natural. Muy recomendado.
- Colocación y asentamiento de suelos rústicos (baldosas de cerámica y de piedra) en interiores y exteriores.
- Colocación y asentamiento de tejas árabes.
- Enfoscados y revestimientos exteriores e interiores.
- Bodegas y construcciones con previsión de humedad.



Fig. 112. Tabique realizándose con mortero de cal.

- Recuperación del patrimonio histórico.
- Rejuntados de piedra.
- Revoco a la tirollesa (sin adición de arena, una parte volumétrica de cal y 3 de agua)

Dosificación:

La cantidad de cal para la elaboración de un mortero depende del tipo y la calidad de los componentes, y del uso al que esté destinado. El fraguado y endurecimiento de los morteros comunes de cal son debidos a su secado y a la absorción de anhídrico carbónico del aire.

Las proporciones acostumbradas son:

- Cal apagada y arena, 1 : 3
- Cal hidratada y arena, 1 : 5

La dosificación para morteros de cal hidráulica por clase de trabajo (cantidad de cal por metro cúbico de arena):

- Enlucidos de cal medianamente hidráulica, 500 a 600 kg.
- Rellenos, 360 a 400 kg.
- Muros de ladrillos, 300 a 360 kg.
- Muros de piedras, 260 a 300 kg.

Ventajas:

La permeabilidad al vapor de agua de la Cal hidráulica natural facilita la transpiración del edificio, que favorece la creación de un clima interior de bienestar, más confortable y saludable que mejora la calidad de vida.

Además, la baja conductividad de la Cal hidráulica natural, permite ahorros energéticos en calefacción y refrigeración de hasta el 30% respecto la utilización de cementos convencionales.

Propiedades antisépticas, derivadas de la elevada alcalinidad.
Producto natural y ecológico.

Aplicación:

El soporte debe estar limpio y sano antes de la aplicación del mortero. Realizar la limpieza de las superficies para eliminar completamente residuos que puedan perjudicar la adhesión del mortero. Evitar el secado rápido en tiempo caluroso (sombrear y humedecer en los primeros 72 horas). Se protegerá el revestimiento recién ejecutado.



Fig. 113. Dibujo de la transpiración de los morteros de cal.



Coste de aplicación:

m² Capa base de mortero de cal. 18,44€

Revestimiento de paramentos interiores y exteriores con enfoscado a buena vista de mortero de cal hidráulica, para la realización de capa acabado rugoso, espesor 15mm, aplicado manualmente, armado y reforzado con malla antiálcalis en los cambios de material y en los frentes de forjado.

Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	Precio unitario	Precio partida
	kg	Mortero de cal hidráulica, con árido de 2,5 mm de tamaño máximo, de color a elegir, según UNE-EN 998-1.	24,000	0,36	8,64
	m ²	Malla de fibra de vidrio, de 10x10 mm de luz, antiálcalis, de 200 a 250 g/m ² de masa superficial y 750 a 900 micras de espesor, con 25 kp/cm ² de resistencia a tracción, para armar morteros monocapa.	0,210	2,41	0,51
	h	Oficial 1ª revocador.	0,316	17,24	5,45
	h	Peón especializado revocador.	0,178	16,58	2,95
	%	Medios auxiliares	2,000	17,55	0,35
	%	Costes indirectos	3,000	17,90	0,54
Coste de mantenimiento decenal: 0,92€ en los primeros 10 años.				Total:	18,44

FICHA HORMIGÓN DE CAL

FTC 06

Descripción: Hormigón formado por cal, arena y grava.

Palabras claves: Grava, arena, económico, natural.

Objetivos: Formación de muros y soleras.

Materias primas:

En el hormigón de cal, es el resultado de mezclar cal hidráulica con arena, grava y, en ocasiones, piedras.

La técnica del Tapial, se podría considerar que su mezcla es un hormigón de cal, donde el porcentaje de cal es mínimo y su consistencia seca.

Ventajas:

- Económico.
- Regulación de la higrometría de los edificios restaurados o nuevos.
- Propiedades antisépticas, derivadas de la elevada alcalinidad.
- Producto natural y ecológico.



Fig. 114. Muros realizados con hormigón de cal.

Desventajas:

No se puede utilizar como muros estructurales.

Campos de uso principales:

En cimentaciones, especialmente en zonas con mucha humedad, soleras y para la formación de muros.

Tipos de hormigones de cal:

-Hormigón tradicional de cal.

-Hormigón de Coignet: el cual lleva arena, cal hidráulica, y cemento. Algunas mezclas de este hormigón anteriormente llevaban cenizas de hulla y tierra arcillosa cocida y pulverizada.

Las mezclas de cal hidráulica y cemento dan hormigones resistentes, de fácil elaboración y aplicación, y con diversos grados de hidraulicidad.

Se le puede añadir cáñamo como aporte de fibras a la mezcla.

Aplicación:

Para hacer un hormigón de cal se ha de tener especial cuidado con la mezcla. Una proporción adecuada sería:

- 1,5 partes de cal hidráulica.
- 2 partes de grava de 1,5 cm.
- 1 parte de grava de 3 cm.
- 2 partes de arena gruesa.
- 1 parte de arena fina.

- Muros:

En cierta medida se parece al tapial, ya que se emplea también un encofrado y se apisona.

La textura de la mezcla, debe quedar semi seca, de lo contrario sería imposible apisonar.

El apisonado permite compactar la mezcla, eliminando los huecos internos. El golpe ha de ser fuerte y seco.

Si el muro es muy grueso la mejor opción es añadir piedras grandes.

- Soleras:

La base tiene que estar bien nivelada y compactada, con grava caliza, y hay que humedecerla antes de echar el hormigón de cal.

Verter el hormigón y compactarlo bien. Se deben hacer juntas de dilatación cada 16m² (las juntas serán de aprox. 5mm y una profundidad de 5cm).

Cuando empiece a fraguar (aprox. 2horas), se le da el acabado requerido: tolochado, pulido, etc... En ese momento se añade arena de sílice o de cuarzo para colorearlo si fuese el caso.

Pulverizar el hormigón una o dos veces al día.

Los espesores de la losa serán entre 10 y 15cm, para espesores mayores se realizara en dos capas, dándole a la primera un acabado rugoso para facilitar la adherencia de la segunda capa.



Fig. 115. Compactación de una solera de cal.

Coste de aplicación:

m³ Muro de hormigón cal. 155,71€

Muro de hormigón cal, espesor 30 cm, realizado con hormigón de cal y piedra caliza, vertido y apisonado manualmente, montaje y desmontaje del sistema de encofrado de madera, con acabado para revestir tipo tapial. Sin incluir cimentación.

Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	Precio unitario	Precio partida
	m ³	Mortero de cal hidráulica, con árido de 2,5 mm de tamaño máximo, de color a elegir confeccionado en obra con 250 kg/m ³ de cal y una proporción en volumen 1/6. De consistencia seca.	24,00	0,36	8,64
	m ³	Piedra caliza, de tamaño máximo 150mm.	0,810	22,58	18,29
	m ²	Sistema de encofrado a dos caras, para muros, formado por paneles de madera modulares, hasta 1 m de altura.	6,660	16,34	108,82
	h	Oficial 1ª construcción de obra civil.	0,545	17,24	9,39
	h	Ayudante estructurista.	0,191	16,13	3,08
	%	Medios auxiliares	2,000	148,22	2,96
	%	Costes indirectos	3,000	151,18	4,53
Coste de mantenimiento decenal: 14,54€ en los primeros 10 años.			Total:		155,71

FICHA LADRILLOS DE CAL Y ARENA

FTC 07

Descripción: Ladrillos de cal.

Palabras claves: Refractarios, impermeables, económico, natural, cal hidratada.

Objetivos: Formación de ladrillos.

Materias primas:

Compuesto de cal, arena y agua. Su resistencia depende de la calidad de la cal, de la preparación, compactación y curado de los mismos. Estos son ladrillos silicocalcáreos.

Fabricación:

Se utilizara cal hidratada, la arena utilizada debe estar limpia, ser de grano vivo y resistente, preferibles las arenas silíceas y calizas de trituración artificial de rocas o de río y se evitan aquellas que contengan arcilla. Asimismo el agua utilizada debe carecer de sales y de barro.



Fig. 116. Prensadora de ladrillos de cal.

La dosificación utilizada son 90 a 92 partes de arena por 8 a 10 partes de cal. Para hacerlos, la cal se debe apagar mezclada con arena, en mezcladores calentados por camisa de vapor, esto facilita la compresión de las piezas.

El moldeo de los ladrillos se hace en forma mecánica con equipos adecuados para tal fin. Los ladrillos que se obtienen poseen un color gris claro.

Los "ladrillos verdes" son tratados a continuación en una autoclave bajo presión de vapor. Se consiguen así silicatos de calcio hidratados que aprisionan las partículas de arena en ladrillos fuertes y duraderos.

Las materias primas para los ladrillos de silicato de calcio incluyen cal mezclado con cuarzo, sílex triturado o roca silícea triturada junto con colorantes minerales. Los materiales se mezclan y se dejan hasta que la cal es completamente hidratada. La mezcla se presiona a continuación en moldes y se cura en un autoclave durante dos o tres horas para acelerar el endurecimiento químico.

Los ladrillos acabados son muy precisos y uniformes, a pesar de las aristas cortantes necesitan un manejo cuidadoso para evitar daños al ladrillo. Los ladrillos se pueden hacer en una variedad de colores; blanco es común, pero tonos pastel se puede lograr.



Fig. 117. Ladrillo de cal.

Tipos de ladrillos:

Hay dos tipos de ladrillos:

-Los refractarios, que son cocidos y fraguados a alta temperatura.

-Los impermeables, que se les adiciona asfalto, alquitrán y otras sustancias similares; requieren un amasado enérgico con maquinaria adecuada y prensado; finalmente son endurecidos al vapor, adquieren un color oscuro, y son compactos y muy resistentes.



Fig. 118. Ladrillos realizados con cal y paja.

Coste de aplicación:

ud Ladrillo de cal.

0,44€

Ladrillo de cal, de medidas 23x5,5x11 cm, realizado con mortero de cal, moldeados de forma mecánica y tratados en una autoclave bajo presión de vapor.

Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	Precio unitario	Precio partida
	m ³	Mortero de cal hidratada, con árido de 2,5 mm de tamaño máximo, de color a elegir, con 250 kg/m ³ de cal y una proporción en volumen 1/6. De consistencia seca.	0,00196	0,36	0,0007056
	h	Equipo moldeado manual.	0,06	1,25	0,075
	h	Equipo autoclave baja presión.	0,02	3,68	0,0736
	h	Oficial 1ª construcción de obra.	0,01	17,24	0,17
	h	Ayudante especialista.	0,008	16,13	0,12
				Total:	0,44

FICHA ESTUCO

FTC 08

Descripción: Técnica decorativa de pasta de grano fino para el enlucido de las superficies.

Palabras claves: Enlucido, mármol, modelado, tallado.

Objetivos: Embellecer las superficies.

Materias primas:

El estuco es una pasta de grano fino compuesta de cal apagada (normalmente, cales aéreas grasas), mármol pulverizado, yeso, pigmentos naturales, etc. que se endurece por reacción química al entrar en contacto el hidróxido de calcio de la cal con el dióxido de carbono y se utiliza sobre todo para enlucir paredes y techos, que al endurecerse toma la apariencia y dureza del mármol.



Fig. 119. Estuco de una columna imitando el mármol.

Tipos de Estucos:

Estucado en Frío:

Es el más usado, se aplica en exteriores y también en interiores. La preparación del mortero se realiza mezclando cal apagada en pasta, árido de mármol blanco, polvo de mármol y colorante como aglomerantes.

Estucado Liso:

Por lo general se aplica en fachadas posteriores y en patios interiores. Es un estucado económico y fácil de aplicar, aventajando así al revoque enlucido tradicional.

Estucado Raspado:

Este estucado es similar al anterior, con la diferencia que la tercera capa aplicada es de mayor grosor y con el agregado de árido de mármol. Como posee una textura rugosa y de gran porosidad, esto la vuelve muy permeable al agua provocando rápidos deterioros si se aplica al exterior.

Estucado al Tirol de Baviera:

Este estucado lleva una capa de fondo de un mortero graso con un espesor entre 4 y 5 mm, compuesto por cal y arena de mármol. Se lo extiende con una llana o fratás, y se va apretando contra el soporte previamente preparado. Cuando se adhiere, y antes de secarse, se procede al proyectado a mano de la pasta con una máquina tirolesa.

Estucado al Tirol Aplanado:

Variante del anterior. Mejora su aspecto y durabilidad ya que se aplanan el tirol proyectado todavía fresco pero sin estar muy tierno. Este revestimiento tiene una textura menos áspera y sirve para exteriores y también para interiores. Posterior al aplanado, en exteriores, se le aplica un pintado de látex incoloro; en interiores se le puede dar una pintada al esmalte para darle mayor realce al trabajo final.

Para interiores, el soporte debe ser un revoque de mortero de cal. La pasta del estucado se realiza con cemento blanco y arenilla de mármol.

Estucado Imitación a Piedra:

Para realizar este estuco se aplica primero sobre revoque seco, este es el soporte adecuado, una capa de 4 mm de mortero graso de cal y arena de mármol. A continuación se extienden dos capas del mismo

mortero pero coloreadas con el tono de piedra a imitar. Finalmente se aplica una tercera capa de mortero con polvo de mármol de un espesor no mayor de 1 cm, que se enlucirá.

Estando aún fresco, se dibuja encima el despiece del aparejo a imitar con una regla y un punzón.

Estuco a fuego:

En su elaboración se empleaban morteros y pastas de cal con aditivos como pigmentos y jabones vegetales, con la aplicación final de una plancha metálica a una elevada temperatura se crea una terminación continua que imitaba las piedras naturales.



Fig. 120. Estuco en una pared, imitando el mármol.

Aplicación:

Sobre bloque:

Se humedece ligeramente la superficie, y se aplica una capa de 2 a 4 mm cubriendo toda el área con una llana lisa. Se deja secar la aplicación durante 12 horas y se aplica una segunda capa no mayor a 3 mm para dar el acabado final.

Sobre una superficie fina de cemento o yeso:

Se aplica el estuco con una llana lisa cubriendo toda la superficie con una capa no mayor a 4 mm. Una vez comenzado el secado se le puede dar textura.

Tratamientos:

El estuco admite numerosos tratamientos, entre los que destacan el modelado y tallado para obtener formas ornamentales, el pulido para darle una apariencia similar al mármol y el pintado policromo con fines decorativos.

Coste aplicación:

m² Estuco sobre paramento interior. 25,25€

Formación de estuco de cal y arena de mármol en frío mediante la aplicación manual sobre un paramento vertical interior, previamente enfoscado con acabado fratasado (no incluido en este precio), de tres capas de mortero de cal con arena de finura creciente hacia el exterior, de dosificación 1:4 la primera y dosificación 1:3 las dos restantes. Acabado superficial: liso lavado.

Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	Precio unitario	Precio partida
	m ³	Mortero de cal aérea o apagada (1:3), confeccionado en obra.	0,010	126,30	1,26
	m ³	Mortero de cal aérea o apagada (1:4), confeccionado en obra.	0,015	123,30	1,85
	h	Oficial 1ª estucador.	0,627	17,24	10,81
	h	Ayudante estucador.	0,627	16,13	10,11
	%	Medios auxiliares	2,000	24,03	0,48
	%	Costes indirectos	3,000	24,51	0,74
Coste de mantenimiento decenal: 11,87€ en los primeros 10 años.				Total:	25,25

FICHA ESGRAFIADO

FTC 09

Descripción: Técnica ornamental con relieve, en varias capas coloreadas.

Palabras claves: Enlucido, capas, Placa de Zinc, vaciado, Estarcido.

Objetivos: Embellecer las superficies con relieve.

Materias primas:

El esgrafiado se realiza con varias capas de pasta de grano fino o grueso compuesta de cal apagada (normalmente, cales aéreas grasas), pigmentos naturales, etc. Cuando se endurece la primera capa, se le aplica otra encima de diferente color una segunda en la cual se marca un dibujo y se procede al vaciado del mismo.

Tipos de Esgrafiados:

ESGRAFIADO SEGOVIANO

Se identifican por ser motivos geométricos que se repiten cubriendo la fachada en su totalidad cuya técnica también se conoce como "aplantillada", de raíces islámicas. Dentro de este estilo podíamos diferenciar dos tipos:

-El esgrafiado de capa fina, pues apenas tiene relieve. Se dice que es de antes del S.XV, son monocromáticos, el color de fondo y de exterior son el mismo solo varía en la textura.

-Este esgrafiado es de un relieve superior, que varía de 1 cm. hasta varios cm. de espesor y llegan a realizarse a dos tintas variando el color del fondo con el superficial.

Proceso:

Este tipo de revocos hay que dejar claro que se hacen utilizando arenas silíceas y los colores se realizan con arcillas.

1. Mano fina y muy apretada de revoco para clavar el grano en el mortero base y buscar el agarre mecánico de dicha pasta. En esta capa suele usarse una granometría de 0,8 o 1,00 mm, de arenas silíceas.
2. Mano gruesa de 5 o 6 mm. Fratasada con fratás de madera para dar una buena planimetría, el árido será idéntico a la capa interior. Pasando un cepillo de raíces para dejar abierto el poro y poder crear un anclaje mecánico a las siguientes capas.
3. Está capa antes de realizarla deberá de pasar un tiempo, más o menos de una semana, para que la segunda capa carbonate y al



Fig. 121. Realización de un esgrafiado.

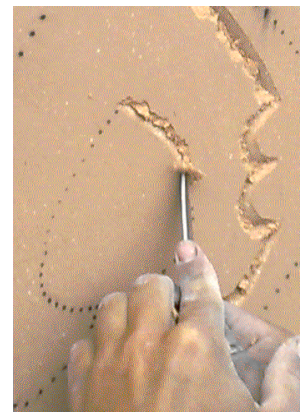


Fig. 122. Corte con navaja sobre dibujo punteado.

cortar el esgrafiado no nos vayamos con la navaja hasta el fondo, al mortero bastardo, haciendo así su función de barrera. La capa será similar a la anterior pero en un espesor superior a 1 cm.

4. Enlucido con una capa fina de escaso relieve para refinar el revoco con un árido de 0,02mm.
5. Estando estas capas blandas, pero que si las tocas con la mano no manchan y no te humedecen la mano, se procede a marcar niveles y plomos, haciendo una especie de cuadrícula muy poco marcada. Puesto que en el acabado estas marcas no deben verse, se realizaran con la punta de la navaja. La Placa de Zinc se irá colocando, con el dibujo que se va a realizar ya recortado y cortaremos dicho dibujo con la placa colocada en la cuadrícula. (La placa segoviana lleva en las esquinas unos pequeños agujeros que sirven para introducir unos pequeños clavos y así sujetar la placa, a la vez que se hace el trabajo)
6. Estando la placa colocada vaciamos el dibujo, con una especie de pequeñas gubias.
7. Cuando el dibujo está realizado se procede a barrer el paramento con un cepillo de pelo blando para eliminar restos sueltos.
8. En los días siguientes es bueno humedecer el trabajo para que ayude a carbonatar por igual.

Herramientas:

Paleta - paletín - fratás de madera - llaguero - brochas - pinceles - sierra de labrar o "raspin" - punzón - lana - nivel - navaja - vaciador - reglas - cepillo - metro - gavetas - cubos - batidora eléctrica - compás - placa.



Fig. 123. Esgrafiado. Segovia.



Fig.124. Herramientas del esgrafiador.



Fig. 125. Fachadas esgrafiadas. Segovia.

ESGRAFIADO CATALÁN

Esgrafiado de motivos ornamentales, figuras humanas, floresta, arquitectura fingida, etc. Es una técnica depurada y evidentemente por la complejidad de sus trabajos no se pueden realizar con una placa de zinc. Los dibujos se realizan en papel y mediante estarcido se pasan a la fachada. Se trabaja a dos tintas, los acabados son más finos y los cortes al realizarse al aire son biselados y no tan rectos. Se utilizan colores más vivos, sobretodo rojizos y los áridos son más selectos (áridos de machaqueo).



Fig. 126. Esgrafiado catalán.

Proceso:

Este tipo de revocos hay que dejar claro que se hacen utilizando áridos de mármol y los colores se realizan con pigmentos naturales.

1. Mano fina y muy apretada de revoco para clavar el grano en el mortero base y buscar el agarre mecánico de dicha pasta. En esta capa suele usarse una granometría de 0,8 o 1,00 mm, de áridos de mármol.
2. Mano gruesa de 5 o 6 mm. Fratasada con fratás de madera para dar una buena planimetría, el árido será idéntico a la capa interior. Pasando un cepillo de raíces para dejar abierto el poro y poder crear un anclaje mecánico a las siguientes capas.



Fig. 127. Trabajos de un esgrafiado catalán.

3. Está capa antes de realizarla deberá de pasar un tiempo, más o menos una semana, para que la segunda capa carbonate y al cortar el esgrafiado no se clave la navaja hasta el fondo, al mortero bastardo, haciendo así su función de barrera. Está se realizara con una dosificación de 0'02 y 0'8 y un espesor de 7 mm.
4. Enlucido con una capa fina de escaso relieve para refinar el revoco con un árido de 0,02mm.
5. Colocación de dibujos realizados en papel para realizar el estarcido mediante una muñequilla con carbón vegetal.
6. Corte a bisel del dibujo para facilitar la evacuación del agua en época de lluvias. Vaciado dejando los fondos en rasqueta con un pequeño "raspín".
7. Lavado de restos de puntos del estarcido.
8. Cuando el dibujo está realizado se procede a barrer el paramento con un cepillo de pelo blando para eliminar restos sueltos.
9. En los días siguientes es bueno humedecer el trabajo para que ayude a carbonatar por igual.

Herramientas:

Paleta - paletín - fratás de madera - llaguero - brochas - pinceles - sierra de labrar o "raspín" - punzón - llana - nivel - navaja - vaciador - muñequilla - reglas - dibujo en papel - cepillo - metro - gavetas - cubos - batidora eléctrica - compás



Fig. 128. Trabajos de restauración de la de la parroquia de Losa del Obispo (Valencia). Estos esgrafiados se encontraban bajo numerosas capas de pintura posteriores (la última con la decoración que se aprecia en la foto), incluso, algunas bajo una gruesa capa de yeso fruto de remiendos de las antiguas grietas.



Fig. 129. Foto tomada en Barcelona.

Coste aplicación:

El coste de esta técnica no se puede calcular estándar mediante una tabla, ya que son muchas las variantes que le afecta: Geometría de la fachada, complejidad de dibujo, estilo Segoviano o Catalán, horas de dibujo en taller, espesores de capa, etc...

A modo de ejemplo mostramos una tabla con el coste de un esgrafiado segoviano de complejidad media:

m² Esgrafiado segoviano sobre paramento exterior. 138,48 €

Formación de esgrafiado realizado con varias capas mortero de cal y arena mediante la aplicación manual sobre un paramento vertical exterior, previamente secado de la primera capa. Marcado del relieve del dibujo y raspado de las partes deseadas a eliminar. Posterior lavado de la superficie.

Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	Precio unitario	Precio partida
	m ³	Mortero de cal aérea o apagada (1:3), confectionado en obra.	0,010	126,30	1,26
	m ³	Mortero de cal aérea o apagada (1:4), confectionado en obra.	0,015	123,30	1,85
	h	Oficial 1ª taller (punteado, materiales, etc.)	0,748	17,24	12,91
	h	Oficial 1ª esgrafiador.	5,050	20,11	101,56
	h	Ayudante esgrafiador.	1,246	16,13	20,11
	%	Medios auxiliares	2,000	24,03	0,48
	%	Costes indirectos	3,000	24,51	0,74
Coste de mantenimiento decenal: 11,87€ en los primeros 10 años.					
				Total:	138,91



Fig. 130. Fachada esgrafiada. Plaza décimo Junio Bruto, (junto l' Almoina) Valencia.

FICHA TARACEADO

FTC 10

Descripción: Técnica ornamental sin relieve, en varias capas coloreadas.

Palabras claves: Enlucido, capas, vaciado, relleno del esgrafiado, Estarcido.

Objetivos: Embellecer las superficies sin relieve.

Materias primas:

Para hacer un taraceado o embutido, primero hay que hacer un esgrafiado y de estilo segoviano, pues en la técnica catalana sería prácticamente imposible de hacer. Una vez hecho el esgrafiado, rellenamos con una tercera capa de mortero de cal toda la superficie que habíamos raspado para de esta forma conseguimos el mismo efecto que el esgrafiado pero sin relieve.

Proceso:

1. Una mano de revoco de cal grasa con un árido (0'8) en capa fina y apretada.
2. Mano de revoco de cal grasa, con el mismo árido de la anterior, en capa gruesa 1 cm. fratasada con madera para dar una buena planimetría.
3. Marcado de dibujo con plantilla o estarcido (en este caso nos daría igual cualquiera de las dos) así como vaciado de la capa anterior del revoco de lo que forma el dibujo /el dibujo se corta con una navaja y se vacía con una especie de pequeña cuchara, "vaciador").
4. Ahora lo que tenemos es un esgrafiado a la segoviana y antes de que se ponga dura la pasta rellenamos todo lo que hemos quitado con revoco de otro color (sin que nos importe manchar el resto de revoco, ya que casi siempre queda todo cubierto de este último revoco).
5. Cuando el revoco a templado, cuando lo raspamos con un peine de sierra o una llana dentada y al rasparlo cae en polvo húmedo pero no se nos pega en el peine o llana. Entonces empezamos a rasparlo hasta que dejamos el dibujo visto perfectamente y todo al mismo plano (en el acabado tenemos un dibujo en masa, es decir, que no es una pintura superficial, sino que los colores son en toda la masa y lo bueno que tienen es que por mucho tiempo que pase se mantendrán así mientras el revoco no se despegue).

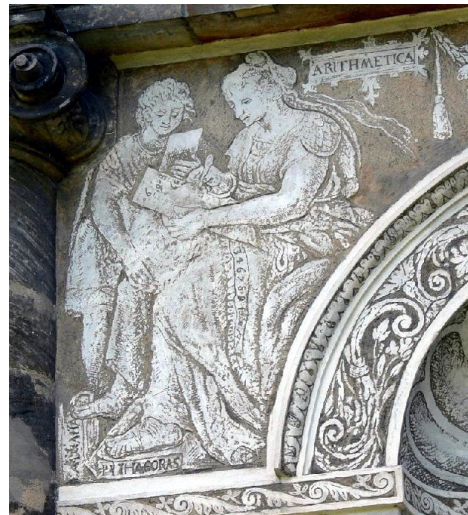


Fig. 131. Taraceado.



Fig. 132. Mural taraceado.



Fig. 133. Fachada taraceada.

Herramientas:

Paleta - paletín - fratás de madera - llaguero - brochas - pinceles - sierra de labrar o "raspín" - punzón - llana - nivel - navaja - vaciador - muñequilla - reglas - dibujo en papel - cepillo - metro - gavetas - cubos - batidora eléctrica - compás

Coste aplicación:

Si el coste del esgrafiado era difícil de calcular estándar mediante una tabla, el taraceado que aun aplica una tercera capa más, todavía le afectan más variantes: Geometría de la fachada, complejidad de dibujo, estilo horas de dibujo en taller, espesores de capa, etc...

A modo de ejemplo mostramos una tabla con el coste de un Taraceo de complejidad media:

m² Taraceo sobre paramento exterior. 138,48 €

Formación de Taraceo, previo esgrafiado realizado con varias capas mortero de cal y arena mediante la aplicación manual sobre un paramento vertical exterior, previamente secado de la primera capa. Marcado del relieve del dibujo y raspado de las partes deseadas a eliminar. Relleno de la superficie raspada y tas secado de las capas raspado de la superficie hasta dejarla plana y posterior lavado de la superficie.

Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	Precio unitario	Precio partida
	m ³	Mortero de cal aérea o apagada (1:3), confectionado en obra.	0,010	126,30	1,26
	m ³	Mortero de cal aérea o apagada (1:4), confectionado en obra.	0,015	123,30	1,85
	h	Oficial 1ª taller (punteado, materiales, etc.)	0,748	17,24	12,91
	h	Oficial 1ª esgrafiador.	6,430	20,11	129,30
	h	Ayudante esgrafiador.	1,896	16,13	30,58
	%	Medios auxiliares	2,000	24,03	0,48
	%	Costes indirectos	3,000	24,51	0,74
Coste de mantenimiento decenal: 11,87€ en los primeros 10 años.				Total:	176,53

FICHA FINGIDO

FTC 11

Descripción: Técnica ornamental con relieve, en varias capas coloreadas.

Palabras claves: Enlucido, capas, imitación de sillería, imitación ladrillos.

Objetivos: Embellecer las superficies con relieve, imitando sillares y ladrillos.

Materias primas:

La técnica para hacer un Fingido, es parecida a la del esgrafiado pero con la peculiaridad de intentar imitar ladrillos o sillares.

Diferenciamos dos tipos de Fingidos:

SILLERIA

Dentro de la técnica del fingido de sillería, diferenciamos a su vez dos técnicas:

- **Martillina:**

Es un revoco que se encuentra dentro de los infinitos tipos de sillerías que podemos realizar, pero que por su compactación se realiza por impresión a base de macear con una maceta de diferentes bocas metálicas, con un dibujo en relieve que se asemeja a una esterilla.

Proceso:

1. Mano fina y apretado el revoco para clavar el grano en el mortero base y buscar el agarre mecánico de dicha pasta. En esta capa suele usarse una granometría de 0,8 o 1,00 mm.
2. Mano gruesa de 5 o 6 mm. Fratasada con fratás de madera para dar una buena planimetría, el árido será idéntico a la capa interior.
3. Esta capa que es una mezcla de polvo y árido de mármol se alisa con la llana pero no se aprieta, con la idea que quede como un cojinete (flexible) para que al macear marque sin mucho esfuerzo y no rompa el material.
4. Una vez que la capa este alisada se procede al despiece de sillerías, marcando niveles y plomos con un llaguero, lo que sería el avivador (parte remetida que asemeja la junta sillares). Después con una pequeña regla de 5 cm de ancho se plinteas, que es colocar la regla a eje del avivador repartiendo 2,5 cm a cada lado y marcar una línea con la punta de la navaja, que separa el alma del sillar del plinto (margen que queda liso entre el avivador y el alma del sillar)
5. Una vez que los sillares están definidos y la pasta esta húmeda se procede a macear quedando todo el interior del sillar homogéneo, para ello se pasa varias veces por el mismo sitio y cambiando la boca de la maceta (martillina) es importante golpear siempre con la misma



Fig. 134. Fingido de sillares con la técnica de la Martillina.

intensidad y sobretodo en plano para no clavar los picos de la maceta y no queden hundidos sino todo al mismo plano.

6. Se corrige con paletín las zonas que al macear se hayan marcado en los plintos y se procede a lavarlos con agua limpia para darles más resalte.

Herramientas:

Paleta - paletín - fratás de madera - llaguero - brochas - pinceles - llana - nivel - reglas - cepillo - metro - gavetas - cubos - batidora eléctrica - martillina - placas de martillina - navaja.



Fig. 135. Fachada mediante fingido de sillares con la técnica de la Martillina.

- **Almohadillado:**

Es una técnica dentro de los revocos tradicionales que se utilizaba para resaltar impostas, pilastras o recercados de huecos de ventanas o balcones, esta técnica consistía en recrecer el alma del sillar.

Proceso:

1. Capa de revoco de cal grasa fina y apretada (árido 0'8).
2. Capa de revoco de cal grasa de 0'5 mm. de espesor y fratasada con madera para dar planimetría (al fratar lo que hacemos es compactar la pasta).
3. Replanteo de sillería con marcaje de niveles y plomos.
4. Enlucido de plintos con revoco de cal grasa con un árido fino (0'02)
5. Marcaje de aviador (paso de llaguero que finge la junta del sillar) así como recortar con navaja lo que va a ser el plinto dejando de 0'5 a 1'00 cm. de mas a el ancho que queramos darle al plinto (por regla general 5 cm. incluido el avivador).
6. Rallar el interior del sillar para dar anclaje al recrecido.
7. Se debe dejar un intervalo de 3 o 4 días para que el plinto carbonata y de esa forma se cierre el poro para no darle anclaje al recrecido en el plinto.
8. Se recrecen los sillares 1 cm., sin importar que se manchen los plintos, y se fratas.
9. Se procede a cortar con la navaja el sobrante del material que tapa los plintos quedando a distinto nivel los plintos del interior del sillar.
10. Con una brocha y agua limpia se lavan los plintos que están sucios, porque al aplicar el revoco los hemos manchado, pero como dijimos en el punto 7 al estar estos carbonatados el material no ha tenido anclaje por lo que al lavarlos quedan perfectos.



Fig. 136. Detalle de revoco fingido, emulando sillería, para fábricas de ladrillo irregulares. Los ladrillos bajo la capa de enlucido suelen ser claros, con gruesos reducidos. Los tendeles son muy marcados mientras que las llagas son bastante finas. Sacristía de la Iglesia de San Esteban, Valencia.

11. Una vez que llegamos a este punto los acabados son tantos como imaginación tenga el artesano que lo realiza, pero voy a definirlos el más elemental que es el que se denomina como "punta diamante".

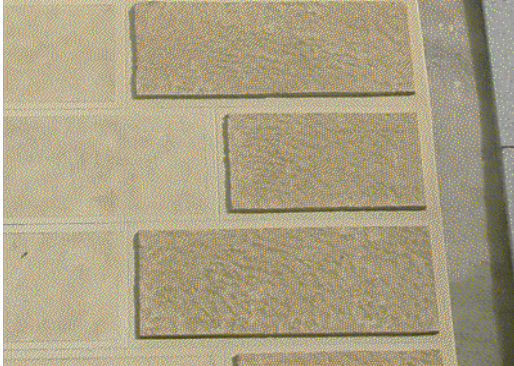


Fig. 137. Detalle de revoco fingido, emulando sillería, mediante la técnica del almohadillado.

Ladrillos

Este acabado es muy complejo puesto que hay una gran diversidad de acabados, los vamos a definir desde un punto de vista geográfico, ya que dependiendo de la ciudad donde se encuentran suelen darse un tipo de acabado que se asemeja a los acabados de su revocos.

- **Toledo**

En esta ciudad en su mayoría los revocos fingen fachadas de ladrillos con cajetones de mampuestos y puede resultar gracioso porque cuando se pican estas fachadas te encuentras que los cerramientos son de ladrillos y te preguntas ¿Por qué hacen un fingido de lo que ya tienen? Y la respuesta es clara usan los revocos como piel de sacrificio de un soporte que por falta de cocción de los ladrillos, eran bastantes blandos y tenía una dureza limitada aparte que eran muy porosos y por problemas de heladicidad se acababan exfoliando. Los cerramientos no estaban preparados para dejarlos vistos y se revocaban imitando al ladrillo, creo que pensaron que era más barato volver a revocar que volver a reponer los ladrillos que se estropeaban. En este punto quisiera hacer mención que ahora hay técnicos, propietarios que están arruinando fachadas por desconocimiento ya que cuando se pica un revoco que se encuentra en mal estado y aparece un cerramiento de ladrillos con un entramado de madera en seguida ya pensamos en dejarlo visto y eso es lo mismo que si dejáramos al edificio desnudo y desprotegido, creándole nuevas patologías:

- exfoliaciones.
- perdidas de volumen por fragmentación.
- maderas abiertas, azulados, carcomas, astillados, etc.

Por que volvemos a repetir "nunca fueron preparados estos cerramientos para dejarlos vistos" y es mas no se puede creer que con un consolidante o una mano de hidrófugo vamos a asegurar el futuro del cerramiento. No podemos tratar un cerramiento antiguo como uno nuevo, el cerramiento antiguo con un espesor en su mayoría de más 40 cm. de espesor necesita transpirar, necesita coger humedad ambiente y reciclar con el interior creando un contraste que a su vez les da esa flexibilidad característica de estas construcciones. Si les ponemos un hidrófugo o consolidante (que además se le da en la cara exterior y de forma superficial) lo único que se consigue es crear un tapón a ese circuito que mantiene el muro

12. Su realización se ejecuta con los "aguilones" del paletín (parte trasera). Vamos quitando "pellizcos" de pasta dejando el plano todo picoteado, una vez lo tengamos se procede a barrerlo con un cepillo fino y a eliminar todo tipo de restos sueltos. El acabado es similar al de cantería cuando se le picaba a puntero.

Herramientas

Paleta - paletín - fratás de madera - llaguero - brochas - pinceles - llana - nivel - navaja - cepillo - metro - gavetas - cubos - batidora eléctrica.



Fig. 138. Fingido de ladrillos sobre muro de ladrillo. Acueducto de San Telmo, Sevilla. Se trata de un elemento B.I.C.

desde sus orígenes y por presión capilar acabara reventando la capa superficial de los ladrillos y de los revocos de rejuntado que suelen ser de cemento.

Proceso:

1. Mano fina y apretando de revoco para clavar el grano en el mortero base y buscar el agarre mecánico de dicha pasta. En esta capa suele usarse una granometría de 0,8 o 1,00 mm.
2. Mano gruesa de 5 o 6 mm. Fratasada con frotas de madera para dar una buena planimetría, el árido será idéntico a la capa interior.
3. Es una capa similar a la segunda, pero la damos, para crear grueso y poder tematizar, estas capas siempre se dan en blanco.
4. Replanteamos la fachada, niveles y plomos de todas las hiladas así como casetones de mampuestos dejando marcado lo que van a ser las juntas de los ladrillos, los ladrillos y los casetones, esto se marca con un útil similar a un cangrejo pero más abierto, que cuando lo pasas te marca dos líneas a la vez.



Fig. 139. Detalle de revoco fingido, emulando aparejo en ladrillos, para fábricas del s. XVIII. Los ladrillos en este caso son gruesos pero anaranjados, por esta razón se suelen enlucir. El tipo de aparejo es regular, con llagas y tendeles medio-finos. Palacio de la Aduana, Valencia.

5. En el punto anterior ya se han marcado los ladrillos y los cuadros (que son los cajetones) dentro de estos dibujamos una serie de mampuestos que picoteamos con el aguilón del paletín (especie de punta de diamante) y cuando el mortero está fresco con agua de cal y pigmentos en varios tonos y con una esponja se le va creando una serie de des tonificaciones que se asemejen al color de la piedra que se quiere imitar.
6. Se pinta (con el mortero fresco) con agua de cal y pigmentos por regla general mezcla de rojo oxido y ocre, los ladrillos cuidando de no manchar la junta que quedara blanca. Terminado esto volvemos a pasar dando a algunos ladrillos con un tono diferente para crear un ritmo de color y no ver todo igual.

7. La firma del revoco fingido a la toledana, la junta vertical entre los ladrillos se hace con un corte revirado dejando el mortero en forma V pero invertida.

- **Segovia**

El fingido de ladrillo de Segovia tiene como peculiaridad que es un esgrafiado donde la junta del ladrillo queda saliente y el ladrillo en el fondo. El efecto que tiene de la impresión de un ladrillo de galletilla.



Fig. 140. Detalle de fingido de ladrillos, los cuales de están desprendiendo.

Proceso:

1. Capa de revoco de cal grasa con un árido de 0.8 a 1 mm, esta seda fina y muy apretada puesto que es la que da anclaje a todas las demás.
2. Capa de revoco idéntico a la anterior pero con un espesor de 7 o 8 mm y fratasada
3. En el color ya del ladrillo. Esta capa se frata con madera para dar planimetría y se la da cuando la anterior todavía esta húmeda.
4. En esta capa se da cuando la anterior en su capa superficial esta carbonatada para que haga de tope a la hora de cortar, vaciar y no irnos al soporte, esta será del mismo color que la anterior para que cuando despeguemos esta de la anterior no quede manchado el revoco. La granulometría se cambia mezclando más polvo que árido y es de un grueso de 3 o 4 mm.
5. Esta capa se da cuando la anterior esta húmeda pero no mancha, es de una granulometría de 0.8 o 1 mm y suele ser de un espesor de 1 cm. Se frata con madera para dar planimetría y es de color crema claro, puesto que va a ser la junta que quedara saliente cuando se corten los ladrillos.
6. Se replantean las hiladas y los plomos, se corta con navaja a bisel y con vaciadores se quedara limpio lo que va a ser el ladrillo que quedo remetido, de esta forma el ladrillo queda rojizo y la junta en crema pero sobresaliendo del ladrillo.
En el esgrafiado segoviano siempre se pone el color oscuro en el fondo y los claros en superficie, esto crea más sombras y las se resaltan más.

- **Madrid**

Este tipo donde más se encuentra como su nombre dice es en Madrid y como curiosidad diré que las bóvedas de la Plaza de toros de las ventas para salir al ruedo no son ladrillo sino un fingido de este.

Esta técnica es un esgrafiado pero completamente distinto al de la segoviana que de lejos finge que es un ladrillo de galletilla pero si te acercas se ve claramente que es un esgrafiado. El que nos ocupa en este apartado tienes que tocarlo para ver que es un engaño, es una técnica muy depurada que si igualas el tono de ladrillo y el de la junta a los de verdad se puede confundir hasta el más erudito.



Fig. 141. Fingido de ladrillos sobre paramento de ladrillo. Basílica Parroquia y Real Santuario de Santa María de la Victoria y la Merced. Málaga.

Proceso:

1. Capa de revoco de cal grasa con un árido de 0.8 a 1 mm, esta se da muy fina y muy apretada para que los granos se clareen y sirvan de anclaje para las siguientes capas.

2. Capa de revoco idéntica a la anterior pero en un espesor de 7 o 8 mm. El color tiene que ser del de la junta que queramos imitar, el acabado es fratasada con madera para una buena planimetría.
3. Cuando la capa anterior esta húmeda pero no mancha se aplica una capa de 3 o 4 mm pero con distinta dosificación de árido, metiendo un 20 % de polvo y 80% de árido y esta mano se frataza con madera y cuando a templado se la repasa con una llana de goma espuma dejando un acabado más suave pero sin llegar a ser liso porque el ladrillo que vamos a imitar es un ladrillo tosco y ya de color rojo.
4. Se marcan las hiladas y los plomos cortando con la navaja lo que va a ser la junta y retirando el color superficial (rojo) hasta que se ve el que hemos dejado en el fondo, que es el que va a ser la junta, quedando el ladrillo en superficie de textura tosco y la junta remetida en color gris o blanco manchado.

- **Cataluña**

Este estilo es muy parecido al de la madrileña pero cambia en que el ladrillo que imitamos es el que se llama cara vista que es liso bruñido.

Proceso:

1. Capa de revoco de cal grasa con un árido de 0.8 a 1 mm, esta se da muy fina y muy apretada para que los granos se clareen y sirvan de anclaje para las siguientes capas.
2. Capa de revoco idéntica a la anterior pero en un espesor de 7 o 8 mm. El color tiene que ser del de la junta que queramos imitar, el acabado es fratasada con madera para una buena planimetría.
3. Cuando la capa anterior esta húmeda pero no mancha se aplica una capa de 3 o 4 mm pero con distinta dosificación de árido, metiendo un 20 % de polvo y 80% de árido y esta mano se frataza con madera.
4. Se prepara una pasta de 1 kg de cal grasa por 200 gr. De polvo y se enluce el paño, esta pasta es del color del ladrillo que queramos imitar, cuando ha templado se vuelve a pasar la llana con agua para darle una textura muy fina y satinada.
5. Se marcan las hiladas y los plomos, y se procede a cortar la junta, pero esta no se profundiza apenas y se la raspa con un "raspín" (sierra de menos de 1 cm.)
Si los colores tanto del ladrillo como de la junta se entonan bien es la mejor imitación a ladrillo de todas, te confunde hasta tocándolos porque la textura es perfecta.



Fig. 142. Fingido de ladrillo rehundido y avitolado, con un intenso color almagra. Iglesia de los Santos Martires.

Herramientas:

Paleta - paletín - fratás de madera - llaguero - brochas - pinceles - llana - nivel - navaja - vaciador - reglas - cepillo - metro - gavetas - cubos - batidora eléctrica - compás - cangrejo.



Coste aplicación:

El coste del fingido es menor que el del esgrafiado al ser las formas geométricas basadas en líneas pudiendo elaborar estas con la simple ayuda de reglas.

A modo de ejemplo mostramos una tabla con el coste de un Fingido de ladrillos de complejidad media:

m² Fingido de ladrillos sobre paramento exterior. 138,48 €

Formación de Fingido, realizado con varias capas mortero de cal y arena mediante la aplicación manual sobre un paramento vertical exterior. Marcado del relieve del dibujo, raspado de las llagas y tendeles con unas dimensiones de ladrillo de 24 x 4 cm.

Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	Precio unitario	Precio partida
	m ³	Mortero de cal aérea o apagada (1:3), confeccionado en obra.	0,010	126,30	1,26
	m ³	Mortero de cal aérea o apagada (1:4), confeccionado en obra.	0,015	123,30	1,85
	h	Oficial 1ª esgrafiador.	4,582	20,11	92,14
	h	Ayudante esgrafiador.	1,206	16,13	19,45
	%	Medios auxiliares	2,000	24,03	0,48
	%	Costes indirectos	3,000	24,51	0,74
Coste de mantenimiento decenal: 11,87€ en los primeros 10 años.				Total:	115,92

7.3. Tabla gráfica.

		FTC 01	FTC 02	FTC 03	FTC 04	FTC 05	FTC 06	FTC 07	FTC 08	FTC 09	FTC 10	FTC 11
Tipo de Cal	CAL AEREA HIDRATADA (cales grasas)	✓	✓	✓		✓		✓		✓	✓	✓
	CAL HIDRAULICA				✓	✓	✓		✓			
Áridos	SI CONTIENEN				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	NO CONTIENEN	✓	✓	✓	✓					✓	✓	✓
Consistencia	FLUIDA	✓	✓	✓	✓							
	PLASTICA					✓	✓		✓	✓	✓	✓
	SECA						✓	✓	✓	✓	✓	✓
Espesor	MENOR 1 mm	✓	✓	✓	✓							
	ENTRE 1mm y 50 mm				✓	✓				✓	✓	✓
	Mayor 50 mm				✓		✓	✓	✓	✓		



8. Conclusión.

Los hornos sobre los que hemos trabajado son fundamentalmente pequeñas empresas familiares, en cuyas tareas ayudan trabajadores a jornal, por lo general vecinos del pueblo o de los lugares más cercanos. Este modo de funcionamiento en empresas familiares debe ser considerado como el más tradicional y extendido.

Los hornos de cal, son unas construcciones que la gran mayoría del público que alguna vez los observa o pasa por su alrededor, desconoce por completo el uso e importancia, que antaño podían adquirir para una sociedad ruralizada como la nuestra.

La cal es un material que formaba literalmente, parte de la vida de las personas (desde su inicio, hasta el mismo día de su muerte), así, las viviendas en las que la gente residía, estaban construidas con este material. Del mismo modo, cuando una persona fallecía, este era terrado con cal viva, ya que este producto ejercía una función sanitaria, que evitaba malos olores o contagios de enfermedades.

Y es que la cal estaba presente en cualquier elemento que nos rodeaba, incluso en los más significativos, como la mayor parte de las viviendas que antaño existían en los municipios e incluso edificios patrimoniales. Un elemento por el que se distinguían desde siglos atrás las edificaciones, de ahí que como decía en uno de su célebre artículo J. A. Gómez Sanjuán (2006):

“Por eso pinta el pueblo las casas, las tapias, los corrales, etc. con cal, blanca”.

Si bien es cierto, dicho esto, deberíamos de reflexionar y ver el papel que ejerció el mundo del *calciner* en el pasado, ya no sólo desde la perspectiva industrial, sino que también como icono de la cultura y personalidad mediterránea con la que se distinguen los pueblos. De ahí su importancia. Un oficio ya extinto, del que afortunadamente, hemos podido recolectar estos escuetos pero valiosos datos, que nos acercan un poco más a la vida del antiguo *calciner*.

Poco a poco y con la ayuda de nuevas tectologías como el Grafeno, introducidas en materiales tan tradicionales como la cal, nos vamos dando cuenta de la gran pérdida que hemos tenido todos estos años al abandonar casi por completo este preciado elemento.

La aventura de la investigación académica, el sometimiento a la estructura y la disciplina del estudio, nos hace revisar y reflexionar sobre nuestro desconocimiento.

Con este trabajo quiero despertar dicho entusiasmo por este material que fue, es y será imprescindible en nuestras vidas. Intentando explicar de forma clara los tipos, utilidades y combinaciones posibles para poder entender con un poco más de claridad el complejo mundo de la Cal. Mediante las fichas técnicas intento que alguien sin mucha experiencia en esta rama sea capaz de saber qué tipo de cal y como ha de utilizar en cada técnica constructiva.

Y animar a futuras vías de investigación que completen el camino abierto que ya tome yo. Tales como la aplicación de la cal en la arquitectura actual.



9. Bibliografía y centros de documentación.

- AA.VV.: Artículo de PÉREZ DE VILLAREAL, Vidal *“Kisulabeak. Hornos de Cal”*. 1989.
- AA.VV.: Jornadas *“Criterios de Planeamiento, intervención y técnicas constructivas del Centro Histórico de Valencia”*. (AIDICO) Instituto Tecnológico de la Construcción. 2005.
- AA.VV.: Jornadas *“Firmitas y Confort en la arquitectura histórica. Criterios de Restauración y aplicación práctica”*. Universidad Politécnica de Valencia 2009.
- AA.VV.: Jornadas Técnica *“La Cal en la Construcción”*. AIDICO (Instituto Tecnológico de la Construcción). 2010.
- AA.VV.: Workshop. IX Seminario Internacional de Museografía de Villa Adriana. Tivoli (Roma). Participación en Premio Internacional de Arquitectura y Arqueología *“Giambattista Piranesi”*. Villa Adriana. Tivoli (Roma). 2011.
- AA.VV.: Jornadas *“Restaurar la Arquitectura Moderna: Criterios y Ejemplos”*. Universidad Politécnica de Valencia. 2011.
- AA.VV.: Workshop Internacional: Construcción de la Memoria. Universidad Politécnica de Valencia. 2012.
- AA.VV.: Jornadas *“El Patrimonio Arquitectónico frente al riesgo sísmico”*. Universidad Politécnica de Valencia 2013.
- AA.VV.: Jornadas *“Aplicaciones innovadoras de la cal en la construcción”*. Guía práctica para los mortero con cal. López Salamanqués, Emma M^a. Responsable Técnica. LOEMCO.
- AA.VV.: Asociación Cultural Hornos de la Cal de Morón. *“EN CAL VIVA, el trabajo de los caleros de Morrón”* 2015.
- ARCOS, J. *“Los materiales básicos de la construcción”*. Ed. Progenza. Sevilla 1995.
- ARMENTO DIAZ, J.A, ARILLA AGÓRRIZ, E. *“La Cal”*. Editorial Universidad Politecnica. SPUPV-99.281.
- AZCONEGUI, F.Y MARTÍN, M., Garcia O. Guía práctica de la cal y el estuco. Ed. Centro de los oficios. León 1998.
- BARAHONA RODRIGUEZ, Celia, *“Revestimientos continuos en la arquitectura tradicional Española”*, Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Centro de Publicaciones. 1992.
- BAILA LLETI, José Antonio, GÓMEZ MORA, David, *“Los hornos de cal en Vinaròs”*. Vinaròs: ISBN. 978 - 84 - 937934 - 8 - 7, Edita: Associació Cultural Amics de Vinaròs.



- BELLMUNT Y RIBAS, R., y otros. *“Reconocimiento, diagnosis e intervenció en fachadas”*. ITEC 2000
- CAPARROS REDONDO L.M, GIMENEZ IBAÑEZ R., VIVÓ GARCIA C., *“La cal y el yeso”*, ISBN. 84-607-3734-9, Edita: Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Valencia.
- ESPUGA BELLAFONT, J. y otros. *“Arrebossats i estucats”*. Teoria i pràctica. Ed. U.P.C. Barcelona 1997.
- ESPUGA BELLAFONT, J. y otros. *“Esgrafiats”*. Teoria i pràctica. Ed. U.P.C. Barcelona 2000.
- FARRE B. y ALDOMA O., *“Limpieza, Restauración, Mantenimiento de fachadas”*. Ed. Prensa XXI S.A., Barcelona. 1989.
- FRANCÉS, M. y BORDERA, T. *“Els Forns de calç: un món que s’esfuma”* en TORTOSA Y PASTOR, P. y PALETA D’OCRES, (ed.) *La comarca de la Vall d’Albaida: paisatges, cultura i mediambient*, Ed. Mancomunitat de Municipis de la Vall d’Albaida, 2000.
- GALLEGO ROCA, Francisco Javier. *“Revestimiento y Color en la Arquitectura”*. Ed. Universidad de Granada. Granada 1996.
- GARCÍA/CONESA, Oriol. *“Guía práctica de la cal y el estuco”*, ISBN: 9788493042707. Editorial: Editorial de los edificios.
- GARATE, Ignacio, *“Artes de la cal”*, ISBN 9788489150508. Editorial: Munillaleria, 2002.
- LIJÓ, M., MONJE, J. *“Notas para el estudio de los hornos de cal de Santa Ana la Real”*, Diputación Provincial, Santa Ana la Real. 2000.
- MADDOZ, Pascual. *“Diccionario Geográfico-Estadístico-Histórico de España y sus Posesiones de Ultramar”*. Madrid. (1845-1850).
- MAGRO MORO, Julián V. *“Textos para una historia de la construcción”*, ISBN. 84-7721-254-6, Editorial UPV 1993.
- MARIN SANCHEZ, Rafael, MAGRO MORO, J. V., *“La construcción en la baja edad media”*. ISBN. 84-7721-745-9, Editorial UPV, 1999.
- GONZÁLEZ MARTÍN, J. *“Revestimientos continuos y modernos”*. Ed. Fundación Escuela de la Edificación. Madrid 2005.
- MAZZOCHI, L., *“Cales y cementos, trad. de L. Alvarez Valdés, Barcelona, Gustavo Gili”*, 1919.
- MILETO, Camila, VEGAS, Fernando, Ilustraciones de Guimaraens, *“Homo faber”*. ISBN. 978-84-8321-976-8, Edita: Mancomunidad de Municipios Rincón de Ademúz. 2008.



- MILETO, Camila, VEGAS, Fernando, *“Aprendiendo a restaurar. Un manual de restauración de la arquitectura tradicional de la Comunidad Valenciana”*, ISBN: 978-84-482-5945-7, COACV, Valencia, 2011.
- MONJO CARRIÓN, Juan. *“Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos”*. Ed. Munilla-Leria, Madrid 2010.
- PILES SELMA, Verónica. Tesis doctoral *“Estudio de los morteros de los revestimientos continuos de las arquitecturas del centro histórico de Valencia”*. Preparación de Morteros de restauración mixtos cal-puzolana. Valencia 2006.
- PASCUAL DIEZ, Ramón. *“Arte de hacer el estuco Jaspeado, ó de imitar los Jaspes á poca costa, y con la mayor propiedad”*. Ed. Imprenta real, Madrid 1785.
- PUTMAN y CARLSON, *“Diccionario de Arquitectura, Construcción y Obras públicas”*. ISBN. 978-84-283-1560-9. Editorial Thomson Editores 2007.
- ZARAGOZÁ, A., SOLER, R., MARÍN, R. *“Construyendo bóvedas tabicadas”*. ISBN: 978-84-8363-872-9. Ed. Universidad Politécnica de Valencia 2012.
- CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACION (CTE).
- UNE-EN 459-1: 2011. Cales para la construcción, especificaciones y criterios de conformidad.
- UNE-EN-459-2:2011. Métodos de Ensayo.
- UNE-EN-459-3:2012. Evaluación de la conformidad.
- UNE-EN 998-1: Morteros de revoco y enlucidos. Especificaciones.
- AENOR; www.AENOR.com
- ANCADE; (Asociación nacional de fabricantes de cales y derivados de España); www.ANCADe.com
- CARTAS DEL RESTAURO (1931)
- OBSERVATORIO TECNOLÓGICO, (Ministerio de Educación, Cultura y Deportes).



10. Referencias.

- Albiol Vidal, S. (2003). *Establiments de Vinaròs*. Un estudi de dret foral valencià del segle XVII. Centres d'Estudis del Maestrat. Serie Historia del Maestrat, nº 4, 279 pp. Benicarló.
- Ancade (Asociación nacional de fabricantes de cales y derivados de España). Aplicaciones por productos. http://www.ancade.com/Aplicaciones-por-producto_es_2_141_0_8.html
- Armesto, J.A. y Arilla, E. 1999. *La Cal*. Editorial Universidad Politécnica Valencia.
- Bails, Benito, 1796. *Elementos de Matemática y Arquitectura Civil*. Tom. IX. Parte I. Segunda Edición corregida por el autor. Madrid: Imprenta de la viuda de D. Joaquin Ibarra.
- COATB (Col.legi Oficial d' Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona, (1987). *La producció de calç, ahir*. El procés pre-industrial de producció de calç, a la comarca del Montsia, 17 pp. Manresa.
- Catón, 160 a.c. *De Agricultura*, XXXVIII
- García/Conesa, Oriol, 2001. *Guía práctica de la cal y el estuco*. Editorial: Editorial de los edificios.
- Gómez Sanjuán, J.A. (2006). *Ucronía* (sobre la ermita). Vinaròs News, Ed. 231, 2006.
- Herrero Nuñez, E. 2000. *La cal en la construcción. Su normativa*. ANCADE p.p. 9, 10, 11
- I. Martínez Rossy y otros, 1986. *Caleros y canteros*. Editorial Diputación Salamanca.
- IGME (Instituto Geológico Minero Español), (1973). Mapa Geológico de España.
- Juan de Villanueva, 1827. *Arte de albañilería*. Editorial Cámara de S.M. Madrid.
- Lijón Pedro, M. y Monge Mansó, J. (2000). *Notas para los estudios de cal de Santa Ana de la Real*. Área de Antropología Social. Universidad de Huelva, 147-166 pp. Actas XIV Jornadas del Patrimonio de la Comarca de la Sierra Santa Ana la Real (Huelva).
- López Salamanqués, Emma M^a, 2002. *Aplicaciones innovadoras de la cal en la construcción. Guía práctica para los morteros con cal*. Responsable Técnica LOEMCO.
- Mileto. C. y Vega.F, Ilustraciones de Guimaraens, 2008. *Homo faber*. Ed. Prames. p. 29, 176.
- Merchán Gabaldón, F. (2003). *La ingeniería romana en España*. Artifex. Cimbra, 52-59 pp. Nº 351.



-
- Quintana Frías, I. (2005). *Una de cal y otra de historia*. Los hornos de cal de Ituro y Lama (Segovia). *De Re Metallica*, 5, 95-100 pp.
 - Ros Garcia, J. J. (2011). La alquimia de la Cal. *Hispania Nostra*. Revista para la defensa del patrimonio cultural y natural. 14-17 pp. nº 4. septiembre 2011.
 - San Nicolas, Fray Lorenzo de. 1639. *Arte y Uso de Architectura*. Primera parte. Madrid: s.d.
 - Sanz del Olmo, B. y Perosillo Herrera, G. (2005). *Calero, un oficio perdido*. *Técnica Industrial*, nº 258, 62-65 pp.
 - Vitruvio Pollion, Marco, siglo II a.c. *Los diez libros de la Arquitectura*, II, V y V, XII.

11. Procedencia de imágenes.

Fig. 1. <http://www.globalsecurity.org/military/world/iraq/images/samarra-malwiya.jpg>, (2010).

Fig. 2. <http://morterosdecal.com/morterosdecal.html>, (2010).

Fig. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10. Extraídas del libro Arte y uso de Arquitectura. FRAY LORENZO DE S. NICOLÁS. (Parte I, cap. 24).

Fig. 11. Apuntes Patología y Conservación de los revestimientos tradicionales continuos (I), Santiago Tormo Esteve. (5ª Edición Máster en Conservación del Patrimonio Arquitectónico).

Fig. 12. Taller internacional de conservación y restauración de Arquitectura de tierra.

Fig. 13. www.villamalaquita.com, (2011).

Fig. 14, 15 y 16. Jornadas "Aplicaciones innovadoras de la cal en la construcción". Guía práctica para los morteros con cal.

Fig. 17. Taller internacional de conservación y restauración de Arquitectura de tierra.

Fig. 19. Archivo fotográfico de Francisco Sáez.

Fig. 20. Taller internacional de conservación y restauración de Arquitectura de tierra.

Fig. 21. www.Ancade.com, (2011).

Fig. 22. <http://i.ytimg.com/vi/s4ss4142To4/hqdefault.jpg>, (2012).

Fig. 23. (COATB, 1987, 8).

Fig. 24. Calpayande.blogspot.com, (2011).

Fig. 25. www.masmallorca.com, (2011).

Fig. 26. noticias.latino.msn.com

Fig. 27. (COATB, 1987, 9).

Fig. 28. www.soprocal.cl, (2013).

Fig. 29 y 30. Libro "Guía práctica de la cal y el estuco" García/Conesa, Oriol.

Fig. 31. <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQmFlbmw5wjHbdp1a-Ca4a2Z2t8svVQhtM8PZmMQTbNSLLwXC06>, (2012).

Fig. 32. www.calearth.es, (2011).

Fig. 33. www.pueblos-espana.org/navarra, (2014).

Fig. 34 y 35. Álbum de postales del periodista y escritor Luis Ripoll.

Fig. 36. Archivo histórico de Francisco Sáez.

Fig. 37, 38 y 39. www.iaph.es, (2012).

Fig. 41. Ruta de la Cal. Fontanars dels Alforins

Fig. 43. Extraída de Terra i Mar.

Fig. 44. Ilustración L. Crespí.

Fig. 45. www.fontanarsdelsalforins.es, (2013).

Fig. 46. Valencia Terra i Mar.

Fig. 50, 51, 52, 53, 54 y 55. Artículo: Los hornos de cal de Vinaròs.

Fig. 57. Foto de la entrevista realizada por Sanz y Perosillo, a testimonios sobre los hornos de cal y los calciners en Vinaròs (15-7-2011).

Fig. 58. Foto de la entrevista realizada por Sanz y Perosillo, a testimonios sobre los hornos de cal y los calciners en Vinaròs (6-7-2011).

Fig. 59. Artículo: Los hornos de cal de Vinaròs.

Fig. 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71 y 72. Archivo familiar Gombau Brau.

Fig. 73. <http://fedepesca.org/wp-content/uploads/2015/04/interior-lonja.jpg>, (2015).

Fig. 74, 76 y 77. Plan Especial de las Pedreras.

Fig. 78. <http://www.bibliotecagodella.com/>, (2015).



- 81, 82, 84, 85 y 86. Plan Especial de las Pedreras.
Fig. 87. Archivo histórico de Francisco Sáez.
Fig. 91. Ruta de la cal de Fontanars del Alforins.
Fig. 92. (COATB, 1987, 15 y 16).
Fig. 93. Archivo fotografía de M. Iceta.
Fig. 94. (COATB, 1987, 11).
Fig. 95, 96 y 97. www.Graphenano.es (2015).
Fig. 98. tecnonacional.blogspot.com.es, (2013).
Fig. 99. http://www.coatba.com/coloquio/descargas/jornadagrafeno_25-06-14/online.pdf, (2015).
Fig. 100. www.Graphenano.es (2015).
Fig. 101, 102 y 103. GRAPHENSTONE NOTICIAS (GRAPHENSTONE.tumblr.com). 2015.
Fig. 105. www.foccal.org, (2015)
Fig. 106. <http://www.pinturaypincel.com/blog/wp-content/uploads/cal.jpg>, (2015).
Fig. 107 y 108. GRAPHENSTONE NOTICIAS (GRAPHENSTONE.tumblr.com), 2015.
Fig. 112. www.fical.org, (2015).
Fig. 113. <http://www.cementonaturaltigre.com/wp-content/uploads/Ficha-t%C3%A9cnica-cal-hidr%C3%A1ulica-natural-NHL-5-TIGRE.pdf>, (2014).
Fig. 114 y 115. sobrelacal.wordpress.com, (2014).
Fig. 116, 117 y 118. Taller internacional de conservación y restauración de Arquitectura de tierra.
Fig. 119. Apuntes Patología y Conservación de los revestimientos tradicionales continuos (I), Santiago Tormo Esteve. (5ª Edición Máster en Conservación del Patrimonio Arquitectónico).
Fig. 120. www.Osaka.es, (2015).
Fig. 121. Block de Raquel Rodríguez Puebla.
Fig. 122, 124 y 126. Catalogo de Julio Barbero.
Fig. 127. <http://news.vinaros.net/v10/images/edicions5/f9927812zn.jpg>, (2015).
Fig. 128. <http://www.espinarmuralismo.com/>, (2015).
Fig. 130. Apuntes Patología y Conservación de los revestimientos tradicionales continuos (I), Santiago Tormo Esteve. (5ª Edición Máster en Conservación del Patrimonio Arquitectónico).
Fig. 131.
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/07/Modelo_de_esgrafiado_y_cenefa.jpg, (2015).
Fig. 132. https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcS_sYzzwOOv4nY15rSEI1Ugz_wQKcMzFXJJXeeieZzCm8dyivoKeQ, (2015).
Fig. 133. <http://arenas.dani.googlepages.com/Praga-cv-esgrafiado-detalle-e2.jpg>, (2015).
Fig. 134 y 135. Catalogo de Julio Barbero.
Fig. 137. <http://jpalenzuelaillan.blogspot.com.es/>, (2015).
Fig. 139. Catalogo de Julio Barbero.
Fig. 140 y 141. <http://jpalenzuelaillan.blogspot.com.es/>, (2015).