

# AGLOMERANTES, MORTEROS Y APLANADOS ADECUADOS PARA PROTEGER EL MEDIOAMBIENTE

ALBERTO CEDEÑO VALDIVIEZO

Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, México, D.F.

Grupo de investigación: Espacios Habitables y Medioambiente

Cedeño Valdiviezo, A. (2011). Aglomerantes, morteros y aplanados adecuados para proteger el medioambiente. *Revista de Arquitectura*, 13, 106-117.

Ingeniero Arquitecto, Instituto Politécnico Nacional (IPN), México D.F.

Maestría en Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Doctor en Urbanismo, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Posdoctorado en habitabilidad y protección del medioambiente, Universidad de Buenos Aires (UBA).

Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel I, del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt).

Últimas publicaciones:

Materiales bioclimáticos. *Revista de Arquitectura*, 12, 100-110 Colombia (2010).

Hitos de la ciudad colonial de Buenos Aires. *Investigación y Diseño 07. Anuario del Posgrado de CyAD*, UAM Xochimilco, México (2010).

Identidad y patrimonio urbano. *Revista Territorios metropolitanos*, N.03/04. UAM. México (2010).

Restauración, reciclaje ¿por qué no rehabilitación o reutilización? *AS-Arquitecturas del Sur*, 35, Chile (2009).

alberto\_cede@yahoo.com.mx

## INTRODUCCIÓN

La temática se inscribe en un proyecto de investigación financiado por la Rectoría General de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), y que se está finalizando, titulado "Desarrollo regional, recursos y diseño ambiental en la Cuenca del Papaloapan", y en otro titulado "Vulnerabilidad bioclimática y habitabilidad regional. Implicaciones de diseño ambiental para la planeación y políticas socioterritoriales en la Cuenca Alta del Río Lerma, Estado de México", financiado por el Promep de la Secretaría de Educación Pública, a través del Programa de Fortalecimiento de los Cuerpos Académicos.

El interés por este tema surgió hace algunos años, cuando al desarrollar la tesis de doctorado se estudiaron aquellos materiales más adecuados para la disciplina que llamamos *rehabilitación urbana*, y que es una alternativa a la ortodoxa *restauración de monumentos*.

Más adelante, y como consecuencia del trabajo en bioclimatismo, se concluye que aquellos materiales adecuados para rehabilitar también son los más adecuados desde el punto de vista del medioambiente por el bajo consumo energético que representa su fabricación en comparación con otros.

Esto ha llevado a estudiar materiales como el bambú, la madera, los aglomerantes, para más adelante hacer lo mismo con los materiales pétreos y la tierra cruda. Posteriormente, se considera hacer un análisis del ciclo de vida utilizando elementos constructivos basados en estos mismos materiales, y aplicar software específico para este propósito.

La hipótesis de la cual se parte es que materiales de construcción que se ocuparon históricamente, y que fueron desplazados por aquellos industrializados, en realidad son los mejores desde el punto de vista ambiental, así que las escuelas de arquitectura deberían hacer esfuerzos importantes por restablecer su uso en sus programas de estudio.

## MARCO TEÓRICO

Durante el siglo XX se incrementó notablemente el consumo de energía en el mundo (al menos seis veces), disminuyendo el consumo de carbón y aumentando el del petróleo (Deffis, 1999, p. 1). Al mismo tiempo, se daba la gran contradicción entre el medioambiente construido y el medioambiente natural, en el cual las ciuda-

## RESUMEN

En este artículo se estudian los aglomerantes históricamente más utilizados, dando particular relevancia al estudio de la cal y el yeso por sus mejores cualidades ambientales en confrontación con el cemento, para lo cual se revisan los impactos ambientales que producen, como son la contaminación del aire, del agua, del suelo, y por el ruido que originan las fábricas. Igualmente, se analizan los mejores morteros y aplanados elaborados con estos mismos aglomerantes, su utilización en aplanados exteriores e interiores, además de las formas de degradación que se producen en ellos y las posibilidades de su protección.

**PALABRAS CLAVE:** cal, yeso, cemento, impactos ambientales, contaminación, degradación.

## BINDERS, MORTARS AND PLASTERS APPROPRIATE TO PROTECT THE ENVIRONMENT

### ABSTRACT

This article examine the binders historically more ordinary, with particular higher relevance to study the lime and the plaster for their environmental property in confrontation the cement, therefore we examine the environmental impact on air pollution, the water pollution, earth pollution and the noise present in manufacture. Subsequently, we examine mortar and coatings made with the same conglomerations, and their use in external and internal coatings To finish, we revise the degradation that happen in the coatings and the chance to protect them.

**KEY WORDS:** Lime, gypsum, cement, environmental impacts, contamination, degradation.

des son grandes consumidoras de recursos provenientes del medio natural, a la vez que depositan en este los desechos que en ellas se producen (González Couret, s.f., unidad 2).

Uno de los problemas más graves de esta contaminación del medioambiente es la fabricación de materiales de construcción, ya que la quema de combustible para su producción es una de las mayores consumidoras de energía, incluso se afirma que la industria de la construcción absorbe la mayor parte de la energía que se produce, además de procesar la mayor cantidad de materias primas (González Couret, s.f., unidad 6). Ante la crisis energética que atraviesa el mundo —y que todo indica será peor año tras año—, los proyectistas deberemos tener como metas del diseño bioambiental:

1. La sustitución de fuentes no renovables por fuentes renovables.
2. La elección de materiales con menor contenido energético, tanto en su fabricación como en su puesta en obra.
3. La elaboración de formas, tipologías edilicias y elementos constructivos que requieran menos energía para su construcción y acondicionamiento (Evans y De Schiller, 1991, p. 10).

Respecto al punto dos, debemos reflexionar sobre los materiales usados como aglomerantes y la cantidad de energía que requieren para su elaboración, de aquí el interés por revisar aglomerantes tradicionales como la cal aérea y el yeso, o el tan recurrente cemento, así como las mezclas que se dan entre estos. También es importante conocer sus propiedades térmicas, pues esto nos permitirá elegir los más convenientes para cada clima y para cada uso.

Es importante recordar que tanto la cal como el yeso no son nuevos: hasta fines del setecientos, al confeccionar mezclas o morteros para juntas de construcciones de mamposterías y aplanados, fueron usados como aglomerantes las arcillas, los yesos y, sobre todo, la cal aérea. La producción de aglomerantes hidráulicos a base de calizas arcillosas tuvo su inicio en algunos países europeos en la segunda mitad del siglo XIX, mientras que el cemento lo hizo hasta los primeros años del siglo XX (figura 1) (Di Battista, 1989, p. 304).

## METODOLOGÍA

Como objeto de estudio se plantea la investigación alrededor de los aglomerantes —cal, yeso y cemento—, con el fin de conocer sus propiedades

y sus variantes. Luego se valoran a la luz de los impactos ambientales producidos por la extracción, la contaminación del aire, el agua, el suelo, y la contaminación por ruido. Luego de la valoración se miran los posibles usos de acuerdo con sus cualidades y debilidades con el fin de poner en evidencia los defectos y la degradación que producen, y los posibles tratamientos.

## RESULTADOS

### AGLOMERANTES

Los aglomerantes o aglutinantes son los elementos que sirven para unir o pegar ladrillos o mamposterías en las construcciones, mediante reacciones químicas en presencia de agua y aire. Los de más uso son la cal grasa, la cal hidratada o calhidra y el cemento (Plazola y Plazola, 1976, p. 157). En vista de la gran cantidad de viviendas a base de ladrillo que se construyen en nuestro país, es muy importante conocer las propiedades, tanto de estos aglomerantes, como de aquellos materiales a los que unen o protegen.

En primer lugar, es importante conocer el contenido energético que cada material ocupa en su fabricación, que en el caso del adobe es bajo y algo más alto en los ladrillos y el concreto. Refiriéndonos a la conductibilidad o transmitancia térmica, el ladrillo y el adobe, e incluso el concreto, tienen valores intermedios (entre 0,5 y 1,7 W/m<sup>2</sup> °C) (Barcelo, 2008, clase 31; Deffis, 1999, p. 140; Barbaro, 2007 en Cedeño, 2010, p. 104), que para los 0,95 W/m<sup>2</sup> °C recomendables para cualquier clima (Evans-De Schiller, 1991, p. 106) resultan altos, pero en muros de gran espesor con aplanados de cal mejoran notablemente la transmitancia térmica, lo que pasa igualmente con las piedras y la tierra seca.

Si hablamos de la radiación solar, la pintura a la cal es mala absorbente, pero buena reflejante de esta hasta en 80%. Las superficies encaladas blancas permanecen más frescas que las superficies de metal pulido como el aluminio, por ejemplo. Este metal tiene una reflectividad mayor a la radiación solar, pero la superficie blanca tiene una alta emisividad y pierde mucho calor por radiación; sin embargo, si los mismos materiales están expuestos no solo al sol sino al suelo caliente, donde la



Figura 1.

Hasta finales del setecientos en Italia, y finales del novecientos en América, fueron utilizados como aglomerantes las arcillas, los yesos y la cal aérea. Es por esto que en las restauraciones de edificios antiguos se continúan utilizando estos materiales.

Fotografía de la restauración de la capilla de Manzanares en la Ciudad de México.

Todas las fotografías fueron tomadas por el autor.

superficie encalada no es capaz de perder calor por radiación, el aluminio pulido permanecerá más fresco (Barcelo, 2008, clase 31).

El índice de hidraulicidad define numéricamente el grado de hidraulicidad de las cales y constituye la relación en peso de los silicatos, aluminatos y óxidos de hierro respecto al óxido de cal y de magnesio. Los coeficientes de hidraulicidad de las cales, según Vicat, van de 0 a 0,1 en la cal aérea, de 0,31 a 0,42 en la cal hidráulica normal, y más de 0,50 en el cemento Pórtland (Pérez, 2011).

### Cal

En los edificios históricos, la cal es un material omnipresente: la tenemos como aglutinante en las mamposterías, para junteo, para aplanados, y en moldeos ornamentales, para bruñidos en cúpulas y bóvedas, como base para pintura ornamental, como vehículo de pigmentos en los murales, en las pinturas de recubrimiento, en estuco para pisos y en otros muchos otros usos (Prado, 2000, pp. 77 y 78).

#### Cal aérea

La cal usada tradicionalmente en construcción, hasta el advenimiento de las cales industriales hidráulicas en el siglo XVIII, es la conocida como *cal aérea*, llamada así porque no fragua bajo el agua. En su estado natural o materia prima es extraída de las minas o caleras. La materia prima es la piedra calcárea con un contenido de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) superior a 95%, y que determina su tonalidad cromática: entre más blanca mejor. Las impurezas de carbonato de magnesio y fracciones de sílice o arcilla no deben ser superiores a 10%. Se extrae de minas abiertas en posición favorable de acuerdo con los niveles de estratificación de la roca; posteriormente, se cuece en hornos adecuados a una temperatura entre 900 y 950 °C. Se mete a estos hornos —los tradicionales funcionan como los hornos para la cerámica—, y con el calor tiene una reacción que se descompone en óxido de calcio (cal viva) y anhídrido carbónico (Gullí, 2002, pp. 126-128; Di Battista, 1989, p. 305):



El producto que sale del horno tradicional debe ser vigilado y seleccionado. Sigue el proceso de hidratación a través del apagado en fosas adecuadas para obtener un producto plástico y laborable, que en presencia del aire tiende a endurecerse. La reacción genera cal hidratada o hidróxido de calcio y calor de acuerdo con la siguiente fórmula (Gullí, 2002, pp. 126-128):



Con relación a la cal viva y cómo debe ser apagada en obra, las *Especificaciones generales de restauración* de la Secretaría de Desarrollo

Urbano y Ecología (Sedue) (1981, pp. 29-31) de México señalan que deberán prepararse tres artesas de acuerdo con el volumen que se vaya a apagar, tomando en cuenta que al hidratarse la cal aumenta su volumen en 31/2 veces. Estas artesas preferentemente se excavarán en el suelo, a fin de que resistan mejor la presión de la cal, y a una profundidad no mayor de 50 cm, cuyas paredes deberán chapearse con ladrillo para no contaminar la cal con las arcillas del suelo. Se inicia depositando los zoquites de cal en la primera calera, y vertiendo agua igual al 50% del peso en kilogramos de cal por apagar. Se bate con un azadón de albañil golpeando los zoquites para que se desmoronen, y solo cuando se haya terminado se dejará de batir. Se deja reposar los días que sean necesarios hasta que aparezcan grietas profundas de 25 mm de ancho. Se le agrega más agua para disolver la pasta y se pasa a una segunda artesa en desnivel a través de un harnero de 5 mm. Se deja formar la pasta y se cubre con una lámina de agua de 5 cm, dejándola reposar hasta que nuevamente se agriete. Se harnea por segunda vez, haciéndola pasar por tela de mosquitero, y se repite el procedimiento. Una vez que la pasta ha reventado, se toman de esta tercera artesa las cantidades necesarias para hacer la mezcla. Los trabajadores encargados de apagar la cal deberán utilizar botas y guantes de hule, así como lentes, y durante el día deberán beber a sorbos dos litros de leche. En caso de que entrara cal en los ojos, deberán lavarse con leche, jamás con agua (Sedue, 1981, pp. 29-31) (figura 2).

Con la hidratación se obtiene una pasta de diversa consistencia y color de acuerdo con las impurezas presentes en el material original, y de la cantidad de agua empleada en la fase de apagado (Gullí, 2002, p. 130). Si la extinción se produce con exceso de agua, como en la cal apagada en obra, se obtiene una pasta de buen rendimiento que tiene, en general, poca resistencia mecánica y un endurecimiento lento por carbonatación, debido al anhídrido carbónico contenido en el aire (Di Battista, 1989, p. 305). El mortero para endurecer requiere de permeabilidad al aire, y el proceso de endurecimiento es lento, especialmente en muros de gran espesor, en los que puede pasar años, decenios o siglos, hasta que se carbonate el interior (Lahuerta, 1984, p. 155). La subdivisión entre cales aéreas grasas o magras tiene en cuenta el rendimiento entre el volumen de la pasta o la relación entre esta y el peso de la cal viva de partida. Mientras la cal grasa se obtiene de rocas calcáreas puras, la cal magra se obtiene de las mismas rocas pero con una gran presencia de impurezas. Estas impurezas representan un retraso en el proceso y un reducido aumento de volumen. La cal fuerte proviene de la descomposición de calcáreas con promedios inferiores a 10% de arcilla, y se utilizaba para mezclas adecuadas para

construcciones con ambientes húmedos (Gullí, 2002, pp. 130-131).

#### Cales hidráulicas

Hay otro tipo de cal, que se conoce como cal hidráulica, y tiene la propiedad de fraguar bajo el agua. También está hecha de piedras calcáreas, pero tiene un contenido de arcillas mayor al 10% (cales margosas que contienen carbonato de calcio, aluminatos y sílice). Cuando se agregan en el proceso industrial, estas no deben ser mayores de 20%. Al pasar la cocción, los silicatos de las arcillas reaccionan con el óxido de cal, y al contacto posterior con el agua se cristalizan y le otorgan la facultad de fraguar bajo esta (Prado, 2000, p. 78; Di Battista, 1989, p. 305). La calcificación se lleva a cabo a temperaturas que oscilan desde 900 a 1000 °C hasta un máximo de 1100 a 1200 °C, en función de la cantidad de materiales arcillosos presentes en las piedras o en la mezcla artificial (Gullí, 2002, p. 132). Las características de estas cales son el endurecimiento gradual de las mezclas con agua (o con agua y arena), y el mantenimiento de las características mecánicas al llevarse a cabo el endurecimiento por el contacto con el agua, así como la rapidez en el endurecimiento y la resistencia mecánica adquirida por la mezcla. Dentro de ciertos límites, todas estas características tienden a incrementarse, según el índice que está representado por la relación (Di Battista, 1989, p. 305):

$$i = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{MgO}}$$

Durante muchos años se utilizó la cal aérea viva apagada en obra para los morteros tradicionales, pero cuando se requirió una cal que fraguara bajo el agua, como en las obras lacustres y fluviales, se observó que esta se lograba agregando arcillas. Se descubrió así la cal hidráulica, que posteriormente condujo al descubrimiento del cemento conocido como Portland (Prado, 2000, p. 79).

Como ejemplo de lo que se puede lograr con la cal hidráulica se recomienda sustituir en exteriores el aplanado tradicional de cemento —arena en proporción 1:3— por uno más denso y con menor resistencia, evitando de esta forma que dicho aplanado se convierta en una costra rígida, lo que originará retracciones altas que a su vez conducirán a fisuras. Para evitarlo, se recomienda adicionar cal hidráulica en la confección de un mortero para estucos, aumentando la plasticidad y mejorando la retención y la adherencia, para lograr estucos con menores fisuras y con baja probabilidad de desprendimiento y soplado de los mismos. Desde el punto de vista constructivo, se obtiene una mezcla que liga mejor y más plástica, disminuyendo el rebote y las pérdidas, y aumen-

tando el rendimiento de la mano de obra. En conclusión, adicionar cal hidráulica a los morteros ricos en cemento permite estandarizar la resistencia, aumentar la retención y mejorar la adherencia (Cotexa, 2009, p. 1).

#### Yeso

El yeso se originó hace 200 millones de años como resultado de depósitos marinos, cuando parte de nuestros continentes eran inmensas extensiones oceánicas. Durante este periodo, algunos mares se secaron dejando lechos de yeso que se recubrieron para ser descubiertos posteriormente por el ser humano, ya que es uno de los más antiguos materiales de construcción: en el neolítico se usó para realizar cimientos y muros. Los asirios empleaban un yeso conocido como alabastro; hace 6000 años, los egipcios preparaban argamasa a partir del yeso, y 1500 años después utilizaron estuco de yeso en el revestimiento interior de las pirámides. La civilización griega lo denominó gypsos (yeso) y la romana generalizó su uso en Europa. En América fue introducido por los españoles.

El yeso se obtiene de piedras y en su origen químico domina el sulfato de calcio hidratado ( $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ). A pesar de que se endurece rápido y de que tiene poca resistencia mecánica, el yeso es utilizado en las construcciones históricas como aglomerante para mezclas estructurales y para los acabados. Se obtiene de la cocción del mineral; a los 130 °C se tiene la formación de sulfato de calcio semihidratado conocido como yeso de París o yeso cocido; entre 160 y 180 °C cede toda el agua y se convierte en un producto anhídrido ( $\text{CaSO}_4$ ) que se utiliza como aglomerante ordinario. A una temperatura mayor, entre 300 y 900 °C, se estabiliza, pierde la capacidad de hidratarse y no fragua cuando se utiliza en las mezclas. A más de los 900 °C el yeso calcinado contiene cierta cantidad de cal libre generando productos de fraguado lento y de cualidades hidráulicas. El yeso en polvo es muy higroscópico y deteriorable en ambientes húmedos, perdiendo las características de adherencia y fraguado. La calidad del mineral de partida, las diferentes temperaturas de cocimiento y las maneras de elaborarlo dan diversos tipos de yeso: el de buena calidad será un polvo sutil, de consistencia suave y color blanco lechoso o blanco grisáceo; otros colores son indicadores de la presencia de impurezas (Gullí, 2002, pp. 133-135) (figura 3).



Figura 2.

La cal aérea es llamada así porque no fragua bajo el agua. Para restaurar se continúa “apagando” por medio de un procedimiento que consiste en pasar de una artesa a otra para lo cual se hace pasar por mallas cada vez más finas.

Fotografía de la restauración de la Catedral de Cuernavaca en el estado de Morelos.



Figura 3.

El yeso, debido a que endurece rápido y que tiene poca resistencia mecánica, fue más utilizado en la elaboración de plafones que como aplanado.

Fotografía del Palacio de Schönbrunn, en Viena.

El yeso tiene un contenido energético de  $1.700 \text{ mj/m}^3$  (Evans y De Schiller, 1991, p. 10), valor bajo para un producto que requiere ser cocido para su elaboración. Entre las características térmicas interesantes del yeso se encuentra la admitancia, que es el flujo de calor en watts por  $\text{m}^2$  de superficie y por grado de diferencia de temperatura entre el aire y la superficie ( $\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Una placa de yeso con cámara de aire tiene una admitancia de  $2 \text{ Wm}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  (p. 114), es decir, baja y adecuada para un clima cálido. La admitancia se define como la característica que presenta una superficie para recibir calor del aire o suministrar calor hacia el aire en variaciones cíclicas de temperatura.

### Cemento

El cemento es el aglomerante universalmente empleado durante el siglo XX y este XXI, con un relativamente alto consumo de energía para su elaboración (concreto simple  $2.600 \text{ mj/m}^3$ , concreto armado  $4.000 \text{ mj/m}^3$ ). Este presenta tiempos de fraguado y de endurecimiento más rápidos que las cales hidráulicas, puede ser natural o artificial según la materia prima, y de fraguado lento o rápido.

### IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS AGLOMERANTES

A continuación analizaremos el grado y tipo de contaminación que producen estos aglomerantes durante su proceso de extracción o producción, además de la contaminación que provocan en el aire, en el agua, en el suelo y por el ruido.

### Extracción

Existen dos métodos de extracción del cemento: el húmedo y el seco. En el caso del método húmedo, la cantidad de energía requerida es 100% mayor que en el método seco. En el método húmedo la cantidad específica de gas de escape es también mayor; en el seco, la materia prima se tritura al tiempo que se seca, y se cuece normalmente en un horno tubular giratorio a la temperatura de aglomeración requerida de unos  $1400 \text{ }^\circ\text{C}$ .

En la industria de la cal, para la cocción de la piedra caliza se utilizan hornos de cuba y giratorios. La temperatura de cocción es de  $850$  a  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ . El yeso se deshidrata parcialmente a temperaturas que van desde  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  hasta un máximo de  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### Contaminación del aire

En relación con la contaminación que producen estos aglomerantes en el aire vemos que:

Las materias primas del cemento se suelen secar al mismo tiempo de su preparación y molienda, por lo que la humedad presente se desprende en forma de vapor de agua inocuo. Durante la cocción de las materias primas, u obtención del cemento, tiene lugar, por desprendimiento del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) contenido en la piedra caliza, la transformación de carbonato cálcico en óxido cálcico. Así pues, las emisiones gaseosas de la cocción están formadas por el  $\text{CO}_2$  de la descarbonatación, los gases de escape de los combustibles y también vapor de agua en pequeña cantidad. En el gas desprendido pueden aparecer también compuestos de azufre (generalmente en forma de  $\text{SO}_2$ ) y óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ). Las emisiones de vapor y de cloro y flúor gaseosos se evitan en el proceso normal por absorción de los contaminantes en el producto combustible (Estrucplan, 2009).

Las emisiones de vapor de agua y de  $\text{CO}_2$  son inherentes al proceso, mientras que la aparición de compuestos de azufre puede reducirse drásticamente con el uso de materias primas y combustibles adecuados, así como con el control del proceso de combustión. A menudo se utilizan aceites, disolventes, residuos de pintura, neumáticos viejos u otros residuos como materiales combustibles complementarios. Estos productos de desecho suelen contener contaminantes, pero normalmente son fijados por la clínca y no pasan al gas de escape.

En la cocción de la cal, efectuada en instalaciones más pequeñas que en la fabricación del cemento, se emite también  $\text{CO}_2$  con el gas de combustión; sin embargo, la cantidad de gas de escape es mucho menor que en las fábricas de cemento, dado el tamaño de la instalación y las temperaturas mucho más bajas de cocción requeridas por el proceso. Al apagar la cal el carbonato cálcico se transforma en hidróxido cálcico por adición de agua. Parte del agua añadida se evacúa de nuevo en forma de vapor, ya que el proceso es exotérmico, pero este vapor de agua es inocuo.

Durante la cocción del yeso pasan a la atmósfera vapor de agua y pequeñas cantidades de gas de combustión. Dado que las temperaturas de cocción — $300$  a  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ — no son muy altas, y los flujos de masa son generalmente muy pequeños, también estas instalaciones de cocción producen una contaminación ambiental escasa (Estrucplan, 2009).

Sobre la contaminación del aire por el polvo, en el caso del cemento, debemos mencionar la necesidad de contar con instalaciones de aspiración y grupos separadores de polvo eficaces: precipitadores electrostáticos, filtros textiles, filtros de gravilla y, frecuentemente combinados con estos

últimos, ciclones. La mayor parte del polvo separado se reconduce al proceso, siempre y cuando no se esperen acumulaciones de componentes de metales pesados (como el talio) en el gas de escape. Si el polvo se deposita, dado que algunos de sus componentes son solubles, deben observarse las exigencias de la protección de aguas subterráneas con base en la solubilidad de los distintos componentes. “En la fabricación de cal, la acumulación de polvo es menor, pues solo en el apagado, embalaje y carga de la cal hay que trabajar con un producto en polvo. En la industria del yeso y de la anhidrita la acumulación de polvo es también escasa” (Estrucplan, 2009).

### Contaminación por ruido

Con relación a la contaminación por ruido, las fábricas de cemento ocasionan un impacto sonoro mucho mayor que las de cal y yeso; estas últimas tienen sectores de producción con niveles de ruido aceptables. Para evitar molestias, las plantas deben estar construidas a una distancia de 500 m de las zonas urbanizadas, como mínimo.

Con referencia a este tipo de contaminación, están en funcionamiento numerosas máquinas que, incluso con el estado actual de la técnica, producen niveles de ruido de 90 dB, lo cual es demasiado ya que para las zonas industriales el valor límite recomendado es de un máximo de 70 dB de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1999).

### Contaminación del agua

Las fábricas de cemento y de cal son a veces grandes consumidores de agua, pero el proceso tecnológico no produce contaminación. En las fábricas de cemento se necesitan unos 0,6 m<sup>3</sup> de agua por tonelada de cemento para la refrigeración de las máquinas. En las instalaciones que trabajan con el método húmedo se necesita aproximadamente otro metro cúbico por tonelada de cemento para la molienda del lodo. En la industria de la cal se necesita agua para el apagado de la cal cocida (0,33 m<sup>3</sup>/t de cal). Algunas fábricas de cal consumen, sobre todo cuando se exigen calidades de gran pureza, otro metro cúbico de agua por tonelada de cal para el lavado de la piedra caliza bruta. La industria del yeso necesita relativamente poca agua, pues al transcurrir los procesos a temperaturas bajas, no hace falta energía de refrigeración. El agua sanitaria acumulada requiere conducción y gestión especiales (Estrucplan, 2009).

### Contaminación del suelo

También el suelo se deteriora por la acción contaminante de estas fábricas. En las inmediaciones de las fábricas de cemento, cal y yeso, si el mantenimiento de las instalaciones de separación de

polvo es insuficiente, los suelos pueden deteriorarse por el polvo que reciben.

Cierto es que en la fabricación del cemento se pueden introducir en el proceso elementos traza con efectos potencialmente negativos sobre el medioambiente, a través de componentes de materias prima especiales, como mineral de hierro, o actualmente también a través de materiales de desecho combustibles, cada vez más utilizados (Estrucplan, 2009).

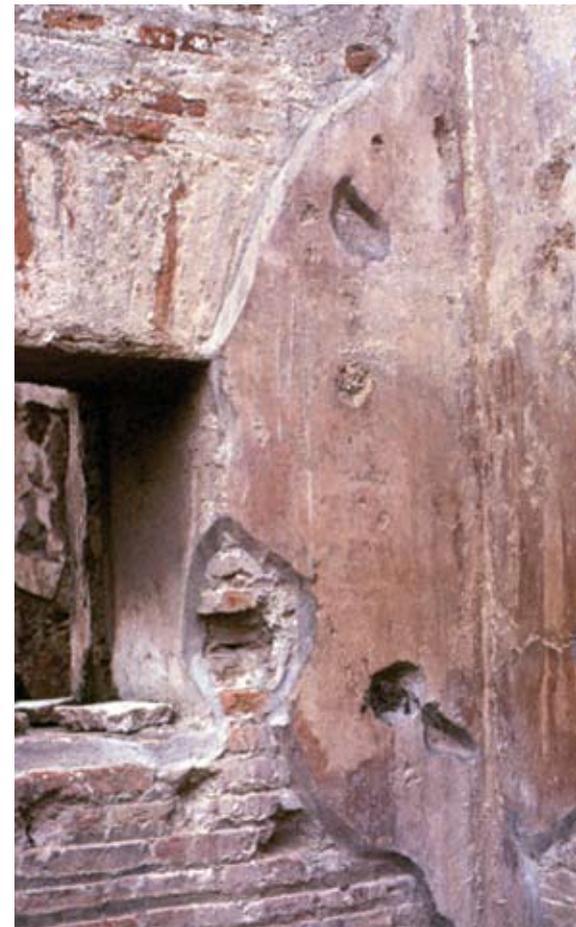
Respecto al impacto que se produce en los ecosistemas, se deberá considerar que las fábricas de cemento, cal y yeso necesitan materias primas que se encuentran a flor de tierra, por lo que al extraerlas no se pueden evitar interferencias en el paisaje circundante. En la elección del emplazamiento de las fábricas de cemento, cal y yeso deben tenerse en cuenta también los aspectos ambientales, dado que su impacto no se limita al área de la fábrica; los grupos de población afectados, sobre todo las mujeres y los niños, deben tener derecho a atención médica (Estrucplan, 2009) (figura 4).

### MORTEROS Y ARGAMASAS

El *mortero* es el material de unión entre los sillares de un muro. Debe endurecerse, adherirse al material y presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos. Es hecho con aglomerantes, arena y agua (Lahuerta, 1984, p. 152). Originalmente se usó el barro como mortero, pero no funcionaba debido a su degradación ante la intemperie. En Mesopotamia se usó el asfalto como estabilizador, desde el tercer milenio a. C., hasta que los morteros a base de cal y arena permitieron elementos más resistentes y durables (Meli, 1998, p. 25). Su duración depende de las diversas calidades de los materiales empleados, del cuidado y las características con las que se lleva a cabo la dosificación; también deben considerarse la temperatura y las condiciones en que es empleada en obra.

La *argamasa* es un caso particular de mortero en el que el aglomerante es cal; se puede decir que hoy es una palabra en desuso (Lahuerta, 1984, p. 152). La correcta determinación de las características físicas y mecánicas de estas argamasas es sumamente importante al llevar a cabo un trabajo de reparación de las mamposterías, ya que en su relación con el barro es posible determinar el nivel de homogeneidad y monoliticidad de los muros (Gullí, 2002, p. 126).

Los romanos lograron un avance importante al agregar puzolana al mortero de cal; esta “es un



▲ Figura 4.

Tanto la cal como el yeso son mejores materiales que el cemento desde el punto de vista ambiental, ya que consumen menos agua, contaminan menos el aire, su fabricación produce menos ruido, y la cantidad de gas de escape que se produce es mucho menor.

Fotografía de una argamasa en la ciudad romana de Pompeya.

material fino de origen volcánico que reacciona directamente con la cal, produciendo su carbonatación sin necesidad de su exposición al aire; da lugar a un endurecimiento mucho más rápido y a un importante aumento de resistencia e impermeabilidad y, por consiguiente, de durabilidad” (Meli, 1998, p. 28). De aquí se originará, posteriormente, el concreto.

Los morteros que se pueden encontrar en las mamposterías no inciden sustancialmente en la resistencia de las mismas, ya que esta depende de los elementos ligados. Los morteros más resistentes son generalmente más impermeables; esto puede reducir la migración de sales solubles. La presencia de pastas impermeables, a veces, viene acompañada de mayor eflorescencia en la superficie de los tabiques; esto sucede porque la impermeabilidad de las juntas ocasiona que el proceso de evaporación se limite a los elementos de barro (Di Battista, 1989, p. 306). Los morteros se componen, además de los aglomerantes, de arena y agua. Los morteros de cal y arena alcanzan resistencias a la compresión de entre 5 y 20 kg/cm<sup>2</sup>. Aunque mejores que los de barro, también son vulnerables a los efectos de la intemperie debido a que su relativa porosidad permite la penetración de la humedad (Meli, 1998, p. 28) (figura 5).

*Agregado fino o arena.* La arena utilizada para la elaboración de morteros y aplanados define algunas de las características que tendrá la mezcla, y puede con el tiempo dar lugar a defectos si contiene partículas de tierra o arcilla, sales (las arenas marinas que no están bien lavadas) y depósitos orgánicos que puedan provocar eflorescencia y descomposición, llevando a la disgregación de la pasta (Di Battista, 1989, p. 305). La mejor arena es la que tiene un contenido mínimo de partes terrosas (inferior a 10%), con un incremento porcentual de minerales de cuarzo (silices), por lo que a menudo requieren ser sometidas a procesos de lavado para eliminar las partes más finas, y aquellas mayormente friables que comprometan la calidad de la mezcla.

La arena de mar está formada de partes más lisas, y contiene cantidades importantes de cloruro de sodio, por lo que no es recomendable, mientras aquellas de tipo calcáreo tienden a absorber parte del agua del mortero y por tanto son más friables que aquellas de naturaleza sílice (Gullí, 2002, pp. 135-136). Las arenas muy finas pueden ocasionar un revenimiento mayor. En los aplanados finos, los materiales impuros tienden a aparecer en la superficie produciendo manchas. La presencia de óxido de hierro o de partículas carbónicas puede producir fisuras y manchas (Di Battista, 1989, p. 305). Se considera como agregado fino aquel que pasa por la malla número cuatro de medio centímetro por lado si es cuadrada o su equivalente si es redonda (Plazola y Plazola, 1976, p. 157).

*Agua.* La calidad del agua utilizada para la realización de la mezcla es muy importante en la duración de los morteros y aplanados (y concretos). El agua para mezcla que contiene sales en solución (cloruros, sulfatos) o impurezas orgánicas ocasiona efectos retardantes en el fraguado (o aceleraciones por la presencia de calcio o magnesio), y también acciones diferenciadas en la masa de la construcción, y fenómenos de eflorescencia salina (Di Battista, 1989, p. 305).

*Morteros aéreos o a base de cal aérea.* “Son aquellos cuya solidificación completa y perfecto endurecimiento son lentos y lo efectúan por la acción del aire sobre ellos” (Plazola y Plazola, 1976, p. 157). El método tradicional se lleva a cabo mezclando arena a la cal apagada, con una proporción variable según el tipo de uso, y un poco de agua de modo que haga trabajable la mezcla, tomando en cuenta las fases de fraguado y endurecimiento en presencia del aire. La fase de fraguado empieza inmediatamente después de ponerla en obra, luego de la evaporación gradual del agua y de la absorción de la mampostería (Gullí, 2002, p. 137). Si la cantidad de cal apagada es excesiva, después de la evaporación del agua se obtiene una masa escasamente porosa y poco permeable al aire; si la cantidad de cal es poca, la masa resulta demasiado porosa. Estos dos efectos se reflejan en el proceso de endurecimiento de acuerdo con las fases siguientes:

- Fase I: primer endurecimiento parcial debido a la evaporación del agua de la pasta.
- Fase II: lento endurecimiento definitivo debido a la recarburación de la cal, causada por el anhídrido carbónico presente en el aire (Di Battista, 1989, p. 305).

Para esto se requiere de destrezas particulares que garanticen carburación del espesor completo de la mezcla: por un lado, la arena debe ser de granulometría no demasiado pequeña a fin de provocar un agrietamiento por la evaporación del agua de la mezcla y para obtener una estructura permeable al aire; o una granulometría surtida, que permite obtener una distribución más uniforme del aglomerante entre las partículas, de modo que los espacios entre los granos de mayores dimensiones son cubiertos por aquellos más pequeños, mientras que la cal rellena los hoyos residuales.

Durante la colocación, el soporte debe ser rociado con abundante agua a fin de evitar la absorción de los ladrillos o de las piedras demasiado porosas. La temperatura de colocación va de un mínimo de 5 °C a un máximo de 26 a 28 °C, para evitar el agrietamiento por un aumento del volumen del agua, la quemadura de la cal o la pérdida por cohesión. Se prefiere la arena de origen de cuarzo ya que se lleva a cabo la reacción entre la arena, de comportamiento ácido, y la cal,

que se realiza lentamente por la baja reacción con el sílice en estado cristalino (Gullí, 2002, p.137). Otros defectos que hay que evitar dependen de la eventual presencia de granos de cal todavía sin hidratar; su posterior hidratación da lugar a un aumento de volumen que en las argamasas lleva a disgregar la capa de la mezcla hacia el exterior (Di Battista, 1989, p. 305). Una proporción media entre aglomerante y arena sería de 1:3, dependiendo del tipo de cal que se utilice, por ejemplo, la calhidra que, a la hora de ser utilizada presenta cualidades y características inferiores a las de la cal apagada en obra; esto se debe principalmente a dos factores: los defectos en la conservación, y a que la calhidra puede permanecer en contacto con el agua un tiempo limitado, mientras que la cal apagada en obra madura en un periodo de cerca de tres meses en un estado de completa saturación. Además, en la calhidra la formación de la estructura cristalina, que hace estable el proceso de fraguado mejorando las características adhesivas y plásticas, no se lleva a cabo completamente. Por tanto, aunque químicamente son iguales, la resistencia de la calhidra es inferior cuando se usa en mamposterías y, sobre todo, no tiene la misma capacidad adhesiva requerida por los inmuebles antiguos (Gullí, 2002, pp. 139-140).

*Morteros hidráulicos.* Así se definen las mezclas que utilizan un aglomerante hidráulico, o bien un aglomerante que permita el fraguado lo mismo en el aire que en contacto con el agua. Estas mezclas tienen la propiedad de endurecer rápidamente (Plazola y Plazola, 1976, p. 157). Tal proceso es consecuencia de la reacción a la hidratación de los silicatos, aluminatos y ferratos de calcio presentes en el cemento y en la cal hidráulica, pero en el caso del cemento se consolida después de tal reacción; en la cal hidráulica, el fraguado y el endurecimiento se deben a los hidratos, a la reacción entre la cal libre y el anhídrido carbónico del aire, por lo que a los 28 días el cemento alcanza resistencias 10 veces mayores a las de la cal hidráulica. Esta diferencia tiende a disminuir con el paso del tiempo, ya que el proceso de endurecimiento de esta es lento pero progresivo, mientras que en el cemento permanece constante (Gullí, 2002, p. 140). El endurecimiento parece depender de la presencia de dos compuestos en el aglomerado: silicato bicálcico ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) y aluminato monocálcico ( $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ), que son hidráulicamente activos. La hidratación de estos compuestos genera procesos muy complejos, análogos a la hidratación del cemento, que llevan al endurecimiento de la masa. Los fenómenos de endurecimiento son explicados por diversas teorías: las mezclas hidráulicas pueden tener inconvenientes y defectos debido al aglomerado, a los agregados al hielo y a diversas formas de corrosión (sulfatos, agua pura, anhídrido carbónico) (Di Battista, 1989, p. 306).



Las mezclas a base de cales hidráulicas se deterioran continuamente por el deslave, especialmente en presencia de agua rica en sulfatos y en magnesio que tienden a modificar el ambiente alcalino de la obra del hidrato de calcio y de la hidratación de los silicatos, con el consecuente surgimiento de porosidades microscópicas sobre la superficie del mortero endurecido y la relativa reducción de las propiedades mecánicas (Gullí, 2002, p. 141).

*Morteros hidráulicos compuestos y a base de yeso.* Puede tratarse de mezclas hidráulicas compuestas, que sirven para darle un mayor grado de hidráulica a las mezclas de cales aéreas. Se pueden emplear cargas hidráulicas o puzolanas; el proceso de fraguado y endurecimiento de las mezclas ya combinadas se lleva a cabo después de la combinación entre el hidrato de calcio del aglomerante y los silicatos, las alúminas y de los ferratos presentes en estos materiales. La mezcla hidráulica compuesta se obtiene agregando la cal apagada en obra al polvo de puzolana, obtenida directamente del lugar de extracción y cernida para eliminar las partes más gruesas. Por la estructura granular, la puzolana permite un rendimiento volumétrico similar al de la arena. Las proporciones recomendadas si la cal es magra son de 1:5 a 1:3, y si es más grasosa de 1:3 a 1:1,5 (Gullí, 2002, p. 142).

Por otra parte, a una mezcla hecha a base de yeso solamente se le agrega agua y endurece al contacto con el aire. La mezcla de yeso genera una fuerte adhesión, formando una unión estable con la piedra y el barro, cuando tienen una superficie irregular y ligeramente porosa. Si se le agrega arena a la mezcla solo se le da volumen, pero no cambia su calidad, más bien disminuye su resistencia; lo mismo ocurre si se le agrega puzolana, que en ausencia de cal no produce reacción química alguna. En el caso de aplanados interiores, para superar los tiempos de mezcla pastosa de 15 minutos aproximadamente, y del fraguado

Figura 5.

Los morteros que se colocan sobre mamposterías no inciden sobre la resistencia de las mismas. Sin embargo, morteros más resistentes también son más impermeables, lo cual impide una buena migración de las sales solubles, y la consecuente aparición de la eflorescencia que en México llamamos "salitre".

Fotografía de la restauración de la Casa de Cultura de la Delegación de Tlalpan en la Ciudad de México.

que van de los 5 a los 30 minutos, se agrega cola, calhidra como lechada, en lugar de agua, o el carbonato de calcio finamente pulverizado (Gullí, 2002, pp. 143-144).

*Morteros de cemento.* Alcanzan resistencias muy superiores a las del mortero de cal (50-200 kg/cm<sup>2</sup>), tienen un endurecimiento muy rápido y mayor módulo de elasticidad, lo que se refleja en más rigidez de la obra de mampostería; es decir, en un muro elaborado con mortero de cal y reparado con mortero de cemento se pueden producir zonas más rígidas y, por tanto, concentraciones de esfuerzo (Meli, 1998, p. 28).

*Morteros bastardos.* Son diferentes tipos de mezclas en cuya pasta están presentes mezclas de cal y yeso, cal aérea o hidráulica, cal hidráulica y cemento como aglomerantes, con proporciones diferentes entre ellas, y arena (Di Battista, 1989, p. 306); También son morteros constituidos de uno o más aglomerantes mezclados en diferentes proporciones, con el fin de obtener mezclas que resalten las características cualitativas de cada componente (Gullí, 2002, p. 144). Una muy utilizada en el pasado es la mezcla entre cal aérea y cal hidráulica, la cual conserva las características de ambos, ya que además de garantizar la transpiración del soporte en virtud de su estructura porosa, garantiza el fraguado y el endurecimiento aun en ambientes húmedos. Un mortero elaborado de yeso y cal aérea con un poco de arena mejora la consistencia y aumenta el tiempo de fraguado con valores de resistencia final intermedios entre aquellas características de ambos aglomerantes. Los morteros a base de yeso y cal hidráulica se utilizan en donde se requieren rendimientos análogos a los de la mezcla de cal aérea y yeso, pero obteniendo un mejoramiento en los tiempos de fraguado y una mayor resistencia al escurrimiento y a la degradación producida. Agregar cemento a las cales aéreas o hidráulicas permite mejorar las características mecánicas del mortero y agiliza las cualidades de la mezcla. Su utilización en los aplanados se ha difundido desde principios del siglo XX. Las proporciones más utilizadas señalan una cantidad idéntica de cal hidráulica y de cemento, con el agregado de cal aérea correspondiente a 20% del volumen total. Estos aplanados se caracterizan por una estructura rígida y compacta, que es la causa principal de que suba la humedad por la capilaridad de agua del subsuelo y, en general, de una inadecuada transpiración del muro, por lo que se aconseja utilizarlo solo en condiciones particulares para garantizar una continuidad constructiva, estructural y de los materiales con lo existente (Gullí, 2002, pp. 144-145).

*Morteros terciados.* Son aquellos a los que se les agrega tierra del lugar, en proporción de un volumen de esta por uno o dos volúmenes de

mortero. La mezcla así obtenida conserva algunas propiedades hidráulicas y aunque resulta ser más pobre, endurece debidamente (Plazola y Plazola, 1976, p. 157).

## APLANADOS

La protección de las superficies exteriores mediante aplanados es una técnica muy antigua. Especialistas en restauración sostienen que la mampostería expuesta al medioambiente siempre tuvo que contar con un aplanado que la protegiera, ya que de lo contrario no hubieran podido subsistir durante tantos años (a veces siglos). Esto es importante tenerlo en cuenta cuando los políticos toman decisiones respecto a las fachadas de algunas poblaciones mexicanas y la posibilidad de dejarlas sin la protección, sin aplanado, sosteniendo que esta es una tradición mexicana.

La primera operación necesaria en la colocación de un aplanado es la preparación idónea del soporte. Cuando se coloque un nuevo aplanado en una superficie que ya lo tuvo, se deben retirar del soporte de mampostería los residuos del aplanado preexistente, y posteriormente analizarse la consistencia y coherencia del mortero estructural de las juntas; y si es necesario, removerlo a una profundidad de uno a tres centímetros. Posteriormente, se limpia el aplanado anterior con un cepillo de fibras vegetales, se humedece la superficie y luego se aplica una primera capa de argamasa que servirá como agarre de la sucesiva y proporcionará una base o soporte regular y homogénea para la siguiente capa, que puede ser de 1 a 3 cm de espesor; la capa final será de 1 a 3 mm (Gullí, 2002, p. 145).

### Aplanados exteriores

En la antigüedad, los aplanados exteriores se hacían con gran cuidado. La tradición en el arte de la mampostería había alcanzado una gran capacidad en el tratamiento de los aplanados; muchas técnicas antiguas, como en la que se mezclan la pasta y cerdas de animales para formar una especie de armadura que aumenta la resistencia de las tensiones internas, son aún hoy en día retomadas. El oficio adquirido por una larga práctica y por "recetas" recogidas por la tradición de los talleres es muy difícil que pueda ser practicado hoy en día dado que para los conocimientos que no se transmiten más no existe una suficiente maestría, a lo que se une el inconveniente de los costos y los tiempos impracticables. El aplanado exterior se expone a condiciones particularmente severas: frecuentes lluvias, hielo, dilataciones térmicas, movimiento de la estructura, y acciones químicas y biológicas. La calidad y la duración de estos aplanados dependen de los ingredientes de la mezcla (aglomerantes, arena y agua), pero aún más de los procedimientos de ejecución, que determinan

el grado de adherencia, la resistencia mecánica, el revenimiento y el grado justo de permeabilidad, así como las características de uniformidad y de aspecto (Di Battista, 1989, p. 306).

### **Aplanados de cal aérea**

La cal aérea es el aglomerante más adecuado para los acabados en ámbitos de naturaleza histórica por la compatibilidad de los retoques a base de minerales, así como por la gran capacidad de transpiración permitida a la mampostería. Su empleo, no obstante, resulta caro por el cuidado y el tiempo que se requieren para su apagado en obra; la pérdida de agua del aplanado debe ser gradual y controlada de acuerdo con las condiciones de temperatura y humedad ambiental mediante una adecuada hidratación. Se deberán humedecer entre cinco y ocho veces al día los primeros dos o tres días, y progresivamente reducirlos en el lapso de una semana. El proceso de carbonatación medido durante 28 días implica un fraguado del aplanado del exterior hacia el interior. Una regla general es que la granulometría del agregado corresponda con la cantidad de cal y el espesor del aplanado: entre más fina es la arena, mayor es la cantidad de aglomerante y menor el espesor de la aplicación. Si se utiliza polvo de ladrillo, es necesario medir el nivel de hidráulidad o el aumento del grosor de la pasta, por lo que conviene prepararlo poco tiempo antes de la aplicación para evitar que se formen grumos y el consecuente endurecimiento gradual del agua (Gullí, 2002, p. 148). La mezcla para estos aplanados está hecha normalmente de una medida de cal apagada por 2,5/3 medidas de arena y un poco de agua.

Los aplanados exteriores se componen de tres estratos o capas. La primera capa, la de adherencia, es más grasosa (ya que contiene más cal); cuenta con un espesor de 3 a 5 mm, y tiene la tarea de ligar mecánicamente como soporte de la capa sucesiva (estrato de fondo). La segunda capa, es decir, el estrato del fondo, contiene mucho menos aglomerante que la precedente y tiene un espesor que en general oscila entre los 15 y 20 mm; su tarea es corregir las imperfecciones del soporte y ofrecer una buena resistencia a la lluvia. La tercera capa o estrato de terminación tiene poco aglomerante, y agregados de granulometría diferentes según el tipo de terminación; su espesor es de 3 a 5 mm y tiene la tarea de definir, con su textura, el aspecto exterior. Este último estrato, el más expuesto, debe ofrecer una buena resistencia a la acción del agua, que puede ser mejorada con el pulido de cal, recibiendo un velo de color, generalmente del mineral a base de cal (Di Battista, 1989, pp. 306-307).

Después de la transformación en carbonatos o carbonatación, este tipo de aplanado se hace



estable con el agua; su elevada permeabilidad al líquido y al vapor permite un secado rápido; es muy deformable y soporta muy bien los requerimientos térmicos y mecánicos. Se trata de un material utilizado desde hace mucho tiempo; tiene una vida muy larga y permite un fácil mantenimiento, pero su calidad depende muchísimo del espesor del muro (Di Battista, 1989, p. 307) (figura 6).

### **Aplanados de cal hidráulica o cemento**

En los aplanados no tan antiguos, realizados después de mitad del siglo XIX, el aglomerante más utilizado es la cal hidráulica, o el cemento Portland en el siglo XX. También estos aplanados están compuestos por tres capas de espesor análogo a aquellos de la cal aérea, en los cuales la dosis del aglomerante y el revenimiento disminuyen hacia el exterior. La capa de adherencia tiene generalmente una superficie muy rugosa, que compensa la menor resistencia de la segunda capa. La capa exterior, si está bien hecha, toma un aspecto muy compacto y sin fisuras evidentes. También los aplanados hidráulicos presentan una buena permeabilidad al agua y al vapor, lo que explica su excelente duración incluso en condiciones de exposición severas.

### **Aplanados de tierra**

Es un acabado que tradicionalmente se ha utilizado en los muros de adobe. Se compone de dos capas, tanto en exteriores como en interiores. Se omite la capa de soporte y para la capa inicial se recomienda adicionar una pequeña cantidad de material fibroso o paja, que permitirá la utilización de un porcentaje más alto de arcilla (20 a 25%); este procedimiento reforzará dicha mezcla haciendo posible la aplicación de una capa de terminación más gruesa que permita una mejor nivelación. La capa final de acabado está hecha de materia cernida fina, con un contenido de arcilla moderadamente alto, y se aplica lo más delgado posible para lograr un cubrimiento completo. Si

▲ Figura 6.

Agregar cemento a las cales aéreas o hidráulicas, o a la tierra, permite mejorar las características mecánicas del mortero y agiliza las cualidades de la mezcla. Agregar igualmente una malla de alambre soldado, técnica que los italianos llaman *capas* o *contraparedes de concreto armado con mallas electrosoldadas*, mejora la resistencia de las mamposterías ante los sismos.

aparecen grietas se humedece la superficie, lo que provoca la plasticidad del material y su reparación (McHenry, 2004, p. 136).

La adición de otros materiales como paja de trigo o avena, especialmente seleccionada y recortada para que no sobresalga de la superficie acabada, provoca un efecto de superficie brillante y dorada que refleja los rayos del sol. También se puede estabilizar con algún impermeabilizante como la emulsión de asfalto, que es lo más económico. El cemento Portland es efectivo en un 15% pero esto lo encarece tanto como un aplanado convencional. En este caso, hay que tener especial atención para que se mezcle adecuadamente con la tierra o con la arcilla (McHenry, 2004, pp. 138-139). Otra posibilidad es la de mezclar una parte de cal grasa aérea con cinco partes de arena y una parte de tierra cernida (p. 146).

El uso de aditivos. El primero de estos aditivos es la *baba de nopal*. Actualmente se acepta el uso de aditivos químicos, de los cuales el más fácil de conseguir y usar es el acetato de polivinilo, y otros selladores vinílicos compuestos de este material. En caso de estucos ornamentales, se utilizan también la caseína y las colas animales. Para hacer impermeable el mortero o aplanado se le pueden añadir ácidos esteáricos o productos como los impermeabilizantes integrales que se fabrican a base de ácidos como:

- Festergral de Fester de México.
- Integral normal o V de Durorock (Prado, 2000, p. 82).

Cuando se trata de hacer aplanados o bruñidos muy delgados —que no queremos que se despeguen o se craquelen—, o el moldeado de diversas figuras ornamentales para restaurar cantería o argamasa, es conveniente agregar aditivos que den elasticidad a los morteros de cal arena. Lo mismo se aplica en el caso de consolidaciones de estuco de aplanados o de azulejos, y para inyección de grietas o simplemente para pinturas, por ejemplo:

- Sika Látex de Sika de México.
- Durolatex y Acrilatex de DuroRock.
- Vinipas de Wacker.
- Mowilith de Hoetch.
- Diversos aditivos hechos a base de acetato de polivinilo.
- Adecon de Protexa.

Para dar rigidez y evitar que se fracturen y desprendan, es conveniente adicionarles un refuerzo, que puede ser metal desplegado o tela de gallinero, además de las fibras cortas de polipropileno del tipo *Fibermesh*, y las mallas de refuerzo hechas de diversos plásticos que tienen la ventaja de no ser susceptibles de oxidación (Prado, 2000, p. 83).

## DEFECTOS Y DEGRADACIÓN DE LOS APLANADOS EXTERIORES

Un aplanado exterior realizado con buenos materiales y bien dosificado, que sea aplicado a una base estructuralmente estable, puede presentar un comportamiento satisfactorio y durable; no obstante, continuamente los aplanados exteriores resultan muy degradados, dicha degradación depende de diversas condiciones, factores y tipo de acción (mecánica, térmica, higrométrica, físico-química), que se llevan a cabo de manera variada en todo su espesor, y que pueden ser claramente distintas de acuerdo con la ubicación del fenómeno. Desde este punto de vista, parece oportuno distinguir entre:

- Acciones que tienen origen en el soporte.
- Agresiones del ambiente exterior.
- Acciones entre las diversas capas del aplanado (Di Battista, 1989, p. 307).

Es bueno recordar que la acción hídrica es particularmente importante, ya que a menudo da origen a otras acciones agresivas: hielo, acciones salinas (sulfatos), acciones de naturaleza química y agresiones biológicas.

La degradación de un aplanado depende mucho de las condiciones y de los procedimientos de ejecución, y se presenta de la siguiente manera:

- Falta o carencia de adhesión al soporte (separación y transportación, formación de levantamientos y bolsas).
- Defectos de cohesión (fisuras, grietas y descarapelado).
- Corrosión superficial, alteración cromática (por estratos de polvo o depósitos de grasa, deslaves y ataques químicos), efectos de la luz solar (UV), alteraciones por eflorescencia salina, mohos y bacterias (Di Battista, 1989, p. 308).

## Tratamientos

Consolidaciones de superficie. Algunos de los consolidantes químicos son:

- *Endurol*. Recomendado específicamente para endurecer aplanados fabricado por Química Poldi.
- *Primal AC33*. Es un copolímero de acrilato y metacrilato que se usa mucho en consolidaciones superficiales por aspersion o brocha. Lo fabrica Rohm & Hass.
- *OH* y *OH100*. Mezcla de ésteres de ácidos silícicos fabricado por Wacker Chemical (Prado, 2000)

Consolidación por inyección. Para aplanados que tienen valor histórico u ornamental; se usan lechadas a base de caseína, blanco de España, acetato de polivinilo, agua destilada caliente, carbonato de amonio, todo esto mezclado con

un doble volumen de cal grasa apagada en obra. Para aquellos sin particular valor histórico-artístico se usa el acetato de polivinilo y los metacrilatos adicionados con una carga de cal cernida.

Protección. Se utilizan, al igual que para la piedra, los tratamientos hidrofugantes por aspersión o brocha, que evitan la entrada de agua a las capas más profundas del aplanado, es decir, el replellado base. Se recomiendan los silanos xiloxanos, fabricados principalmente por Wacker Mexicana, Bayer, Rhone-Poulenc y General Electric (Prado, 2000, p. 86).

## CONCLUSIONES

Ante el calentamiento global, consecuencia del deterioro ambiental causado en gran parte por la contaminación que provoca la fabricación de materiales de construcción, se revisan nuevamente algunos de estos materiales utilizados en el pasado. Si bien muchos están en desuso por no entrar en

la estrategia económica del capital, es necesario tenerlos en cuenta por sus cualidades térmicas y su mayor amabilidad con el medioambiente.

Tanto la cal como el yeso, utilizados como argamasas o como aplanados, en combinación con cemento e incluso con tierra, presentan grandes y variadas posibilidades de uso que conviene conocer, experimentar y afinar.

Por ejemplo, tenemos que la cantidad de gas de escape que se produce en las fábricas de cal y yeso es mucho menor que en las fábricas de cemento. Con relación a la contaminación por ruido, las fábricas de cemento ocasionan un impacto sonoro mucho mayor que las de cal y yeso. En la elección del emplazamiento de las fábricas de cemento, cal y yeso debe tenerse en cuenta el impacto ambiental que no se limita al área de la fábrica, sino también a grupos de población afectados, y sobre todo a mujeres y niños, que muchas veces deben tener atención médica.

## REFERENCIAS

- Barbaro, G. (2007, mayo). Segunda parte de la tesis publicada en 1997 en Venecia "La biónica del bambú". En *Revista Arquitectura del paisaje*, Barcelona: España. Disponible en: [info@green-box-design.com](mailto:info@green-box-design.com).
- Barcelo Pérez, C. (2008). *Transmisión de calor en los edificios*. Unidad 1. Conceptos básicos de la transmisión de calor. Cepis/OPS – Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Disponible en: [www.cepis.ops-oms.org/arquitectura/clase31/clase31.htm](http://www.cepis.ops-oms.org/arquitectura/clase31/clase31.htm)
- Barcelo Pérez, C. (2008). *Transmisión de calor en los edificios*. Unidad 2. Proceso de intercambio de calor de los edificios. Cepis/OPS – Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Disponible en: [www.cepis.ops-oms.org/arquitectura/clase32/clase32.htm](http://www.cepis.ops-oms.org/arquitectura/clase32/clase32.htm)
- Cedeño Valdiviezo, A. (2010). Materiales bioclimáticos. *Revista de Arquitectura*, 12, 100-110.
- Cotexa (2009). *Sistema estuco estanco*. Recuperado de: <http://www.cotexa.cl/pdf/E.T.%20Estucos%20Estancos%20-%20Mortero%20Plas.pdf> [Fecha de consulta: 11 de noviembre del 2010].
- Deffis, A. (1999). *Energía. Fuentes primarias utilización ecológica*. México: Árbol Editorial.
- Di Battista, V. (1989). *Leganti, malte e intonaci. En Gabriella Caterina (comp.). Tecnología del recupero edilizio*. Turín: UTET.
- Estrucplan (2009). *Impactos ambientales y actividades productivas*. Recuperado de <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=258> [Fecha de consulta: 18 de agosto del 2009]
- Evans, M. y De Schiller, S. (1991). *Diseño bioambiental y arquitectura solar*. Buenos Aires: Ediciones Previa, 9, FADU, Universidad de Buenos Aires.
- González Couret, D. (s. f.). *Desarrollo sustentable y medioambiente construido*. Unidad 2. Medioambiente construido. Cepis/OPS – Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Disponible en: [www.cepis.ops-oms.org/arquitectura/clase12/clase12.htm](http://www.cepis.ops-oms.org/arquitectura/clase12/clase12.htm)
- González Couret, D. (s. f.). *Desarrollo sustentable y medioambiente construido*. Unidad 6. Tecnologías de construcción. Cepis/OPS – Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Disponible en: [www.cepis.ops-oms.org/arquitectura/clase16/clase16.htm](http://www.cepis.ops-oms.org/arquitectura/clase16/clase16.htm)
- Gullí, R. (2002). *Il Recupero edilizio in ambito sísmico*. Monfalcone: Edicom Edizioni.
- Lahuerta Vargas, J. (1984). *Curso de Rehabilitación. 5. La Estructura*. Madrid: Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.
- McHenry, P. G. (1996). *Adobe. Cómo construir fácilmente*. México: Trillas.
- Meli, R. (1998). *Ingeniería estructural de los edificios históricos*. México: Fundación ICA.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (1999). *Guidelines for Community Noise*. London: World Health Organization (WHO). Disponible en: [http://www.ruidos.org/Referencias/Guia\\_OMS.html](http://www.ruidos.org/Referencias/Guia_OMS.html) [Fecha de consulta: 21 de julio del 2010].
- Pérez, A. (2011). Hidraulicidad. En Fical. Forum Ibérico sobre la cal Disponible en: <http://fical.org/normativa/48-hidraulicidad>
- Plazola Cisneros, A. y Plazola Anguiano, A. (1976). *Normas y costos de construcción*. México: Limusa.
- Prado Núñez, R. (2000). *Procedimientos de restauración y materiales*. México: Trillas.
- Sedue (1981). *Especificaciones generales de restauración*. México: Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.