

ENDURECIMIENTO Y PROTECCION ANTICORROSIVA DE LAS CONSTRUCCIONES Y ELEMENTOS DE LAS MISMAS EN QUE INTERVIENE EL CEMENTO

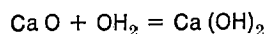
Por PABLO VERDU CERDA
Doctor Ingeniero Industrial

Al proyectar una construcción el técnico proyectista atiende primordialmente a su estructura funcional, a los fines que debe cumplir, al dimensionado en conjunto y en detalle de las estructuras con miras a la solidez y resistencia de las mismas, a la clase, condiciones y calidad de los distintos materiales que la integran; pero, en general, y sobre todo en lo que a las estructuras a base de cemento se refiere, no se precisan en los proyectos, como se debiera, las prescripciones a adoptar para la debida conservación de la obra y en lo que debe hacerse a fin de que su vida se prolongue, evitando su disgregación ante el embate que los múltiples efectos destructores de los agentes naturales y el desgaste del propio servicio que presta aceleren su destrucción.

No hay duda, sin embargo, de que esta cuestión es de la mayor importancia económica, si se tienen en cuenta los ingentes capitales que movilizan las obras modernas en cuanto representa el alargamiento de su vida a los efectos de su amortización y la mejora obtenida en su carácter funcional y aspecto artístico y estético, todo ello obtenido, en general, con sencillos y económicos tratamientos.

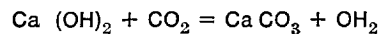
A estos fines me mueve el dedicar este estudio a mis colegas ingenieros y arquitectos, orientándolo en los aspectos que la Química ofrece y viene en ayuda del constructor para atenuar los efectos de la corrosión y del desgaste mecánico. Para su mayor eficacia y programación, entiendo sería altamente conveniente el debido apoyo por parte de las jefaturas técnicas de los diferentes Centros y Servicios de los Ministerios que intervienen en la construcción, para la promulgación de las disposiciones oficiales y prescripciones facultativas, conducentes a su puesta en práctica por los fabricantes de elementos y las empresas constructoras.

Sabido es que en la composición general del cemento interviene como elemento fundamental y en una proporción elevada la cal O Ca, generalmente de 60 a 65 por 100, que juntamente con la sílice, la alúmina y el óxido de hierro determinan su hidraulicidad. Esta elevada proporción de cal es, sin embargo, la principal causa de su vulnerabilidad, ya que así, como los demás elementos citados de su composición, son prácticamente insolubles y muy resistentes a la agresión; en cambio, la cal en contacto con el agua tiene un coeficiente de solubilidad bastante elevado (0,12 gr. por 100 gr. de agua), transformándose en hidrato de cal según la reacción:



El fraguado del cemento va acompañado siempre de una liberación importante de cal

cáustica, y es a consecuencia de ello que el cemento tiene una resistencia mecánica y dureza mediocre, ya que la cal se disgrega rápidamente por el frote, lo que conduce a un desgaste rápido, con formación permanente de polvo, no permitiendo una limpieza adecuada. Esta acción disgregante viene considerablemente aumentada por el hecho de que este hidrato de cal es además atacable por elementos ácidos que existen constantemente en la atmósfera (ácido carbónico, sulfuroso, etc.):



Las aguas subterráneas o superficiales que atraviesan terrenos que contienen sulfatos de cal y de magnesia, el agua de mar y las que proceden de fábricas, de minas, albañales, contienen, asimismo, elementos ácidos o salinos que atacan a los cementos. También las aguas pu-

ras de montaña o en embalses, presas, canales, vertederos y demás por su pureza son agresivas, ya que en ellas se disuelve mejor el $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ya que este compuesto es más soluble en agua fría que en agua caliente, y si el agua contiene CO_2 su agresividad viene aumentada, ya que el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y el CaCO_3 se disuelven en forma de bicarbonato de cal $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

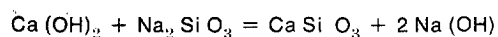
Los ácidos minerales y orgánicos (tánico, láctico, acético, etc.) y los alimentos o materias que los contienen, y asimismo los aceites vegetales y grasas animales de todas clases atacan, asimismo, al cemento.

La acción combinada del agua y de los elementos químicos que contiene y de la atmósfera que actúa constantemente sobre el mortero u hormigón por una parte, y por otra, el roce superficial del desgaste mecánico producido por los transportes y el uso van disgregando sucesivamente la masa, deteriorándola, ocasionando filtraciones y disminuyendo la vida de la obra y de su función y aspecto.

Por todo ello, se desprende la necesidad de que las superficies exteriores en mortero u hormigón sometidas a estos efectos disgregantes queden debidamente protegidas, y a este fin se utilizan de un modo general principalmente en el extranjero el silicato sódico y los fluosilicatos.

Silicato sódico.

Este compuesto, soluble en agua, fija el hidrato de cal formando un silicato de cal que tapa los poros:



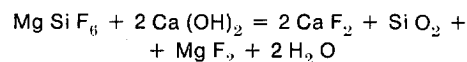
el silicato de sodio se aplica preparando la superficie a tratar a base de limpiarla cuidadosamente de polvo que impida la penetración, hallándose la superficie lo más seca posible. Se aplica generalmente en solución, conteniendo 40 por 100 de silicato, diluyéndola en cuatro volúmenes de agua para dar una primera impregnación. Otra parte de la solución se diluye en tres volúmenes para dar una segunda, y finalmente, otra parte se diluye en dos volúmenes para una tercera impregnación. Se hacen las aplicaciones hasta que cesen de absorber. Con 5 litros de disolución se trata, aproximadamente, un metro cuadrado. Cada capa se lava con agua después de pasadas veinticuatro horas, y se deja secar nuevamente antes de dar la capa

siguiente. El material sobrante de la última aplicación se saca con un lavado final.

Este es el tratamiento corriente aplicable a los silicatos solubles, si bien la superficie tratada no resiste un duro desgaste y da una menor duración en presencia de soluciones agresivas que los fluosilitos. Se emplea para el tratamiento interno de depósitos que han de contener líquidos, si bien la penetración en profundidad del silicato y consiguiente eficacia impermeabilizante y antiagresiva es relativamente pequeña.

Fluosilicatos.

Para distintos fines industriales se fabrican varias sales solubles, de las cuales la que tiene mayor aplicación para la construcción es el fluosilicato de magnesia. Las disoluciones de esta sal reaccionan con la cal hidratada del cemento en la forma siguiente:



Como se ve, la cal queda fijada en forma de fluoruro de cal y se precipita además sílice, productos ambos insolubles e inatacables, que tapan los poros impermeabilizando y formando un todo con la masa de hormigón en una profundidad mayor o menor, según el estado de sequedad, limpieza y calidad del mismo, pero que en todo caso forma como una coraza protectora de algunos milímetros de espesor como mínimo.

Por consiguiente, con el tratamiento mediante los fluosilicatos o fluatación, como también se denomina de las superficies de revoco u hormigón fraguadas y secas, se consigue:

Endurecer e impermeabilizar los pavimentos de cemento y los revocos de cal y cemento de todas clases y que las superficies tratadas estén libres del polvo que se produce por el desgaste mecánico, comunicando a las mismas una mayor duración y resistencia.

Hacer que las superficies tratadas sean impermeables e inatacables por las lejías y soluciones más o menos ácidas y alcalinas que se contienen en las aguas de todas clases y en la atmósfera, con las que están en contacto constante. Sumamente peligrosos para la parte calcárea del hormigón y las piedras calcáreas naturales empleadas en la construcción son el áci-

do sulfuroso contenido en los humos, los sulfatos de calcio y de aluminio que se forman en contacto con las aguas selenitosas y el agua de mar que hacen el hormigón frágil y lo descomponen. Los mohos y la vegetación mural pueden ser ocasionados por estas aguas agresivas. Mediante el tratamiento con los fluosilicatos se protegen debidamente las paredes, fachadas, monumentos, etc. contra esta descomposición, se evitan las eflorescencias y los daños causados por las heladas al introducirse el agua en las grietas producidas. Es por consiguiente conveniente la fluatación para aumentar la duración y estabilidad de las obras hidráulicas en sus varios aspectos.

Aumentar la vida de las construcciones tratadas en general y en particular en toda clase de tubos y placas de hormigón para desagües y pavimentación, en pistas, andenes, garajes, locales industriales en general, muelles, almacenes, hangares, aeródromos, sótanos, depósitos, cunetas, canales, vertederos y un sin fin de aplicaciones extensas y variadas derivadas de su acción, como queda dicho.

La conservación y restauración de piedras naturales y artificiales y de los monumentos artísticos, ya que todas poseen una cierta porosidad que favorece la agresión atmosférica y la de gases y líquidos corrosivos que las destruye de no estar protegidas mediante estos tratamientos. Asimismo toda cerámica para pavimentos, sean mosaico, terrazo, granito, etc., adquieren mayor dureza y resistencia, duran, por consiguiente, más, y al tapar sus poros permiten adquirir un brillo permanente y vivo.

La moderna arquitectura y adorno de fachadas mediante revoques de color y asimismo los revoques de cal y de cemento que han de recibir pintura de color, permite mediante una preparación con empleo del fluosilicato, que al dar la pintura, ésta adquiera un brillo permanente y vivo o bien que al darlo mezclado con el revoque de color conserve el matiz vivo, porque queda neutralizada la acción alcalina de la cal del cemento en virtud de la reacción indicada, evitando que dicho matiz derive a un tono descolorido y apagado. Evita además que la cal libre saponifique los aceites de la pintura empleada y al quedar los poros taponados por impermeabilidad se logra un ahorro de pintura.

Aplicación de los fluosilicatos.

Como se ha indicado, el fluosilicato de magnesio para la construcción es el más generalizado. Sin embargo, se emplea en el extranjero a veces una mezcla de cuatro partes de esta sal con una parte de fluosilicato de cinc, que, como tiene esta sal una acción fuertemente fungicida, sirve para combatir el enmohecimiento de paredes en talleres y sótanos.

También se utiliza el fluosilicato de aluminio con gran ventaja para la tercera mano después de haber dado las dos manos previas con el de magnesio cuando se necesita pulimentar las superficies tratadas. Finalmente existe también el fluosilicato de plomo, el cual, dentro de la acción general indicada a los fluosilicatos solubles citados, tiene aplicación especial y se emplea en parte, como ya se ha dicho para el de aluminio, como protección contra la agresión de ácidos orgánicos y de aguas carbonatadas.

El fluosilicato de magnesio que se facilita en estado sólido cristalizado se prepara una solución concentrada disolviendo una parte en peso de la sal en tres partes de agua fría o ligeramente templada si se quiere acelerar la disolución, no pasando los 40° C, removiendo con un palo o agitador en un recipiente de plástico, de madera o de gres, no de hierro, porque la disolución de la sal lo ataca y colora el líquido.

El tratamiento consiste simplemente en hacer un cierto número de aplicaciones de la disolución de la sal preparada como queda dicho a diferentes concentraciones.

Previamente, la superficie a tratar ha de estar enlucida, seca y limpia de polvo, ya que éste impide que la solución de fluosilicato se infiltre a la profundidad posible. Si aquéllas presentan grietas o grandes poros es necesario enlucirlas y cuando son de piedra natural se puede preparar una pasta utilizando polvo de la misma piedra para tapar las fisuras o poros antes de aplicar la solución de fluosilicato.

Con parte de la disolución concentrada que se ha preparado, se van preparando las más diluidas, que sirven para las primeras aplicaciones, y, como norma general, no deben nunca mezclarse los restos de disoluciones usadas y turbias con las soluciones de fluosilicato frescas sin antes haber eliminado por decantación o filtración los enturbiamientos.

Las aplicaciones se hacen en número de tres generalmente, en intervalos de veinticuatro horas como mínimo entre una y otra, debiendo procurar que cuando se da una de ellas la superficie se halle seca de la anterior. Para dar la primera se diluye una parte de la solución concentrada en dos partes de agua. Para la segunda se prepara diluyendo otra parte de la solución concentrada con otra igual de agua y, finalmente, para la tercera aplicación se da con la solución concentrada directa. En ningún caso deben mezclarse los fluatos con la mezcla de mortero u hormigón al hacer la obra.

Las aplicaciones se dan por aspersión, con regaderas de caucho, plástico, etc., o bien con pulverizadores o con brochas, cuidando de que éstas no estén atadas con alambre ni los pulverizadores o regaderas sean metálicos, porque son atacados por el baño. Después de usados se lavan los útiles o recipientes simplemente con agua. Si se emplearan soluciones turbias podrían marcar brochadas en las superficies, lo que no es conveniente, sobre todo en fachadas que luego se han de pintar.

En superficies horizontales lo más práctico es verter o esparcir regando, sin frotar, la solución por la superficie, repartiéndola por igual. Hay que añadir solución mientras absorba, hasta que el líquido brille sobre la superficie tratada y entonces antes de que se seque por evaporación es conveniente quitar con una esponja o material absorbente el líquido que no haya sido absorbido pasado un minuto. Sobre superficies verticales debe aplicarse mediante pulverización o con brochas, empezando por arriba. En fachadas de color, después de cada aplicación y siempre antes de que se seque es preciso sacar el exceso de líquido mediante un lavado con agua.

Las superficies de cemento a tratar deben estar lisas, es decir, sin presentar fisuras o grandes poros. En este caso es conveniente enlucirlas y dejar secar antes del tratamiento, y en el caso de ser de piedra natural se puede enlucir haciendo una pasta con polvo de la misma piedra para tapar aquéllos antes de aplicar la solución de fluosilicato.

Hay que evitar que la solución se ponga en contacto prolongado con vidrios, rejas, verjas, etcétera, y, en todo caso, lávense las manchas en seguida.

Se ha de recomendar a los obreros no toquen las soluciones con heridas en las manos, ni frotarse los ojos con las manos mojadas o sucias de solución. Estas sales, como la mayoría de productos químicos, producen efectos tóxicos si se administran por vía interna. Exteriormente no producen ningún otro efecto que los indicados y sólo se tiene que recomendar el uso de guantes y zapatos de goma cuando se tiene que manipular seguidamente con estas soluciones.

El consumo de sal total en las tres impregnaciones varía según sea el estado de sequedad de la obra, la composición del hormigón y la clase de cemento empleado; en principio, y como cifra aproximada, puede ser de unos 200 gramos por metro cuadrado de superficie tratada y su aplicación sumamente económica y rápida, dando a las superficies de hormigón, de mortero o cemento una dureza elevada y gran resistencia a la corrosión por los agentes atmosféricos, gases, humos, soluciones corrosivas de toda clase, agua de mar, aguas residuales, de forma que al penetrar la solución en la masa de la obra quedan tapados los poros de la superficie, ejerciendo una acción impermeabilizante y aumentando extraordinariamente la resistencia mecánica al desgaste y a la agresividad química confirmada por numerosas experiencias.

El tratamiento completo a base de las tres impregnaciones indicadas, empezando por la más diluida, permite penetrar más en el espesor de la obra, que estando bien seca puede llegar hasta un centímetro. Si por razones de rapidez o economía se reducen el número de impregnaciones o se da solamente una con la solución concentrada directa, la penetración es menor.

Aplicaciones complementarias de protección en los pavimentos.

En los pavimentos de locales industriales y solados en general de cemento continuos, además de los tratamientos anteriormente indicados para su protección contra el desgaste mecánico, sea para mejorar su presentación y efecto estético de acabado, sea para completar su

impermeabilidad, se complementan dando posteriormente hasta tres capas de soluciones de lacas o de resinas sintéticas.

Entre las más económicas se utiliza el clorocaucho de bajo peso molecular disuelto en un disolvente aromático y convenientemente plastificado para aumentar las propiedades adhesivas de la capa una vez seca. Se dan generalmente tres capas con un consumo de un litro por cada 12 metros cuadrados y capa, dejando un período de secado de tres a cinco horas por capa como mínimo. Si se ha hecho anteriormente el tratamiento con fluosilicatos son entonces suficientes dos capas de laca al clorocaucho de gran penetración. Esta protección de pavimentos de fábricas es altamente resistente para el ataque de álcalis fuertes y de ácidos oxácidos hasta un 5 por 100 de concentración, pero no lo es para diluyentes aromáticos, aceites y ácidos grasos. Para severas condiciones corrosivas es entonces preferible dar una primera capa de laca al clorocaucho y sucesivamente dos capas de soluciones de resinas sintéticas, como el neopreno o el polietileno clorosulfónico (Hipalon) mezclado con un agente vulcanizador.

Para evitar superficies de piso resbaladizas puede mezclarse a estas capas carga abrasiva en la proporción aproximada de un kilogramo por cada cuatro litros de solución, pudiendo utilizarse harina de sílice, de alúmina, de carbóndum, etc. También se puede repartir esta carga dándola entre dos capas a fin de que no haga tan rugosa la superficie externa. La laca al clorocaucho puede pigmentarse asimismo para dar un efecto más estético.

Entre las resinas sintéticas con las que se protegen pavimentos y otros muchos elementos constructivos de edificios se encuentran las epoxi "Epikote" (Shell), Araldit (Ciba), de poliuretano, de cloruro y acetato de polivinilo, de cloruro de polivilideno, de compuestos acrílicos y siliconas y otras muchas. Constituyen un elemento decorativo y una protección superficial al desgaste y antiagresiva en determinadas condiciones. Si se fluata la superficie debe efectuarse esta operación sobre la obra antes de dar las capas de materias plásticas.

Las resinas Epikote y otras se curan y endurecen mezclándolas en debidas condiciones con agentes catalizadores a base de aminas y poliamidas. Asimismo dichas resinas se esterifican con ácidos grasos de ricino deshidratado, con aceite de soja, de coco destilados y de otros formando resinas poliéster (Oxirales) que tienen buenas propiedades, formándose pinturas (Polylite) de brillo directo mediante las adiciones convenientes de diluyentes, pigmentos, cargas, y la mezcla en el momento oportuno de endurecedores y catalizadores.

En general, las resinas Epikote sin endurecedor no pueden emplearse para acabados que deben secar al aire y dan recubrimientos de excelente adhesión, resistencia a la agresividad química y flexibilidad. Las esterificadas (poliéster) son más económicas y se endurecen más rápidamente, pero tienen menor resistencia química.

El espesor de los recubrimientos es función del papel que tiene que jugar el mismo. En general con espesores del orden de 120 μ en varias capas es suficiente para intemperies y atmósferas industriales con bastante carga o concentración de elementos corrosivos y, sobre todo, con resistencia al agua.

Los endurecedores para las resinas suelen ser aminas y poliamidas; para las resinas de furano se utiliza el paratolueno mezclado con ácido sulfónico; para las de poliéster (Polylite), el peróxido de metil-etil-ketona o peróxido de benzoilo, y para los compuestos de poliuretano el endurecedor consiste en una mezcla de bi y tri isocianatos. Las demás resinas endurecen por evaporación de los diluyentes, sin agente auxiliar catalizador.

La aplicación de las composiciones a base de resinas se aplican a base de brochas, rodillos o a pistola. Para que tengan buena adhesión han de darse sobre superficies limpias y secas.

Existen asimismo como protección las llamadas pinturas asfálticas. Conocidas son las múltiples aplicaciones que el asfalto tiene en la construcción como impermeabilizante de su-

perficie y también se fabrican con ellos pinturas protectoras tomando para ellas asfaltos de punto de fusión elevado. Se mezcla entonces con resinas Epikote esterificadas con aceite de ricino deshidratado; por partes iguales (Oxirales). Para pinturas protectoras de mejor calidad es preferible utilizar alquitrán en lugar de asfalto. Para ello se utilizan alquitranes con la mayor proporción posible de fenoles (alquitrán regenerado), pues éstos son catalizantes del endurecimiento de los ésteres y de las resinas Epikote. Las proporciones a utilizar son muy variadas y cada uno debe realizarlas según el imperativo económico. No obstante, como regla general, se añade el alquitrán agitando sobre un 40 a un 50 por 100 de disolución preparada del éster.

Bibliografía

"Über die Einwirkung von Silicofluoriden auf Zement und Beton-Zeitschrift für angew". *Chemie*, 42, 1.133, 1929.

Enciclopedia de Química Industrial. Sección 2.^a Director, Prof. Fritz Ullmann, 1931.

W. H. Taylor: *Concrete Technology and Practice*. New York, 1965.

Corrosion Resistant Floors. Department of Scientific and Industrial Research H. M. S. O. London.

Granolithic Concrete, Concrete Tiles and Terrazzo Flooring. Building Research Station Digest, 47 (sec. series). London.

Prof. Imre Biczók: *Concrete Corrosion and Concrete Protection*. Budapest, 1964.

Harper, F. C., and Stone, P. A.: *Floorfinishes for Factories*. London, 1959.