

SOBRE LA ELECCIÓN DE CEMENTO

POR EDUARDO J. DE CASTRO. ING. DE CAM.

I. GENERALIDADES SOBRE LA COMPOSICIÓN DE LOS CEMENTOS Y CALES Y SU FRAGUADO.

Cal grasa, cales hidráulicas, Portland, Zumaya, supercemento, cemento de escorias, puzolánicos, y algunos más que se podrían citar, forman la gran familia de los conglomerantes hidráulicos. Todos ellos tienen el mismo origen. Todos ellos provienen de mezclas íntimas de caliza y arcilla, que se calcinan y se pulverizan. La caliza, en el horno, desprende su ácido carbónico y se reduce a cal. La arcilla, al calcinarse, no cambia químicamente, pero adquiere la propiedad de formar con la cal cuerpos que se endurecen debajo del agua. Cal y puzolana son los extremos de la serie; y entre ellas están todos los cuerpos que, en el agua, adquieren la dureza y la tenacidad de la roca. La mezcla íntima la hizo la naturaleza en pasadas épocas, cuando la marga se formó; o la hace la mano del hombre cuando, al comienzo de la fabricación, divide y mezcla las primeras materias que han de formar el cemento. Es esencial que la mezcla sea íntima para que los cuerpos se combinen: dos cuerpos sólidos, puestos uno al lado del otro, no reaccionan, y antes se creía que era necesario disolverlos para que las actividades químicas se manifestasen; no hace falta tanto: basta con que en estado pulverulento estén muy mezclados. El polvo fino es un estado intermedio entre el sólido y el líquido, que al líquido se parece.

En el horno se forman los cuerpos que, unidos y mezclados, constituyen el cemento. El cemento no es un cuerpo químico que podamos representar con una fórmula, sino una mezcla de diversos componentes. Según sea más o menos alta la temperatura, estos componentes son distintos. El "clinker" que sale del horno se somete a un molido enérgico, que lo convierte en polvo fino. Mientras más se le muele más se exalta su actividad, que queda en estado latente hasta que, al estar en contacto con el agua, se producen cristalizaciones y coagulaciones coloidales, que son la causa del fraguado y del endurecimiento.

Lo que ocurre cuando el cemento fragua no es cosa bien sabida. Algo hay en el cemento que no se altera con el agua, algo hay que la absorbe y se hidrata; y

mucho hay que se descompone y forma nuevos cuerpos, como le ocurre al silicato tricálcico, que pasa a ser otro silicato menos básico, y como pasa con los aluminatos, que se convierten en otros con más cantidad de cal. Según unos, los nuevos cuerpos cristalizan, y los cristales, que son laminillas o agujas, se entrelazan y se sueldan, formando así la masa consistente del cemento fraguado. Para otros, no hay tales cristalizaciones, y si las hay no constituyen el fenómeno esencial, sino uno secundario; el cemento en el agua cuaja o se coagula, como la clara de huevo o la cola; en el hidrosol formado por el agua llena de partículas de cemento, se precipita un gel que lentamente se endurece. Hay otros, por último, que, tras de minuciosos estudios microscópicos, ahondan más en el fenómeno del fraguado, y nos explican que los aluminatos se hidratan y se separan; que los silicatos ceden parte de su cal a la masa flúida y que el resto, sin separarse del grano de cemento, forma un hidrosilicato bajo en cal, que, en forma de masa geloide, envuelve al grano; y que los ferritos no toman parte en la hidratación. Quede para el laboratorio el decir, acerca de esto, las últimas palabras y el aclarar también el obscuro proceso del endurecimiento, durante el cual hay un desprendimiento de calor, pequeñísimo, pero constante, que nos dice que durante unos meses se están verificando reacciones en el interior de la masa.

Según se va aumentando la cantidad de arcilla de la mezcla primitiva, se va acortando el tiempo que hace falta para el endurecimiento. Del mortero de cal grasa decía Vicat que a los cien años era aún un niño; un Zumaya, recién fabricado, fragua en un minuto; se va desde un siglo a un minuto pasando por fraguados que tardan en llegar meses, días, o solamente horas. Mirándolo por este lado, se ve que es numerosa la serie de los cuerpos hidráulicos. Pero no es ese sólo el único punto de vista, ni hay que creer que se forma una serie en el verdadero sentido de esta palabra, aunque es regla general que a mayor cantidad de arcilla corresponda un tiempo menor para el fraguado. Hay entre los conglomerantes diferencias muy hondas. La primera que salta a la vista es la que separa a las cales de los cementos; las cales se apagan en el agua; la cal an-

hidra que se forma en el horno al desprenderse el ácido carbónico de la caliza se hidrata, y queda así preparada para tomar parte en las lentas combinaciones del endurecimiento. Con el cemento ocurre cosa muy distinta: en el agua no se apaga; fragua y se endurece. La diferencia es esencial.

No es esto sólo; al variar de un modo continuo las proporciones de las primeras materias, no se tiene una variación también continua de las cualidades de los productos obtenidos. La naturaleza da saltos, y la continuidad se rompe tanto en el grupo de las cales como en el de los cementos. Hay una proporción de arcilla, intermedia entre la de la mezcla que da cales grasas y la que es origen de las hidráulicas, con la cual no hay apagamiento posible, y el producto no sirve para la fabricación de morteros: es el grupo de las llamadas cales áridas. Hay otra proporción de arcilla con la que se obtienen las que Vicat llamó cales límites, que no se apagan ni fraguan, que no son cales ni cementos, aunque están rozando a unos y a otros; y lo interesante es que casi con las mismas proporciones con las que a baja temperatura se obtienen esas cales límites, producto híbrido impropio para la construcción, se obtienen los cementos de Portland con una temperatura más alta, es decir, que casi con las mismas primeras materias se obtiene el Portland, cuyas cualidades admiramos, o se obtiene un material inútil para construir.

Dentro del grupo de los cementos hay diferencias profundas. Si al aumentar la arcilla es la sílice la que principalmente aumenta, se tienen cementos de gran dureza final, a costa de moderadas resistencias iniciales; y si es la alúmina la que domina, ocurre lo contrario: se consiguen elevadas resistencias iniciales y el cemento tiende a convertirse en cemento rápido.

En puesto aparte están los supercementos, que se obtienen unas veces con adiciones más o menos misteriosas y siempre con un minucioso estudio de la cantidad de cada componente de la mezcla. Con ese estudio, con aumentar la sílice o la cal, o ambas a la vez, después de prolijas comprobaciones, con una cocción muy perfecta y tras de un molido llevado hasta el último límite, se obtienen los cementos de altísimas resistencias que se hallan hoy en la cúspide de la fabricación. El molido fino es esencial; cuanto más se muele, más vivo está el cemento, y por ese camino se han encontrado cada vez conglomerantes más activos, hasta que ha sido necesario hacer un alto en el camino de las grandes finuras, que conduce a cementos demasiados rápidos y que se conservan muy mal además.

Hasta aquí se da por sentado que la arcilla se añade a la caliza; es decir, que la mezcla, lo mismo la que se hizo en las entrañas de la tierra que la que el hombre lleva a cabo, se efectúa antes de que las primeras ma-

terias pasen por el horno. Pero también hay otras veces en que, además de esta mezcla primitiva, hay otra mezcla después de la cocción. Así se hace con los cementos puzolánicos.

Sabemos cuál es el fundamento de estos conglomerantes. Las últimas investigaciones confirman la opinión de Le Chatellier sobre el silicato tricálcico del cemento, que, en presencia del agua, deja libre cal. No tomemos partido en la discusión y quedémonos sin saber si esa cal es o no la causa de que el cemento se descomponga; no afirmemos tampoco con seguridad si la puzolana es un cuerpo rico en sílice que se combina con la cal o no es más que un cuerpo rico en coloides que se cuajan entre las partículas del cemento; pero es un hecho, que una experiencia milenaria confirma, que la puzolana y la cal forman un compuesto hidráulico, y, por lo tanto, que la puzolana, añadida al Portland, convertirá a la cal en elemento activo del fraguado y del endurecimiento.

Al mirar en conjunto todos los conglomerantes, vemos que las diferencias tan grandes que hay entre unos y otros son consecuencia de variaciones insignificantes en las proporciones de la mezcla primitiva. Con pequeñas diferencias en las proporciones de los componentes que no pasan del 6 o el 8 por 100, se obtienen cales hidráulicas que se apagan o cementos que fraguan, y que pueden ser rápidos o lentos, o supercementos.

La larga serie, o, mejor dicho, el numeroso grupo comprendido entre la cal y la puzolana, se reduce mucho en la realidad. Y aun se reduce más, porque el grupo de las cales tiende a desaparecer. Hace años la cal era mucho más barata que el Portland. Hoy no. Echemos la cuenta de todo lo que se gasta en el lento apagado de la cal y de todo lo que se pierde con lo que no llegó a cocerse y es preciso tirar, y lo que el viento se lleva, y lo que los aguaceros arrastran, y se verá que es ilusoria hoy la baratura de otros tiempos, cuando los precios eran, sobre todo el de la mano de obra, mucho menores que los de hoy. Y a esto hay que añadir los espesores que con el mortero de cal se necesitan y los que bastan con el mortero de cemento. La cal común, que era antes más barata, perdió esa ventaja, y por eso se la emplea cada vez menos; hasta en la obra modesta y en la aldea remota, donde antes sólo se conocía la cal, se emplea hoy el cemento como cosa corriente.

2. ELECCIÓN DE CONGLOMERANTE.

Vamos ahora a exponer unas cuantas consideraciones sobre la elección de conglomerante.

Hubo un tiempo en que cales y cementos se reparieron la construcción. Para las obras de importancia,

puentes y grandes edificios y, en general, para lo que está sometido a flexión, se acudía siempre al cemento. En las obras modestas, en los muros de poca altura y en lo que trabaja a la compresión, se echaba mano de la cal. Ella dominaba en las obras de poca importancia, en las que con cualquier resistencia nos dábamos por contentos. Se la empleaba entonces sin titubear porque era más barata. Pero ya hemos dicho que esto ha cambiado y que la cal se tiende a abandonar como cosa que no sirve para la moderna construcción.

Dentro del cemento, ha sido regla general la de nuestra predilección por las grandes resistencias, aunque no hagan falta. En ellas ciframos la bondad, y, en caso de duda, nos inclinamos entre la tenacidad, como signo indudable de que el cemento es bueno. Este afán exagerado por las grandes resistencias ha llevado a los fabricantes a hacer cementos cada vez más resistentes; y no contentos con lo que podía dar de sí un buen Portland, han hecho los supercementos, que descuellan por sus excepcionales cualidades.

Aunque es regla general la de nuestra preocupación por las grandes resistencias, es a veces la baratura la que influye en nuestra elección, y se emplean cementos de baja calidad o se les mezcla con cal grasa, con el propósito de que cuesten lo menos posible. Otras veces se busca la inalterabilidad; otras es la compacidad la que nos importa conseguir. Para que el cemento se ajuste lo mejor posible a las exigencias de la obra o sea dócil a lo que pide nuestro deseo, se hacen mezclas que no obedecen a ningún principio ni de la química del cemento ni de la construcción. Como si no hubiera bastante con la diversidad de conglomerantes que hay, parece que hace falta inventar algo nuevo.

Cuanto a la resistencia, puede ser mucha o poca la que se necesite. En el primer caso, hay bastantes cementos de dureza extraordinaria donde elegir; se pueden conseguir más aún forzando la cantidad del conglomerante, para corregir defectos de amasado, o se puede acudir a los supercementos. Y antes de que todo eso se acabe y de que no haya cemento del que echar mano, un buen estudio del árido, del volumen de sus huecos, de la resistencia y porosidad de sus granos y de la cantidad más conveniente de agua del amasado, nos dará un aumento grande en la carga que el hormigón puede resistir. Hay que insistir en esto: en el hecho de que, sin necesidad, se acude a veces a soluciones extraordinarias, cuando el cemento corriente bastaría, siempre que se hubiera hecho un buen hormigón bien apisonado en vez de pretender que la tenacidad del cemento sea tan alta que nos redima de la falta que cometemos al descuidar el árido. Si cuidamos de él, veremos cómo se ensancha el campo de las aplicaciones del hormigón corriente y vulgar, y ni pediremos al cemento

lo que no debemos pedirle ni le achacaremos la culpa del mal resultado de las obras que se han hecho con un mal hormigón. Este estudio del árido es casi siempre más importante que el del mismo cemento, y es siempre más difícil.

En otro caso, cuando la gran resistencia no hace falta y se quiere una mezcla barata a cambio de una prudente tolerancia en la tenacidad, el medio para conseguirlo es sencillo: aumentar el árido; no hay razón para acudir a cementos de menos resistencia y más baratos ni para mezclar el cemento con la cal. Es más lógico, más seguro y menos expuesto a inesperados fracasos el aumentar la arena; así podremos reducir el precio, claro es que a costa de la resistencia, y podremos llegar hasta donde tengamos por conveniente sin más que tener un cuidado: si reducimos demasiado la cantidad de cemento, podrá ser aceptable la prueba de resistencia en la máquina de ensayos del laboratorio, pero el mortero no será compacto; será poroso y permeable, con los inconvenientes que esto lleva tras de sí.

Otras veces necesitamos la inalterabilidad a todo trance, como en las obras en aguas selenitosas o cargadas de ácidos. En las obras de mar, la resistencia pasa a ocupar un puesto secundario, y lo esencial es la estabilidad química. En los bloques de una escollera, que trabajan por su peso, poco importa la resistencia del mortero; un muro de 25 metros de altura, que corresponde al dique de abrigo de un gran puerto, transmite al hormigón del cimientó una carga moderada que no pasa de tres o cuatro kilogramos por centímetro cuadrado. No hay para qué emplear un cemento de grandes resistencias para cargas tan modestas. Es otra cosa lo que hace falta: es el cemento marino que no sirva para aguantar grandes empujes, pero que valga para resistir al tiempo y al mar. No son los cementos tenaces los que en ese caso convienen, ni menos los supercementos; es en lo cementos puzolánicos donde hallaremos la solución. A la palabra puzolánico doy la más amplia acepción; en ella incluyo a los cementos que provienen de mezclas muy ricas en arcilla, a los fabricados con escoria y a los puzolánicos propiamente dichos, en los que un cemento bueno—que por bueno que sea, y a veces por lo mismo que es bueno, desprende cal al fraguar—se mezcla con un cuerpo rico en sílice activa o en coloides, que se unan con esa cal recién desprendida y la conviertan en un compuesto hidráulico.

3. MEZCLAS DE CEMENTOS DE DIFERENTE CLASE.

Las mezclas de cementos hechas en las obras deben, en general, mirarse con prevención, y más aún cuando no tenemos laboratorio que nos guíe, ni podemos hacer mezclas íntimas, con lo que perdemos una condición esencial para las reacciones del fraguado. Estas reac-

ciones necesitan que los cuerpos, sumamente divididos, se mezclen muy íntimamente; el ideal será poner en contacto moléculas con moléculas, y no montones o terrones.

Hay casos de una total incompatibilidad entre dos conglomerantes, como ocurre con el cemento fundido, que no puede mezclarse ni con el Portland ni con la cal; una cantidad insignificante de cal lo convierte en cemento rapidísimo o lo descompone por completo.

Entre las muchas mezclas que se hacen, hay una muy extendida: la de Portland y Zumaya. Se deduce con una apariencia de lógica indudable. Confiamos en la tenacidad del Portland, pero desconfiamos de que resista a las sales del mar; mientras que con el Zumaya nos ocurre lo contrario. Por eso se les une: para tener un producto que herede las buenas cualidades de sus progenitores y sea tenaz e inalterable. Pero hay que temer que, por la misma ley de herencia, resulte débil y atacable por el agua del mar. El Zumaya es una especie de cemento puzolánico, porque proviene de una marga rica en arcilla que, cuando se cuece moderadamente, se convierte en una puzolana. Este sobrante de arcilla cocida o de puzolana o de sílice y alúmina, prontas a combinarse con la cal, es el que ha de neutralizar la cal que el Portland deje libre. Pero el sobrante de puzolana del Zumaya es muy pequeño y variable de unos cementos a otros, y el sobrante de cal del Portland es muy grande y también variable; luego, para que no falte puzolana, es necesario que el Portland entre en pequeña cantidad. Es decir, que la estructura resistente tendrá que darla el Zumaya, y para el Portland no queda otro papel que el de un retardador del fraguado. Si se hace lo contrario, quedará cal sin neutralizar, y quedarán los granos fraguados del Zumaya envueltos en la masa del Portland, haciendo el efecto de un aumento de la cantidad de arena.

Hay que huir de las mezclas de cementos. Cuando todavía no se ha llegado a desentrañar lo que pasa en el cemento cuando se endurece, y vemos lo que el cemento cambia con un poco de yeso, o el fundido con un poco de cal, no debemos atravesarnos a juntar cosas desconocidas: que es muy fácil no poder llegar al fin cuando no conocemos el camino.

4. IMPERMEABILIDAD Y PROTECCIÓN DE LAS SUPERFICIES EXTERNAS.

Cuando se teme la descomposición, la compacidad es muy esencial. También se pide la compacidad para muchas obras de embalse. Se la consigue, con un buen estudio del árido, o aumentando la cantidad de cemento,

o añadiéndole una puzolana, como en muchas obras modernas de grandes presas. Se tiene entonces un mortero más untuoso y plástico.

Impermeabilidad, exceso de cemento, compacidad, puzolanas, son esenciales cuando se teme el ataque químico del agua. El ataque se ejerce en la superficie. Mientras menos poroso sea, más tiempo tardará en presentarse el daño, y daremos más tiempo a las lentas reacciones que defienden al hormigón. El está sujeto a dos procesos: el de destrucción por la acción del sulfato de cal o de magnesia, o por la del agua pura; y el de defensa, por la acción del ácido carbónico que carbonata la cal, o por la vegetación que lo recubre y lo protege, o por la acción disolvente del agua cuando arrastra la cal, pero deja una masa que, aunque esponjosa, sea inatacable, o porque se verifican las lentas reacciones del endurecimiento, con las que se forman cuerpos estables en el agua.

Aquel de los dos procesos que vaya más de prisa decidirá el resultado. Por eso hay que tender a retrasar el proceso de destrucción y a acelerar el de la defensa; y de ahí el por qué de las pinturas y enlucidos y revestimientos, cuyo éxito definitivo depende del éxito provisional de dificultar el ataque y ponerle obstáculos para que vaya lentamente. Alquitranados, y pinturas, y azulejos, y chapas de vidrio, y pulverizaciones metálicas que se proyectan con violencia y se adhieren a las paredes, son otros tantos medios de dar tiempo al proceso de defensa, a la formación de cuerpos estables o a la carbonatación, que al cabo del tiempo vuelve a reconstruir la roca primitiva.

En un macizo de hormigón mal hecho y muy permeable, el agua entra y sale con facilidad. El subir y bajar de la marea, por ejemplo, es causa bastante para que el macizo se llene de agua y se vacíe. Pero cosa muy distinta ocurre en el hormigón compacto, cuyos huecos sólo con el microscopio se llegan a ver. Si aplicamos la ley de Poiseuille y medimos la velocidad del agua en esos conductos microscópicos, nos encontraremos con una lentitud tan grande, que podremos afirmar, sin miedo a equivocarnos, que el agua no puede entrar ni salir; para unidad de tiempo hay que tomar el año, y para medir las longitudes, el centímetro, cuando no el milímetro. Este es el secreto del éxito de la impermeabilidad.

Todo esto es bien elemental y sencillo. Hay muchos que se lo saben de corrido. Que ellos, si me han leído, perdonen esta vulgarización del arte de manejar el cemento, que tanta trascendencia tiene en la moderna construcción.