

REVISTA EXTRANJERA

Teoría del endurecimiento de los cementos hidráulicos,
por el Dr. W. Michaelis (1).

Hace más de 2.000 años que se emplean en la composición de los morteros hidráulicos los cementos de base de cal y las puzolanas, y sin embargo, no se ha conseguido hasta ahora explicar definitivamente los fenómenos que se realizan en su formación; lo cual es tanto más extraño, cuanto que en la constitución de estos morteros sólo desempeñan un papel principal dos sustancias, que son la sílice y la cal. Todos los demás elementos constituyentes de los morteros hidráulicos, la alúmina, el óxido de hierro, el de manganeso, la magnesia, los álcalis, el ácido sulfúrico y el ácido carbónico, aunque tienen participación en los fenómenos de endurecimiento, no son sino constituyentes accesorios, y tomados separadamente, son incapaces de formar con la cal morteros hidráulicos.

Algunos consideran los fenómenos de endurecimiento como un proceso de cristalización que se verifica con arreglo á combinaciones químicas definidas; otros admiten un proceso casi exclusivamente físico, sin formación de cristales, y aceptan la existencia de un compuesto indefinido, cuya composición varía entre límites muy extensos.

A falta de una prueba completa en favor del proceso puramente químico, y en vista del fracaso de todas las tentativas llevadas á cabo para obtener por vía seca el hidrosilicato de calcio cristalizado, me incliné desde hace tiempo á la opinión de que los fenómenos del endurecimiento de los cementos hidráulicos calizos constituyen principalmente un proceso físico que se limita á atracciones superficiales, semejante al de la tintura ó del curtido, como lo imaginó por vez primera, según mis noticias, Cherreal.

Es sabido que solamente algunas modificaciones de la sílice poseen la propiedad de endurecerse al contacto del agua, mezcladas con cal. La sílice hidráulica es generalmente amorfa.

Para formarse idea del proceso del endurecimiento de las sustancias hidráulicas, debe estudiarse en primer lugar la influencia del hidrato de calcio sobre la forma más pura de la puzolana, es decir, sobre la misma sílice hidráulica, y luego sobre la alúmina y el óxido de hierro, las tres sustancias que han sido denominadas en general «factores hidráulicos».

Si se mezcla á la temperatura ordinaria el hidrato de silicio seco (ácido hidrosilícico), que contiene próximamente media molécula de agua, con pasta de cal, se observa que la masa fragua y se endurece en pocos minutos; si se mezcla con pasta de cal una sílice hidráulica más coherente, por ejemplo, sílice precipitada de una combinación por medio de un ácido y calcinada enérgicamente, como la que se obtiene en el análisis de los silicatos (tridimita), la masa fragua y se endurece gradualmente en un período de tiempo mayor, pero siempre en menos de 24 horas.

Las puzolanas naturales—ópalo, tras, tierra de Santorino, piedra pómez, etc.—obran del mismo modo.

Si se mezcla con el hidrato de calcio el hidrato de aluminio desecado al aire ó calcinado y reducido á polvo fino, se obtiene también el fraguado y el endurecimiento de la mezcla en presencia del agua.

Si se mezcla hidrato férrico pulverizado con hidrato de calcio, la masa fragua y se endurece, pero muy ligeramente.

El hidrosilicato de calcio endurecido es muy poco atacable por el agua; pero, si se evita la formación del carbonato de calcio, se reblandece invariablemente de la superficie hacia el interior (por eliminación de la cal).

El aluminato de cal endurecido es enérgicamente atacado y reblandecido por el agua, y el ferrato de cal se descompone rápida y completamente.

Si se conserva saturada el agua de cal, manteniendo suspendido en ella un fragmento del mismo cuerpo, y se pone en contacto con la sílice hidráulica, se forma una costra superficial de hidrosilicato de calcio cubierta de verrugas ó excrescencias y el núcleo interior, de ácido hidrosilícico, permanece blando y más ó menos fluido. La corteza impermeable impide que se propague la combinación de la sílice y de la cal.

Si en vez de sílice se emplea alúmina pura, hidratada ó calcinada, se obtiene igualmente una envoltura exterior dura de hidroaluminato de cal, con análogas concreciones semejantes á verrugas, y un núcleo interior blando, casi sin alteración, de hidrato de alúmina.

El óxido de hierro obra de un modo muy diferente; el óxido férrico calcinado (deshidratado) no reacciona en presencia del hidrato de calcio.

El hidrato férrico pulverizado se combina con el hidrato de calcio con un endurecimiento insignificante, para formar una sustancia definida, cristalina y casi completamente blanca, en la cual la cal se mantiene de un modo muy poco estable, tanto que aquélla se descompone con extraordinaria facilidad por la acción del agua.

La acción de la luz polarizada sobre el hidrosilicato de calcio, obtenida por medio de una solución saturada de cal, prueba directamente que aquella sustancia no es cristalina, sino amorfa.

Por otra parte, se demuestra claramente que el hidroaluminato y el hidroferrato de calcio son compuestos cristalizados. La formación del doble aluminato y del sulfato de calcio manifiestan que muy probablemente el hidroaluminato podría, en condiciones determinadas, cristalizar como el yeso, y he conseguido posteriormente preparar dicho aluminato cristalizado en la misma forma, probando así que un compuesto definido de cal y de hidrato de aluminio cristaliza isomórficamente con el yeso.

El compuesto de ácido hidrosilícico y de hidrato de calcio es enteramente amorfo é indefinido, y cuando no es muy rico en cal resiste en alto grado á la acción de descomposición por el agua.

Los compuestos de hidratos aluminicos ó férricos con hidrato de calcio son cristalinos, y se ablandan tan fácilmente en presencia del agua, que no pueden ser considerados como cementos hidráulicos. Aunque el aluminato de calcio se endurece considerablemente en el agua, no posee condiciones muy superiores á las del sulfato de calcio, y se reblandece exactamente del mismo modo. Por consiguiente, la alúmina obra también, respecto á la cal, del mismo modo que el ácido sulfúrico (1).

(1) Memoria leída en el Congreso de la Asociación para la unificación de los métodos de ensayo de materiales de construcción, celebrado en Stokolmo.

(1) Sin embargo, á causa de su insolubilidad, el aluminato de calcio es

La sílice es, pues, no sólo el elemento más esencial de los cementos hidráulicos, sino en rigor el único factor hidráulico, la única sustancia capaz de formar con la cal mortero hidráulico, como ya lo afirmé al principio.

Por mucho tiempo se ha admitido que las puzolanas precipitaban la cal contenida en el agua de cal, y hasta se propuso un método de ensayo de las puzolanas fundado en esta propiedad, es decir, en la cantidad de cal precipitada por la puzolana del agua de cal; pero este procedimiento no fué aceptado, porque la absorción de la cal no corresponde siempre á las indicaciones de la teoría, ó responde á ellas, en todo caso, de un modo muy incompleto.

Es cierto que la sílice hidráulica goza de la propiedad de precipitar del agua de cal una gran parte de la cal que contiene; pero sucede á menudo que se pueden tratar las mencionadas puzolanas por el agua de cal durante varios días consecutivos, sin que absorban cantidad alguna de cal; es necesaria la presencia de un exceso de cal, es decir, que el agua se conserve constantemente saturada, para asegurar la absorción de la cal por las puzolanas. Por otra parte, se realiza, al tratar por una solución de cal la sílice hidráulica, y especialmente la puzolana, un fenómeno de gran importancia en el endurecimiento de la mezcla hidráulica, y cuya influencia no se ha señalado hasta ahora con claridad, á saber, la hinchazón ó entumecimiento de la sílice ó puzolana (1).

El agua de cal presta capacidad á la sílice hidráulica, á la alúmina y al óxido férrico para combinarse con el agua formando hidratos, y en el caso de la sílice, llegan á formarse hidratos extraordinariamente ricos en agua. La sílice y las puzolanas, sometidas á este tratamiento, experimentan frecuentemente un entumecimiento tal, que llega á aumentar su volumen hasta diez veces el primitivo.

El análisis de la sílice calcinada al soplete y diluida en agua de cal ha dado los resultados siguientes:

1.º Comprimida hasta adquirir la consistencia del almidón seco, su composición fué:

Sílice.....	25,62	por 100.	{ 5 Si O ² , 3 Ca O + 40 H ² O, ó sea un hidrato quintuple.
Cal.....	14,25	—	
Agua.....	60,13	—	

2.º Este compuesto triturado, agitado y lavado con alcohol absoluto, y desecado á 20° C en aire que contenía 60 por 10 de humedad:

Sílice.....	48,597	por 100.	{ 5 Si O ² , 3 Ca O + 8 H ² O.
Cal.....	27,030	—	
Agua.....	24,373	—	

3.º Desecado durante cinco días con ácido sulfúrico:

Sílice.....	54,54	por 100.	{ 5 Si O ² , 3 Ca O + 5 H ² O.
Cal.....	30,33	—	
Agua.....	15,13	—	

Queda probado, según esto, que la sílice, bajo la influencia del agua de cal, se hidrata en alto grado; porque, aun admitien-

superior al sulfato, por cuanto puede ser descompuesto por el ácido carbónico y transformado en carbonato insoluble de calcio ó hidrato insoluble de aluminio; de modo que la condición esencial que deben llenar los cementos hidráulicos se halla asegurada por la acción del ácido carbónico, la cual no existe con el sulfato de calcio.

(1) Bajo una gran presión, y á una temperatura de unos 100° C., solamente el hidrato de calcio pone en condiciones al cuarzo mismo de absorber agua, convirtiéndolo así en sílice hidráulica.

do que el compuesto prensado y calcinado contiene todavía hidrato de calcio con 8 moléculas de agua, aún quedan 3 moléculas para la sílice; deshidratado con alcohol y desecado al aire, quedan el monohidrato de calcio y el monohidrato de silicio; y deshidratado con ácido sulfúrico, se obtiene, además del monohidrato de calcio, próximamente la mitad de hidrato de silicio, lo mismo que ocurre con el ácido hidrosilícico cuando se le deshidrata con ácido sulfúrico.

La alúmina muy finamente pulverizada y calcinada al rojo, tratada por el agua de cal, dió estos resultados:

1.º Comprimida hasta la consistencia del almidón seco, su composición fué:

Alúmina.....	25,192	por 100.	{ 5 Al ² O ³ + 7 Ca O + 58 H ² O, ó sea un hidrato quintuple.
Cal.....	19,663	—	
Agua.....	52,238	—	

2.º Desecada durante cinco días con ácido sulfúrico:

Alúmina.....	38,344	por 100.	{ 5 Al ² O ³ + 7 Ca O + 23,5 H ² O, ó sea un hidrato doble.
Cal.....	29,930	—	
Agua.....	31,726	—	

De donde se deduce también que la alúmina deshidratada y calcinada se transforma en un polihidrato bajo la acción de una disolución de cal.

El óxido de hierro se conduce análogamente, con la sola diferencia de que se entumece en presencia del agua de cal mucho menos que la alúmina, la cual á su vez es, bajo este aspecto, muy inferior á la sílice. Esto se comprende fácilmente, porque sólo la sílice aumenta de volumen al modo de un compuesto indefinido, mientras que la alúmina y el óxido de hierro forman, por el contrario, con el hidrato de calcio, compuestos cristalinos.

(Se continuará.)

La mica y sus aplicaciones.

Las aplicaciones cada vez más numerosas de la mica en la industria eléctrica, han hecho que aumente en grandes proporciones el consumo de este mineral, cuyos principales yacimientos están en el Canadá y atraen hoy la atención de los capitalistas. *The Electrician* ha publicado recientemente acerca de los usos de la mica algunos datos que vamos á dar á conocer á nuestros lectores.

Los yacimientos de mica del Canadá son conocidos desde hace mucho tiempo, y el servicio geológico de Dominion cita en particular los yacimientos de moscovita ó mica blanca y de mica ámbar del condado de Ottawa.

La mica es un mineral cristalino que, asociado con feldespato, cuarzo y piroxenos, forma las rocas conocidas con los nombres de gneis y granito; se puede dividir en láminas elásticas sumamente delgadas. Su color y su valor comercial dependen de las particularidades mineralógicas de las rocas con las cuales está asociada, y también de las condiciones en que ha sido depositada después de la descomposición de estas rocas.

A consecuencia del descubrimiento de sus propiedades aisladoras y del rápido desarrollo de las aplicaciones eléctricas, su consumo ha aumentado rápidamente en Europa y en América. Las compañías de gas por incandescencia han sustituido los tubos de vidrio por cilindros de mica y han abierto un nuevo mercado á esta sustancia. Hoy día los cargamentos de mica que desembarcan en Londres son distribuidos inmediatamente entre el comercio de Inglaterra y el del continente.