

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

Los cementos en las obras marítimas.

Hace ya algún tiempo escribimos un artículo que fué publicado por esta REVISTA, tratando de la descomposición de los cementos en las obras marítimas. Partíamos del caso concreto de un hormigón descompuesto por la acción química del agua del mar. De los análisis hechos en la parte descompuesta parecía deducirse, sin lugar á dudas, que se trataba de la acción del sulfato de magnesia sobre la cal libre; es decir, del caso típico de descomposición citado por Vicat.

Estudiábamos después la importancia del procedimiento microscópico de White para averiguar la existencia de aquella cal, aunque sólo hubiera rastros de ella, y llamábamos la atención acerca del hecho de que el procedimiento tan generalizado del agua hirviendo sólo da resultado con la cal recocida á una alta temperatura, que tarda mucho tiempo en apagarse, pero no con la cal apagada; pues cementos á los cuales habíamos incorporado hasta un 20 por 100 de cal grasa apagada, en polvo, no acusaban la menor desagregación en la prueba del agua hirviendo, por dura que fuera.

Citábamos después una serie de obras marítimas en las que siempre se mezcla el cemento con materias puzolánicas, y dábamos cuenta de los minuciosos trabajos de Potter, quien durante varios años estudió el efecto de disoluciones concentradas de cada una de las sales del mar, sobre cementos á los que había incorporado muchas de aquellas materias, hasta encontrar un tipo que él llamaba cemento rojo y que era completamente inalterable.

Y, por último, aventurábamos una opinión que justificase el hecho anómalo de que hubiesen probado bien en muchas obras de la costa Norte de España antiguos cementos de fraguado rápido de composición nada uniforme y de imperfecta coadura y molido, dando en cambio mal resultado otros buenos cementos de portland cuidadosamente fabricados.

Suponíamos, y ahora lo repetimos, porque ello guarda relación con lo que luego hemos de decir, que aquellos cementos provenían de una imperfecta coadura de margas muy arcillosas. En esa coadura á baja temperatura, la mayor parte de las reacciones quedaban reducidas á la conversión del carbonato de cal en cal viva por la expulsión del ácido carbónico, y á la cocción de la arcilla á una temperatura tal, que se exaltan sus propiedades puzolánicas, quedando al fin el cemento convertido, en una gran parte al menos, en una mezcla de cal y puzolana que fragua en el agua, y que al no dejar ningún sobrante de aquella base, impide

que sobre ella ejerzan su acción las sales del mar, originando la descomposición. Nada tiene de aventurada esta hipótesis y la comprueba la práctica que ahora se inicia de añadir puzolanas á los cementos. Pues, claro es que si los romanos hacían morteros inalterables con cal común á la cual añadían esas puzolanas, y si es cierto que la cal libre es perjudicial, añadiéndole esa misma sustancia al cemento se tendrá por un lado cemento desprovisto de cal y por otro cal y puzolana, y todo será hidráulico y nada será atacable.

Por elemental que el hecho parezca y aunque se acuda á un ejemplo de hace muchos siglos, de época en la que parece que no debiera haber maestros en estas cuestiones, que aun hoy están á oscuras, no debemos desdeñar la observación, pues el hecho es, que á su olvido se deben muchas averías en las obras marítimas.

Si desde tiempo de Vicat se achacó á la cal libre la descomposición, y ya hace veinte siglos se hacían buenos morteros con sólo esa cal, causa del daño, sin más que añadirle puzolanas, parece tan elemental y evidente la solución, que lo raro es que no se haya dado antes con ella.

Para que todo sea así tan evidente hay que convencerse primero de que la cal es perjudicial. Hemos hecho varios ensayos para averiguarlo y el resultado ha sido afirmativo y concluyente. Unas probetas hicimos con cemento solo, otras con el mismo cemento sobre el que había actuado una corriente de ácido carbónico para neutralizar la cal que pudiera tener (el microscopio demuestra con la prueba de White que pocos segundos bastan para neutralizarla) y otras con el mismo cemento al cual se había añadido cal común. Las primeras se descompusieron á los tres meses, las otras siguieron hasta los cinco meses sin alteración, y las últimas no resistían á las tres semanas el canjilón de la balanza de ensayos.

Estas pruebas se hicieron, como las que más adelante señalaremos, con agua del mar, en la cual se había disuelto un 10 por 100 de su peso de sulfato de magnesia, para acelerar así las reacciones con esta sal que, según todos los indicios, y sobre todo después de las experiencias de Potter, parece que es la que más parte toma en las descomposiciones. Potter supone que con esa solución concentrada se obtiene en unos meses el efecto que en el mar se obtendría en varios años. Creemos nosotros que los daños se exageran con el exceso del sulfato de magnesia; pues si bien es verdad que en el mar se ejerce constantemente la acción de esta sal, no es menos cierto que la carbonatación espontánea por el efecto del aire y la acción de la vegetación marítima conserva los morteros, y estas dos causas de conservación requieren un

tiempo que no lo hay en el ensayo rápido de la disolución concentrada.

Pero, por esto mismo, es más concluyente la prueba que así se haga.

Otros ensayos hicimos con tres clases de probetas. Morteros de tres partes de cemento y nueve de arena. Otro de tres partes de cemento, una de trass y nueve de arena. Y otro de dos partes de cemento, una de cal y nueve de arena.

Las primeras probetas resistieron dos meses, aunque con débiles resistencias, y á los tres presentaron síntomas de descomposición. Las probetas con trass dieron unas resistencias á la rotura por tracción de 28 kilogramos á los dos meses; 34 á los cuatro; 35 á los seis, y 41 á los ocho. Las probetas á las que se había añadido cal, estaban al mes completamente descompuestas.

No puede negarse que el resultado es bastante significativo. También lo es el siguiente con tres tipos de probetas:

Número 1, tres partes de cemento y nueve de arena.

Número 2, tres partes de cemento, una de trass y ocho de arena.

Número 3, dos partes de cemento, una de trass y nueve de arena.

Las experiencias duraron un año.

Los promedios de las observaciones dan los resultados siguientes:

	RESISTENCIA POR CENTÍMETRO CUADRADO		
	Núm. 1.	Núm. 2.	Núm. 3.
Dos meses	13,5	31,9	21,0
Tres ídem.....	15,1	30,2	24,3
Cuatro ídem.....	12,0	32,4	25,8
Cinco ídem.....	13,8	37,0	26,9
Seis ídem.....	13,8	36,7	24,4
Ocho ídem.....	12,9	41,2	25,5
Diez ídem.....	14,7	33,0	23,5
Doce ídem.....	14,1	32,9	23,7

No teníamos probetas para seguir los ensayos durante más tiempo y conservamos sólo unas cuantas para ver lo que ocurría más adelante. Las del núm. 1 se descompusieron á los quince meses. Las del núm. 3 á los diecinueve meses de estar sumergidas. Las del núm. 2 se conservaban á los dos años en perfecto estado y sin disminución en la resistencia.

Comparando los morteros números 1 y 3, salta á la vista la superioridad de este último, á pesar de ser mucho más pobre en cemento, probando con toda evidencia la ventaja de la sustitución de parte del cemento por trass. La comparación de uno y otro con el núm. 2 es tan visible que no hay para qué detenerse á comentarla.

Claro es que puede inducir á error el que comparemos morteros con diferentes proporciones de arena y podría achacarse, sobre todo en la comparación de los morteros 2 y 3, á ventaja obtenida con el trass, lo que no se debe á él sólo, sino también, y en parte, á mayor riqueza de la mezcla. Deberán seguirse haciendo ensayos, y así lo haremos cuando podamos otra vez disponer de la materia puzolánica; pero son, desde luego, tan claros los resultados que arrojan esos ensayos, que, sin temor, puede afirmarse que en los hormigones sumergidos en el mar debe siempre el cemento mezclarse con una puzolana.

Podrían estos ensayos dar lugar á una duda, la de que á pesar de una fuerte dosis de puzolana como en el mortero núm. 3, se llegaba á la descomposición. En primer lugar, la arena bastante fina que nosotros hemos empleado hace que el mortero número 3 deba considerarse como bastante árido, y una cosa es que el uso de puzolanas sea mejor ó peor, y otra que, de todos modos, los morteros áridos no deban emplearse en el mar. Y, en segundo lugar, no olvidemos, como ya antes indicábamos, que en estos ensayos en que se aceleran las causas de descomposición no dan tiempo á la labor defensiva que el ácido carbónico por un lado, y las conchas y plantas por otro, producen en las obras.

Estos ensayos, que vienen á ser una modesta reproducción de otros de mayor importancia llevados á cabo por Ingenieros de reconocida autoridad, sirven sólo para ver la conveniencia de añadir á los cementos puzolanas.

Bueno sería que se llegase á saber la dosis más conveniente de las mezclas, pero no es fácil llegar á esta deducción desde el momento en que todo depende de la cantidad de cal libre que el cemento tenga, y esto no puede hoy saberse de un modo exacto. Todos los análisis son cualitativos, y la prueba de White, que es el mejor procedimiento que conocemos, tampoco da más que líneas generales en cuanto á la cantidad.

Aunque la conociéramos tampoco tendríamos el problema resuelto, pues aunque con la adición de puzolana sabemos que lo que se consigue es añadir sílice en un estado tal que permite su composición con la cal, ni los silicatos ni el cemento, ni la teoría del fraguado, lo conocemos más que á medias, y en lo fundamental estamos como en tiempo de Vicat.

Para saber la dosis más conveniente de la mezcla hay que acudir á la experiencia. Hay ya datos bastantes de obras en Holanda y en Alemania y en Italia, y dejando á un lado los casos en que se ha vuelto francamente á lo antiguo, fabricando hormigones con cal común, nos encontramos con que en la mayoría de las obras la materia puzolánica entra, próximamente, en una tercera parte de la cantidad de cemento.

Una cuestión muy interesante hay que resolver. Si la perjudicial es la cal libre que tenga el cemento, el empleo de puzolanas no sería acertado en los cementos que no tengan aquella base. Y aun en los que la tengan, podría su empleo sustituirse por una simple corriente de ácido carbónico que la neutralizase, procedimiento que, como ya hemos dicho, es sumamente rápido y seguro.

Algo de esto se ha hecho utilizando el mismo ácido carbónico de los hornos, y haciéndolo pasar á través del cemento después de molido, y los resultados parece que han sido buenos. Con ello se ha conseguido que el cemento llevase un poco de arena caliza, que sería una materia inerte, pero no perjudicial.

Pero si como afirma Le Chatellier en todo cemento se forma cal (aunque antes no la tuviera), por la acción del agua y como consecuencia de una reacción de ésta sobre el silicato tricálcico, entonces la adición de puzolana es siempre necesaria. Aunque el cemento no tuviera cal, aunque la hubiéramos neutralizado con el ácido carbónico, se formaría después por la acción del agua y de nada habrían servido pruebas ni precauciones.

Debe esto ser cierto. Lo afirman Le Chatellier y Michaelis, y ya esto es bastante. Parece comprobarlo muchas veces la formación de lechadas. Nosotros hemos pretendido comprobarlo con la prueba al microscopio y no hemos obtenido resultado. Tomamos un cemento bien carbonatado en el que daba un resultado negativo la prueba de White; le añadimos agua y analizamos todo el proceso del fraguado; deberíamos haber visto las características agujas del fenolato de calcio, pero no llegamos á verlas.

En cambio vimos todo el campo cubierto de agujas en el aná-

lisis de las lechadas de un buen cemento portland que se había sumergido en masa. Y como seguramente ese cemento no tenía cal, y si la tenía era en muy poca cantidad, parece indudable que se formó durante el fraguado, y, por lo tanto, hubiera sido acertado añadirle una puzolana.

Hemos hecho algunos ensayos con materias puzolánicas de diversas procedencias. Un trass, procedente de Berlín, dió claros resultados, y también los dió barro cocido de tejas y finamente pulverizado. La opinión relativamente moderna de que es beneficioso para el cemento una pequeña cantidad de arcilla, tendrá como probable fundamento las propiedades puzolánicas de algunas arcillas aunque no estén cocidas.

Nosotros hemos encontrado diferencias muy grandes entre las muestras de arcilla procedente una de un barrero y otra del légame de un río. Tanto en la resistencia de probetas hechas en la forma corriente como el comportamiento en la disolución concentrada de sulfato de magnesia, las diferencias eran muy sensibles y estaban en favor de la segunda.

De todos estos ensayos parece deducirse la conveniencia de vulgarizar la prueba microscópica de White, que lo mismo acusa la existencia de la cal recocida que la de la apagada, rechazando los cementos que demuestren en dicha prueba una gran cantidad de cal.

Parece también concluyente que á todo cemento, aunque dé un resultado favorable en esta prueba, se le debe añadir una puzolana limitando por el pronto el empleo de éstas á las ya conocidas, como el trass de Holanda, el de Berlín, y las puzolanas corrientemente empleadas en Italia, mientras repetidos ensayos, fáciles de llevar á cabo, no demuestren la bondad de otros productos. También creemos que podrán dar buen resultado los cementos de fraguado rápido que procedan de margas muy arcillosas; pero como no se obtendrán sensibles economías con su empleo, tanto por deberse emplear dosis mayores que con los cementos portland, como por no ser fácil emplear los procedimientos mecánicos de fabricación, siempre habrá de ser reducida su aplicación en las obras de puertos.

Escrito lo que antecede, hemos leído el notable y reciente informe acerca de esta cuestión de la inalterabilidad de los morteros y hormigones.

Dudamos si publicar este trabajo falto de la base y de la autoridad que aquel informe tiene. Pero como en él se recomienda el empleo de puzolanas, y está aún esta cuestión tan poco estudiada, creemos que no estará demás el ir dando cuenta de todo lo que se vaya deduciendo acerca de un problema que, como éste, es de tanta trascendencia en las obras marítimas.

EDUARDO DE CASTRO.

Las líneas telefónicas y las redes de distribución DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La proximidad de las redes de distribución de energía eléctrica y de las líneas telefónicas crea perturbaciones de todas clases, agravadas por la aproximación de la alta tensión por un lado y de la baja tensión por el otro.

Es, pues, necesario proteger las líneas telefónicas contra estas perturbaciones y M. Shelton, en la *General Electric Review*, ha hecho un interesante estudio de la cuestión y preconizado el empleo de ciertos aparatos que indica M. P. L. en un artículo publicado en *Le Génie Civil*, del que hacemos un resumen á continuación.

La probabilidad y la gravedad de los accidentes ó de las perturbaciones son mayores ó menores según las circunstancias, y pueden considerarse cuatro casos principales:

- 1.º Los circuitos telefónicos no cruzan ni bordean líneas de alta tensión.
- 2.º Las líneas telefónicas cruzan líneas de alta tensión.
- 3.º Las líneas telefónicas bordean líneas de alta tensión, pero están soportadas por postes independientes; y
- 4.º Las líneas telefónicas tienen los mismos postes que las líneas de alta tensión.

Las dificultades que se encuentran en este último caso han conducido á crear un material especial que permite remediar las perturbaciones que pudieran producirse. Éste responde, *a fortiori*, á las necesidades de los casos menos complicados que entran en las tres primeras categorías enunciadas.

ACCIDENTES MORTALES: *Medidas de seguridad*.—Se ha reconocido que, en una línea telefónica que tuviese postes comunes con una línea de 110.000 voltios, puede producirse una corriente inducida de 5.600 voltios que puede ocasionar accidentes mortales si se emplean los aparatos telefónicos directamente unidos á la línea del teléfono.

Para evitar los accidentes, basta que los aparatos telefónicos estén unidos con la línea del teléfono, por el intermedio de transformadores. A fin de dar un factor de seguridad suficiente, los transformadores que han de adoptarse deben estar aislados para 25.000 voltios.

En primer lugar, para evitar los accidentes causados por el contacto eventual entre la alta tensión y el circuito telefónico, basta emplear seccionadores bien contruidos que aíslen el trozo de línea puesto fuera de servicio, y manteniendo en servicio si fuera necesario el resto del circuito.

Del mismo modo, bastan interruptores de cuernos para descargar á tierra las corrientes de alta tensión que la caída de un hilo pone accidentalmente en comunicación con la línea telefónica.

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA Y ELECTROSTÁTICA.—Se sabe que las corrientes de la línea de alta tensión ejercen sobre cualquiera otra línea una doble influencia:

- 1.º Influencia electromagnética, á causa del campo magnético creado alrededor de los conductores por donde circula la corriente de alta tensión.
- 2.º Influencia electrostática, á causa de su campo electrostático.

Si la línea telefónica sometida á esta doble influencia está compuesta de un hilo de ida y uno de vuelta, cada elemento de los dos conductores es el asiento de una doble inducción (estática y magnética), y todas las tensiones elementales inducidas en el hilo de vuelta son opuestas, elemento á elemento, á las tensiones inducidas en el hilo de ida. No hay, sin embargo, igualdad perfecta entre estas tensiones, puesto que las secciones de uno de los hilos no están exactamente colocadas como las secciones del otro hilo con relación á las líneas de alta tensión. Además, en la «suma» de todas estas fuerzas electromotrices inducidas cerradas en anillo sobre el circuito telefónico, hay una diferencia á favor del hilo más próximo y más directamente sometido á la inducción. Para que la «suma» de las fuerzas electromotrices dé una inducción resultante nula, se tiene la costumbre de invertir, de distancia en distancia, los hilos de ida y vuelta del circuito telefónico, práctica excelente á la que nada se puede objetar, pero cuyo resultado depende de la regularidad con que están establecidas las líneas y de la manera como se aplica el principio del cruce de los hilos.

En todos los casos, se concibe fácilmente que este remedio es inaplicable cuando se emplea la tierra como conductor de vuelta.