

table, que deberá, por lo tanto, entrar en comparación con los otros sistemas en la actualidad empleados.

Aparte de los servicios que el procedimiento de Mr. Montaigner puede prestar, marca la tendencia de los progresos que se traten de hacer en los sistemas actuales de fundación, y su primera aplicación es una página interesante de la historia de las fundaciones por medio del aire comprimido.

ANTONIO F. DE NAVARRETE.

EXPERIENCIAS DEL FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO DE LOS MORTEROS

FABRICADOS CON CIMENTO PORTLAND.

Es necesario algunas veces, en las construcciones, obtener morteros de cemento de fraguados muy lentos, lo cual se consigue empleando una pequeña proporción de cemento en la composición de la mezcla, siempre que los componentes sean de buena calidad; pero en cuanto la cantidad de cemento mezclado con la arena es de importancia, el endurecimiento se efectúa casi con la misma rapidez que usándolo puro, y en este caso no se obtienen mezclas que tarden diez á doce horas en fraguar, las cuales es necesario emplear en algunas obras.

Es conveniente, por lo tanto, encontrar un medio práctico de obtener mezclas de fraguado lento sin perjudicar á su consistencia.

En las construcciones marítimas, el problema está resuelto desde hace mucho tiempo, porque se sabe que el agua del mar retarda el fraguado de las mezclas. El procedimiento que se debe seguir está indicado, y únicamente me he propuesto encontrar un medio de obtener, con el menor gasto posible, el efecto producido por el agua del mar.

Empezaré por examinar la acción del agua del mar en el fraguado y entre qué límites se manifiesta, según la naturaleza de los cementos.

Cuando se emplea agua del mar en las mezclas, el fraguado es mucho más lento que usando el agua dulce; pero la diferencia es más ó menos importante, según la composición de los cementos y el mayor ó menor tiempo que las mezclas han estado en contacto con el aire antes de su empleo en obra. En los cementos bien cocidos se observa un retraso de muchas horas en el fraguado cuando se emplea el agua del mar para la mezcla, comparándolo con el tiempo que necesita usando el agua dulce en su manipulación, y en los cementos imperfectamente cocidos ó muy arcillosos la dife-

rencia ó retraso en el fraguado es de algunos minutos, entre las mezclas hechas con agua dulce y del mar.

En general, los cementos de composición normal y bien cocidos, cuando se los amasa con agua del mar tardan en fraguar de tres á ocho horas. Los cementos arcillosos ó imperfectamente cocidos, amasados en las mismas condiciones que los anteriores, tardan solamente en fraguar quince á veinte minutos. Empleando el agua dulce, la duración del fraguado de un buen cemento puede variar entre quince minutos y tres horas; pero un cemento poco cocido fragua siempre en pocos minutos.

El contacto prolongado de los cementos con el aire húmedo modifica los resultados obtenidos con los preservados de toda acción atmosférica. Mientras que los cementos de buena calidad conservan durante mucho tiempo su rapidez de fraguado, ya se emplee el agua dulce ó la del mar en su manipulación, los cementos mal cocidos ó que las cantidades de los elementos que los componen no son convenientes, conservan bastante tiempo la misma rapidez en el fraguado, cuando se emplea el agua dulce en su manipulación, pero con el agua del mar se retarda mucho su fraguado, y transcurridos algunos meses necesitan quince á veinte horas para endurecerse.

Si el cemento está expuesto á la humedad durante mucho tiempo, el fraguado es muy lento y próximamente igual con el empleo del agua dulce que usando la del mar. El cemento, en estas condiciones, ha perdido gran parte de su fuerza y se parece á las cales ligeramente hidráulicas, que tardan en fraguar próximamente el mismo tiempo, cualquiera que sea la naturaleza de las aguas que se empleen en su manipulación.

Estas consideraciones sobre la mayor ó menor rapidez del fraguado son algo vagas, y no pueden ser exactas más que en los casos de resultar idénticas la calidad y cantidad de los componentes de las mezclas que se comparen, la temperatura y estado higrométrico del aire, sistema empleado en la manipulación, etc.

El agua del mar contiene, término medio, 35 gramos de sales en disolución por litro. Estas sales son, en primer término, el cloruro de sodio, que entra en la proporción de los seis séptimos, sulfato de magnesia, cloruro de magnesia, sulfato de cal, carbonato de cal, algunas sales de potasa y vestigios de bromo, iodo, silice, etc.

El agua del mar, tomada sobre la playa de Boulogne, tiene la composición siguiente:

RESIDUO SECO POR LITRO, 35,720 GRAMOS.

	Gramos.
Carbonato de cal.	0,096
Sulfato de cal.	1,301
Sulfato de magnesia.	2,143
Cloruro de magnesio.	0,919
Cloruro de sodio.	30,248
Materias no dosificadas.	1,013
TOTAL.	35,720

Densidad del agua á 15 grados 1,0246.

Se podía creer, *á priori*, que entrando en tan gran cantidad el cloruro de sodio en la composición de las aguas del mar, relativamente á las otras sales, su influencia en el fraguado de las mezclas debería ser la más importante. Así, que empecé por preparar disoluciones que contenían desde 10 gramos hasta 50 de cloruro de sodio por litro.

Mezclando cimentos de diversas procedencias con agua dulce y después con estas disoluciones, no he obtenido diferencia apreciable en la rapidez del fraguado; por lo tanto, el cloruro de sodio no interviene de ninguna manera, á lo menos directamente, en el endurecimiento de los cimentos.

Preparé una disolución que contenía por litro de agua 10 gramos de sal anhidra de sulfato de magnesia, y obtuve fraguados más lentos que empleando el agua dulce, los cuales se aproximaban mucho á los observados con el agua del mar.

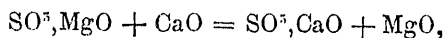
Una disolución por litro de 10 gramos de cloruro de magnesio dió fraguados un poco más lentos que empleando el agua del mar. Por último, fundándome en la reacción del cloruro de magnesio sobre el hidrato de cal, que explicaré más adelante, ensayé el efecto de una disolución de 10 gramos por litro de cloruro de calcio; el resultado fué sensiblemente el mismo que empleando el cloruro de magnesio.

El resumen de los ensayos, en que se han tomado únicamente cuatro muestras completamente distintas en calidad y composición, es el siguiente;

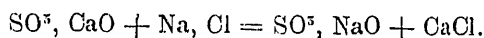
Números de las muestras.	DURACIÓN DEL FRAGUADO DE CEMENTO MEZCLADO CON				
	Agua dulce.	Agua del mar.	DISOLUCIÓN DE 10 GRAMOS POR LITRO DE		
			Sulfato de magnesia.	Cloruro de magnesio.	Cloruro de calcio.
1	0h, 4m	0h, 21m	0h, 23m	0h, 30m	0h, 18m
2	0h, 25m	7h, 30m	4h, 40m	12h, 0m	10h, 0m
3	5h, 0m	8h, 50m	12h, 0m	14h, 0m	14h, 0m
4	0h, 22m	7h, 12m	6h, 0m	8h, 0m	6h, 50m

Los resultados de este estado manifiestan el papel importante que el sulfato de magnesia y el cloruro de magnesio tienen en el agua del mar, y no puede ponerse en duda que su influencia sobre el fraguado es debida únicamente á la acción de las dos sales que se acaban de mencionar con el cemento (1).

Las reacciones que se verifican cuando se mezcla el cemento con el agua del mar, son bien sencillas: el sulfato de magnesia, en presencia de la cal, se transforma en sulfato de cal, y la magnesia se precipita.



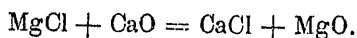
El sulfato de cal, en presencia del cloruro de sodio, y sobre todo á buena temperatura, puede transformarse en sulfato de sodio y formarse cloruro de calcio:



(1) En todos los ensayos se ha anotado la duración total del fraguado, que es todo el tiempo transcurrido desde que se termina la manipulación hasta el momento en que una aguja de 300 gramos no deja impresión en la pasta. Este método, que da indicaciones muy exactas en los fraguados rápidos ó medianamente lentos, lo son menos cuando el fraguado es muy lento, porque hay incertidumbre sobre el momento preciso en que el endurecimiento es completo; pero esto no tiene gran importancia, pues tratándose de fraguados que duran seis, doce y quince horas, un error de treinta minutos es insignificante, y la apreciación no excede de este límite. Se hubiera podido, en vez de observar la duración total del fraguado, deducir el tiempo que tarda en dar principio, que se conocería por el momento en que la aguja no atravesara completamente la masa; pero este procedimiento, que da buenos resultados cuando el fraguado es bastante rápido, no es más exacto que el anterior en el caso de ser lento, porque se produce un asiento en la masa que impide á la aguja penetrar completamente en ella, aunque no haya dado principio al fraguado.

Todos los ensayos se han hecho mezclando el cemento puro con el 25 al 26 por 100 de agua, medidas las cantidades de las dos sustancias al peso. En la práctica se emplea generalmente más agua, y por consiguiente, los fraguados serán más lentos que los indicados anteriormente.

El cloruro de magnesio, en presencia de la cal, se transforma en cloruro de calcio, y la magnesia se precipita:



De las observaciones que anteceden, se deduce el procedimiento que debe emplearse para obtener mezclas cuyos fraguados tarden el mismo tiempo que las hechas con agua del mar. Debe desecharse el sulfato de magnesia por ser caro, y además poder dar lugar á la formación de sulfato de cal; tampoco conviene emplear el cloruro de magnesio, por descomponerse en presencia de la cal, transformándose en cloruro de calcio y magnesia que se deposita. Debe emplearse el cloruro de calcio disuelto en agua para obtener fraguados lentos, porque su acción es tan enérgica como la que se obtiene con las otras dos sales mencionadas; es barata su adquisición por ser un residuo de fabricación y no da lugar á precipitado alguno, teniendo la ventaja, según se demostrará después, de aumentar la resistencia de las mezclas, aun en el caso de emplear disoluciones que contengan una cantidad pequeña de cloruro de calcio.

Los resultados obtenidos al examinar la acción del cloruro de calcio sobre los cementos en los *Annales de la Construcción*, Noviembre 1886, parecen estar en contradicción con los que se acaban de indicar; porque entonces se trataba de averiguar en qué condiciones el cloruro de calcio podría aumentar la rapidez del fraguado en las mezclas, y con objeto de que desaparezcan las dudas que pudieran ocurrir, es conveniente hacer un estudio completo de la influencia que el cloruro de calcio ejerce en la mayor ó menor rapidez del fraguado. Con este objeto se han preparado disoluciones desde dos gramos hasta 300 de cloruro de calcio anhidro por litro de agua. Tomando enseguida cuatro muestras de cementos iguales á las ensayadas anteriormente, se han mezclado con las diversas disoluciones, obteniendo los resultados siguientes:

Disolución de cloruro de calcio en gramos por litro.	DURACIÓN DEL FRAGUADO DE CIMENTO PURO			
	Núm. 1.	Núm. 2.	Núm. 3.	Núm. 4.
2	0h, 5m	1h	8h	1h, 34m
5	0h, 8m	10h	12h	2h
10	0h, 18m	10h	14h	6h, 50m
20	1h	12h	10h, 30m	8h
40	4h, 35m	8h	6h, 30m	8h, 35m
60	3h, 20m	6h	4h	6h
100	0h, 3m	0h, 20m	0h, 30m	3h, 30m
200	0h, 3m	0h, 9m	0h, 5m	0h, 25m
300	0h, 2m	0h, 8m	0h, 3m	0h, 5m

De ellos se deduce que el fraguado se hace con más lentitud á medida que se va aumentando la cantidad de sal disuelta en el agua hasta que llega á su máximo, desde el cual aumenta la rapidez en el fraguado con el de las disoluciones hasta llegar á ser extremadamente rápidos.

El efecto de diversas disoluciones de cloruro de magnesio es próximamente el mismo que las de cloruro de calcio; no obstante, el fraguado es aun más rápido á partir de las disoluciones de 100 gramos por litro, porque resulta casi instantáneo.

El cloruro de magnesio puede reemplazar al cloruro de calcio para retrasar el fraguado de las mezclas de cementos, pero no puede sustituirle cuando se trata de obtener mezclas que se endurezcan en poco tiempo, porque las dificultades de su empleo son muy grandes.

Se ha examinado la acción de otras sales, como los silicatos y carbonatos alcalinos. De este estudio se obtienen datos muy interesantes sobre las reacciones y combinaciones que se verifican durante el fraguado y endurecimiento de los morteros hidráulicos; pero bajo el punto de vista del retraso en el fraguado, estas sales no tienen importancia.

De lo que antecede se deduce que el procedimiento para obtener morteros de cemento que fraguen con lentitud, consiste en emplear disoluciones de cloruro de calcio que contengan 10 á 20 gramos de esta sal anhidra por litro, y se obtendrán mezclas que fraguarán en ocho ó diez horas, aunque se empleen cementos puros que sólo tarden quince á veinte minutos en fraguar empleando el agua dulce. Morteros que contengan gran cantidad de cemento, tardarán en fraguar empleando la disolución de cloruro de calcio que se acaba de indicar para la mezcla doce á quince horas, cuyo tiempo es suficiente en todos los casos que pueden presentarse.

La manera más sencilla de mezclar el cloruro de calcio con el agua, consiste en disolverlo en una pequeña cantidad de agua hasta obtener la sal concentrada á 33 ó 34 grados del areómetro Baumé. La cantidad de cloruro de calcio por litro es, en este caso, de 400 gramos próximamente; por lo tanto, mezclando 25 á 30 litros de esta disolución con un metro cúbico de agua, se obtendrá la de 10 á 15 gramos de cloruro por litro.

El cloruro de calcio ordinario, fundido á 75 por 100, cuesta 12 á 15 francos los 100 kilogramos; si se emplea una disolución de 10 gramos por litro, el gasto será de 1,60 á 2 francos por metro cúbico de agua, y, como es necesario, por término medio 250 litros de agua para cada metro cúbico de mortero; el precio de éste se habrá aumentado de 0,40 á 0,50 francos.

El procedimiento que se acaba de exponer es el más económico para obtener mezclas de cementos de fraguados lentos. La permanencia prolongada en los almacenes es el medio generalmente propuesto para obtener el mismo resultado; pero esto, además de ser muy caro, es insuficiente,

porque el cemento en barriles puede estar años sin sufrir alteración alguna. Si se conserva el cemento en banastas, solamente la parte superior es atacada por la humedad, y para llegar á obtener un resultado apreciable, sería necesario colocar el cemento en capas delgadas que se removieran de vez en cuando. Esto podría hacerse para cantidades pequeñas de cemento, gastando mucho; pero tratándose de cantidades de alguna importancia no se debe pensar en emplear este último procedimiento. Además, debe tenerse en cuenta que la lentitud del fraguado, obtenida por la acción prolongada del aire húmedo sobre el cemento, ocasiona una disminución en la resistencia de las mezclas, mientras que el empleo del cloruro de calcio lo aumenta de una manera notable.

Se recomienda también el depositar cemento en albercas ó en cuevas para mejorarlo; este procedimiento puede dar buenos resultados cuando se emplea con cementos naturales que provienen de calizas compuestas, porque estos cementos contienen siempre cal libre, algunas veces en cantidades importantes; en este caso es necesario depositarlos en cuevas ó almacenes durante un cierto tiempo, pero no es suficiente. Con los cementos artificiales de buena calidad, su permanencia en almacenes ó cuevas es completamente inútil bajo este punto de vista, porque no conteniendo cal libre, como lo ha demostrado Mr. Le Chatelier, se pueden emplear algunos días después de su fabricación.

Los buenos resultados obtenidos durante tres años con el uso de la disolución de cloruro de calcio en la proporción de 10 gramos por litro de agua, empleada en las mezclas de morteros de cemento para hacer más lento su fraguado, y los que proporciona el uso del agua del mar con el mismo objeto, permiten asegurar el éxito del procedimiento que se ha explicado como más conveniente.

Para terminar, se hace notar otra de las ventajas que se obtienen con las disoluciones de cloruro de calcio, empleándolas en la manipulación de los morteros, que es el poder usar éstos aun cuando las temperaturas sean muy bajas, porque el cloruro de calcio tiene la misma propiedad que el de sodio, de impedir que los morteros se hielen.

E. CANDLOT.

(Traducido de los *Annales de la Construction de Oppermann*)
