

Sea $abcd$ la dovela en cuestión, y $abc'd'$ su sobrecarga, compuesta del rectángulo $a'b'c'd'$ y el trapecio $abb'a'$. Se trata de encontrar la vertical del centro de gravedad G de ambas superficies combinadas, conocidos el g de la dovela y la vertical $g'p$, del de la sobrecarga.

Por las leyes de la Estática sabemos que si llamamos S y S' las dos superficies en cuestión

$$\frac{S}{S'} = \frac{g'G}{Gg}; \text{ ó bien}$$

$$\frac{S + S'}{S} = \frac{gg'}{g'G};$$

pero en los triángulos rectángulos $g'p'G$ y $g'pg$, formados bajando desde los puntos G y g , las normales Gp' y gp sobre $g'p$, se tiene

$$\frac{gg'}{g'G} = \frac{gp}{op} = \frac{S + S'}{S};$$

de donde

$$op = gp : \frac{S + S'}{S};$$

en cuyo segundo miembro no hay cantidad alguna desconocida. Llamando, pues, d_1, d_2, d_3 , etc., á las distancias gp , fáciles de medir en el dibujo, y

$R_1, R_2, \dots, R_n$ las relaciones $\frac{S + S'}{S}$, las distancias op , que llamaremos ψ ,

tendrán por expresión general

$$\psi_n = \frac{d_n}{R_n}.$$

(Se continuará.)

JULIO VALDÉS,
Ingeniero de Caminos.

CONDICIONES QUE DEBEN EXIGIRSE PARA LA RECEPCIÓN DE LOS CEMENTOS

(Continuación.)

Es, pues, un caso bien claro de la importancia que tiene la arena, cuando en lugar de ser materia químicamente inerte, contiene elementos susceptibles de descomponerse.

De todos modos, antes de proceder á las pruebas de resistencia, hay que examinar cuidadosamente si los ejemplares presentan alguna señal de alteración en la superficie, que es donde primero se ha de hallar, si el mortero es atacado por el agua del mar. Si esto sucede con pruebas hechas

con arena *silicea pura*, como es de rigor para que puedan merecer confianza, el cemento debe ser desechado en absoluto. Cuando teniendo seguridad del cemento se observe la alteracion indicada con una arena que se trate de ensayar, debe también proscribirse su uso, pues con ella habría casi la seguridad de que la fábrica hecha sería atacada por el agua del mar.

Y no decimos la seguridad absoluta, porque morteros que se descomponen en pequeñas cantidades resisten en grandes masas, ya porque el agua del mar no puede tan fácilmente penetrar en todo su espesor, ya porque son protegidos por uno de esos enlucidos naturales que forman el reino vegetal ó el animal, siendo los de la última clase tan eficaces, que en algunos puntos recubren completamente y con bastante espesor de una capa de carbonato de cal, piedras y hormigones, y por lo tanto, éstos y aquéllas tienen protegida su superficie de la acción química y de la mecánica de las aguas del mar, estando siempre las construcciones en perfecto estado de conservación. Pero de ningún modo es prudente fiar la resistencia de una obra hidráulica á estos auxiliares naturales, y por lo tanto, debe exigirse siempre que el mortero no se descomponga.

Se habrá observado que para colocar las pruebas, hemos dicho que ha de emplearse una placa de mármol ó de metal; esta advertencia tiene por objeto evitar que los moldes se pongan sobre superficies absorbentes, porque si bien entonces las resistencias obtenidas son mucho mayores, resulta que dependen por una parte de la mayor ó menor absorción que se verifique en la placa, y por otra de la cantidad de agua empleada, que ya no puede dosificarse por el procedimiento que se ha indicado y que exige una práctica y tinos especiales, haciendo depender los resultados más de la habilidad del experimentador, que de la calidad del cemento. Por lo tanto, se desechará en absoluto el procedimiento de poner las pruebas sobre placas de yeso, y cuando en prospectos ó anuncios se vean citadas resistencias extraordinarias, desde luego puede sospecharse que los experimentos se han hecho de este modo.

Indicaremos las grandes diferencias que se obtienen para que puedan apreciarse ciertos anuncios en los cuales, tal vez de intento, se calla el método usado para hacer las pruebas, que por lo demás aparecen autorizadas por la firma de algún ingeniero de fama, ó de alguna Escuela ó laboratorio oficial.

Pruebas de cinco centímetros cuadrados de sección.

	Sobre yeso.	Sobre mármol.
Resistencia por centímetro cuadrado á los siete días.	60 kilog.	36 kilog.
Ídem id. id. á los 28 id.	70 »	50 »

Tampoco puede aceptarse en la práctica un procedimiento que algunos

preconizan para conseguir en pocos días los mismos resultados que al cabo de un año. Consiste en hacer las pruebas con cemento cernido á través del tamiz de 5.000 mallas por centímetro cuadrado, y sumergirlas en agua que se tiene hirviendo durante veinticuatro horas, cuarenta y ocho horas y siete días; las resistencias, dicen los partidarios del método, al cabo de estos períodos de tiempo, deben ser las mismas que las que se obtendrían con pruebas sumergidas en agua á 15° al cabo de siete días, de 28 y de un año. No hay para qué insistir sobre lo falso de la afirmación, que parte en primer término del supuesto, inexacto, de que solo son activos los granos finos que pasan á través del cedazo de 5.000 mallas, y que además supone que la temperatura del agua produce en el endurecimiento esa aceleración proporcional que no han podido comprobar en la práctica los ensayos hechos por los experimentadores más expertos é imparciales.

Cuanto mayor sea el número de pruebas que se lleven hechas y más se atiende á manipular las pastas, más uniformes serán los resultados; pero en ningún caso puede pretenderse que aun en los ejemplares hechos con el mayor esmero y cuidado, las resistencias sean próximamente iguales, es decir, que no se aparten entre sí más de un 10 ó 12 por 100. Por eso es tan esencial hacer varios ejemplares, que no deben bajar de cinco para cada serie, y que si hay moldes suficientes deben elevarse hasta diez, á fin de tomar los términos medios y compensar en lo posible las desigualdades de la manipulación. Aun suponiendo las pastas idénticas, lo cual no sucede, resulta que al echarlas en los moldes, éstos quedan mejor ó peor llenos, y con mayor ó menor número de burbujas de aire, como se comprueba mirando con una lente de aumento la fractura.

Como á la mayor comprensión de la pasta y á su mayor homogeneidad debe corresponder mayor peso, durante bastante tiempo, se pesaron los ejemplares antes de romperlos para tratar de hallar una relación entre el peso y la resistencia; pero después hubimos de abandonar este método, porque no influye tanto en esta última, la mayor ó menor cantidad de materia, como el modo de estar ésta, sobre todo en la sección de rotura; claro es que tratándose de pruebas hechas con esmero en moldes iguales, las diferencias eran de pocos gramos, pero no se encontró relación entre los pesos y las resistencias.

Resulta de nuestra experiencia, de acuerdo con la de otros experimentadores, que el cuidado de la manipulación y el número de ejemplares que se rompan en cada serie, son los únicos factores dignos de confianza para obtener resultados aceptables. Con alguna práctica, no difícil de adquirir, se llega pronto á preparar buenos ejemplares, y como hemos dicho, la prueba de resistencia es á la que se debe dar más importancia para determinar el valor de un cemento como material de construcción.

Grietas después del fraguado.—Es condición indispensable en todo cemento que no se formen grietas después de fraguado, y para comprobar si la cumple, se prepara una parte igual á la que se emplea para llenar los moldes de las pruebas por resistencia, y con ella se hacen una especie de panes de 0^m,08 á 0^m,10 de diámetro, y de 0^m,02 á 0^m,03 de espesor en la parte central, pero de modo que este grueso vaya disminuyendo hacia los bordes, que se dejarán tan delgados como sea posible.

Estas pruebas deben hacerse sobre placas de vidrio, y sumergirse inmediatamente en un depósito con agua á temperatura comprendida entre 14° y 18°, donde se dejan hasta que termine el periodo de las últimas pruebas de resistencia, y entonces se sacan y se observa cuidadosamente si presentan en la superficie grietas que denoten contracción apreciable en la masa. En caso negativo, el cemento es bueno bajo este concepto; en caso afirmativo debe desecharse, aunque las pruebas de resistencia hubieran sido satisfactorias, lo cual por otra parte no acontecerá con cementos que se contraigan y agrieten, porque es casi imposible que los morteros con ellos formados ofrezcan la cohesión necesaria para resistir las cargas que hemos dicho deben soportar en la mezcla de uno de cemento por tres de arena.

II.

Del resumen que se ha hecho de las principales condiciones que deben tener los buenos cementos y del modo de comprobarlos en la práctica, resulta, que solo la composición química requiere operaciones delicadas y un laboratorio de que no se dispone generalmente en el servicio de Obras públicas. Por eso dijimos al tratar de esa condición, que en los pliegos no debía exigirse un análisis cuantitativo detallado, sino únicamente que la dosis de ciertos elementos cuya presencia es muy peligrosa, no fuera elevada; en tal caso se encuentra el ácido sulfúrico cuando está en mayor dosis de 1 por 100 y los sulfuros en proporción dosificable, y debe añadirse la magnesia en vista de los desastres ocurridos con el empleo de un cemento magnesiano de la fábrica instalada en Camphon (Loire Inferieure).

Este producto habia sido admitido en las obras públicas de Francia para puentes, esclusas y demás obras hidráulicas en agua dulce y para muelles en la parte situada sobre el nivel de pleamar. La circular de la Administración en que se autorizaba su empleo, fundaba su resolución en experimentos hechos en el puerto de Saint-Nazaire y en los análisis practicados en el laboratorio de la Escuela de Ponts et Chaussées. En realidad, éstos habian siempre denunciado la presencia de una cantidad alarmante de magnesia, que llamó la atención del Ingeniero Director del laboratorio, por lo cual indicó que era un producto que sólo debía emplearse

con grandes precauciones y después que la práctica hubiese demostrado que su uso no ofrecía peligro. La Administración no creyó necesario tener en cuenta tan prudentes indicaciones, y autorizó su empleo, que ha dado por resultado la ruina de tres puentes en la línea de Questembert á Ploërmel, así como otra serie de considerables desperfectos en edificios públicos y particulares donde se empleó. De la nota que sobre los cementos magnesianos publicaron en los *Annales de Ponts et Chaussées* los Ingenieros Durand, Claye y Debray, resulta que los productos de esta clase sólo pueden usarse donde estén enteramente á cubierto de la humedad, pues de lo contrario, con la acción del agua ó del vapor contenido en el aire se dilatan, hasta el punto de producir la ruina de las fábricas. Y como las obras no es posible que estén á cubierto del aire húmedo, resulta, que ni aun en construcciones que no se hallen expuestas á la acción directa del agua debe permitirse el empleo de mortero hecho con cementos magnesianos.

Por fortuna, es muy fácil reconocer la presencia de la magnesia en un cemento sin necesidad de análisis. Basta para esto echar la pasta dentro de un tubo de vidrio y sumergirla después de fraguada. Un dos por ciento de magnesia bastará, generalmente, para que el tubo se rompa por la dilatación del cemento al cabo de dos meses ó antes. La causa es la siguiente: si las rocas que han servido para hacer el cemento contienen magnesia en bastante dosis, durante la calcinación no se combina completamente con los elementos silíceos, y al contacto con el agua esta magnesia calcinada se hidrata con lentitud; el tiempo que tarda varía según la temperatura de la calcinación. La hidratación va acompañada de un aumento de volumen que produce la descomposición de los morteros en un plazo que varía, pero siempre inevitable, si llegan á estar en contacto con el agua ó con el aire húmedo.

También el ácido sulfúrico es un elemento cuya presencia presenta los mayores peligros, porque da lugar á la formación del sulfato de cal. Este puede existir en los cementos por dos causas, ya por haber sido incorporado fraudulentamente, ya por hallarse el ácido sulfúrico en las primeras materias que sirvieron para la fabricación. En el primer caso fragua antes que el mortero, de modo que al poner éste en obra está ya formado un producto soluble en el agua, y por lo tanto, desaparece en contacto con ella, dejando vacíos en la masa, que se hace así permeable, con lo cual el mortero queda en las peores condiciones para resistir. En el segundo caso, el sulfato de cal ha estado sometido á una temperatura elevada, que modifica sus propiedades hasta el punto de hacerla casi insoluble en el agua, no fraguando tampoco en contacto con ella; por consiguiente, queda en los morteros como materia inerte al principio, y al cabo de más ó menos tiempo, que depende de la temperatura de calcinación, comienza á hidratarse len-

tamente, y el aumento de volumen que acompaña á esta acción química puede llegar á desagregar el mortero. Resulta que, en ambos casos, la descomposición del mortero es casi segura, sobre todo si se emplea con agua del mar, siendo esencial para las obras de puertos exigir cementos en que la cantidad de ácido sulfúrico ó los sulfuros, si existen, estén en proporciones insignificantes para que sus efectos también lo sean.

El ácido sulfúrico contenido en un cemento, no puede determinarse más que por medio del análisis químico, que por fortuna no presenta dificultades grandes, ni exige la maestría que requiere la dosificación de la sílice, por ejemplo. Los cementos contienen algo de azufre en el estado de sulfuro de calcio ó de hierro, y aun más generalmente en el de sulfato de cal. Si se quiere dosificar el ácido sulfúrico, basta tomar cinco gramos de cemento y dejarlo en digestión durante veinticuatro horas en una disolución de carbonato de amoníaco, teniendo cuidado de agitarlo con frecuencia, sobre todo al principio. El sulfato de cal se descompone, formándose carbonato de cal y sulfato de amoníaco. Se filtra y se trata el líquido filtrado por el ácido clorhídrico, añadiendo después cloruro de bario, que hace precipitarse el ácido sulfúrico en el estado de sulfato de barita; éste se recoge en un filtro, se seca y se pesa. Por el cálculo se deduce el peso del ácido sulfúrico correspondiente.

No se debe filtrar inmediatamente, sino dejar que el sulfato de barita se precipite por completo y el líquido quede claro. Se puede activar la operación haciendo hervir la disolución; pero es preferible calentar moderadamente en baño de arena y esperar durante algunas horas á que se haya producido en el fondo de la cápsula un precipitado granugiento, y el líquido que lo cubre esté perfectamente claro.

En algunos pliegos de condiciones se declara *sospechoso* el cemento que contiene más de un 4 por 100 de óxido de hierro; pero considerando que su presencia no tiene los inconvenientes del ácido sulfúrico y la magnesia, y que hemos partido del supuesto de que en la práctica no hay medios para hacer un análisis químico completo, puede en realidad prescindirse de esta condición, tanto más cuanto que no es frecuente que el óxido de hierro exista, en la proporción arriba dicha, en la mayor parte de los cementos.

De todos modos, la regularidad en la composición es circunstancia indispensable en todo buen cemento, y la tienen los llamados de Portland, de fábricas acreditadas. Cuando se emplee por vez primera un producto, si no es de una marca bien conocida y cuyo cemento haya servido para obras que una larga fecha demuestre que han resistido bien, debe siempre hacerse que preceda á su uso el análisis cuantitativo completo, practicado por personas de reconocida pericia en este género de operaciones.

Un buen cemento de Portland debe tener una composición comprendida entre los límites siguientes:

Cal.	de.	67 á 58	por 100
Sílice.	»	20 á 26	
Alúmina.	»	5 á 10	
Oxido de hierro.	»	2 á 4	
Magnesia.	»	0,50 á 2	
Acido sulfúrico.	»	0,50 á 1	
Potasa.	»	0,50 á 1	
Sosa.	»	0,50 á 0,60	

Además, si el análisis se hace algún tiempo después de fabricado, se halla una cantidad variable de ácido carbónico, que no debe pasar de 2 por 100, y agua, que tampoco debe llegar á esa cifra, pues en caso contrario denotan que el cemento ha estado en paraje húmedo y mal embalado.

Debe tenerse en cuenta que en casi todas las fábricas se añade al cemento una pequeña cantidad de ceniza, lo cual no tiene inconveniente si el combustible es bueno, porque entonces las cenizas contienen gran cantidad de sílice y alúmina, bastante óxido de hierro, cal y algo de magnesia y ácido sulfúrico, y obran como una excelente puzolona; pero si la dosis de óxido de hierro ó de magnesia y de sulfato de cal son considerables, aunque la ceniza entre en poca cantidad, puede perjudicar notablemente la calidad del cemento.

Para formar idea de la gran influencia que puede tener la clase de ceniza que se mezcla con el cemento, bastará dar á conocer los elementos de una procedente de carbón bueno y otra de cok mediano:

	Ceniza de carbón bueno.	Ceniza de cok mediano.
Sílice.	40,10	29,20
Alúmina.	42,80	19,63
Oxido de hierro.	4,70	14,37
Cal.	8,10	10,64
Magnesia.	0,90	2,70
Acido sulfúrico.	1,23	13,72
Manganeso.	»	3,50
Pérdida al fuego.	2,17	4,10
Materias no dosificadas.	»	2,14
	100,00	100,00

Si el análisis de un cemento hace descubrir en cantidad excesiva alguno de los elementos que hemos llamado peligrosos, desde luego se debe desecharlo, porque proviene de primeras materias mal dosificadas ó tiene un exceso de cenizas de mala calidad.

Si un cemento ha estado almacenado en un sitio húmedo ó es muy viejo, puede comprobarse fácilmente por medio de un ensayo fácil, que permite hallar la cantidad de agua y ácido carbónico que ha absorbido;

en realidad, también entran en el resultado las materias orgánicas, pero éstas se hallan siempre en tan pequeñas dosis, que puede sin inconveniente prescindirse de ellas.

Para hacer la operación basta colocar de dos á cinco gramos de cemento en una cápsula de porcelana ó de platino, y someterlo á una alta temperatura en un horno de mufla. Cuando la operación está terminada se pesan de nuevo la cápsula y el residuo en ella contenido, y la diferencia dá lo que se llama pérdida á fuego, que viene á ser el ácido carbónico y agua que contenía el cemento. Siempre que llegue á 3 por 100 la suma de ambos elementos, puede asegurarse que la conservación ha sido mala ó el cemento es viejo, y en ambos casos ha perdido bastante de su primitiva energía.

Una de las falsificaciones más comunes consiste en añadir al cemento polvo de escorias de los altos hornos ó de las formadas en los hornos de calcinación, cuando el fuego no se ha graduado de un modo conveniente; es fácil conocer si existe este fraude, porque tratados los cementos de esta clase por el ácido clorhídrico, se desprenden vapores de hidrógeno sulfurado.

Las indicaciones anteriores bastan para saber en qué casos hay que recurrir á un análisis completo y cuándo es suficiente alguno de los ensayos que pueden hacerse sin tener un laboratorio, ni exigir práctica y pericia especiales. En general, la composición de todos los cementos llamados de Portland de fábricas acreditadas, es muy regular y conocida, pues tienen buen cuidado de hacer analizar sus productos y conservar la uniformidad que es base de su crédito. La dosificación resulta también más fácil en los cementos artificiales, pues partiendo de primeras materias de composición bien conocida, y determinada de una vez para siempre la cantidad que de cada una de ellas debe entrar, es cuestión de un poco de esmero conseguir igualdad en las pastas que calcinadas producen el cemento. En los naturales ya esto tiene mayores dificultades, porque cualquiera que sea el género de precauciones que se tomen, es imposible anular del todo la irregularidad de composición de los bancos, que siempre existe aun en las calizas más uniformes. Por esta razón sería muy conveniente que nuestros cementos de Zumaya se hiciesen por el procedimiento de los artificiales de fraguado lento ó de fraguado rápido, según el uso á que se destinasen. Con esto y tener más esmero en la calcinación y en el molido, podrían obtenerse productos de calidad superior, puesto que hemos visto que bajo el punto de vista de la resistencia y de su inalterabilidad, son mejores que los cementos naturales franceses, á pesar de la defectuosa fabricación de los nuestros.

(Se continuará.)

FERNANDO GARCÍA ARENAL,
Ingeniero de Caminos.

MADRID: 1887.

ESTABLECIMIENTO TIPOGRÁFICO DE GREGORIO JUSTE.
Calle de Pizarro, número 15, bajo.