

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

MADRID, 15 DE AGOSTO DE 1887.

4.ª Serie.

Tomo 5.º

Número 15.

AÑO XXXV DE LA PUBLICACIÓN.

SUMARIO.

Condiciones que deben exigirse para la recepción de los cementos, por D. Fernando García Arenal, Ingeniero de Caminos.—Puerto de Barcelona. Estudio teórico y práctico de los bloques huecos propuestos para la construcción de los nuevos muelles, por D. Julio Valdés, Ingeniero de Caminos (continuación).—Láminas 56 y 57: *Puerto de Barcelona.*

CONDICIONES QUE DEBEN EXIGIRSE PARA LA RECEPCIÓN DE LOS CEMENTOS

(Continuación.)

Resistencia de las pruebas de cemento puro y de mortero.—De todas las pruebas á que puede someterse un cemento, la de resistencia es la que da más exacta idea de su valor como material de construcción, sobre todo operando con ejemplares hechos con mortero. Por eso en Alemania, la prueba de resistencia llamada oficial, es de mortero de uno de cemento por tres de arena, y en Suiza y en los Estados-Unidos es también la más generalizada. Si pudiese determinarse la resistencia de un mortero de un modo exacto, y si el endurecimiento siguiese una marcha normal y progresiva, esta sola prueba bastaría para conocer el valor de un cemento.

Pero estos experimentos no pueden hacerse con precisión matemática, y para que merezcan absoluta confianza es preciso prolongarlos durante varios años; hay cementos que después de haber dado resistencias considerables en los primeros meses, comienzan á desagregarse, y otros, por el contrario, al principio se endurecen muy lentamente y luego soportan cargas de rotura iguales á las de los mejores productos de este género.

A pesar de todo, las pruebas de resistencia son las más importantes para formar idea del valor de un cemento, á condición de que se hagan bien y se tengan en cuenta todas las circunstancias que pueden modificar los resultados, para no interpretar éstos de un modo empírico. Los experimentos de resistencia pueden ser de compresión, de tensión ó de torsión. Los primeros presentan la ventaja de colocar el material en condiciones análogas á las que tendrá en las obras; pero en cambio hay que emplear cubos ó cilindros de muy poca sección, porque de lo contrario se necesitan

aparatos poderosos y muy caros, y aun con ellos es punto menos que imposible obtener superficies de contacto bastante planas para que pueda suponerse la presión uniformemente repartida, viniendo en la práctica á suceder que al someter las pruebas á la prensa, se observa que empieza el aplastamiento en la proximidad de uno de los bordes y después se extiende rápidamente á toda la masa. Esto sucede aun con las pruebas de cemento puro; con las de mortero la homogeneidad es mucho más difícil de obtener, y ni con unas ni con otras hemos podido alcanzar en las pruebas de compresión el grado de exactitud que dan las otras dos mencionadas.

Las de torsión, muy extendidas en los Estados-Unidos para el hierro por el profesor Thurston, se han aplicado también á los cementos, y hemos obtenido resultados muy aceptables, de una exactitud análoga á la obtenida en las pruebas de tracción, teniendo además la ventaja de ser el aparato Thurston barato y de pronto y fácil manejo; mas no habiéndose generalizado este medio de prueba como el de tracción, sus resultados no son comparables con los muchos y muy exactos que se han hecho por el último método, y de aquí que siga siendo el preferido por cuantos se dedican al estudio de la resistencia de los cementos, ya bajo el punto de vista práctico de su empleo en las obras, ya para perfeccionar su fabricación. Por este motivo sólo entraremos en algunos detalles respecto al modo cómo deben hacerse los experimentos de resistencia por tensión. Ya hemos indicado que no puede pretenderse que al hacer las pruebas, el material esté en las mismas ni aun parecidas condiciones que ha de tener en las obras: en efecto, los ejemplares de ensayo se sumergen en agua tranquila, y no están sometidos á ningún esfuerzo hasta el momento de la prueba, mientras que en la práctica está comprimido desde el momento mismo de su empleo, unas veces sumergido constantemente, y quedando otras durante más ó menos tiempo bajo la acción del aire para volver á sufrir la del agua; recibe también la influencia de los cambios de temperatura, y si es en el mar está sometido en más ó menos grado á la acción de las olas. Por todas estas razones, las pruebas de rotura por cualquiera de los métodos citados, sólo sirven para comparar unos cementos con otros, y como ya se han hecho obras importantes con productos cuya resistencia en las pruebas es conocida, se puede hoy deducir el resultado que dará el que se ensaye con sólo saber su poder de adherencia, mediante experimentos fáciles de hacer y que no exigen ni mucho tiempo ni especial aprendizaje para llevarlos á cabo con aceptable exactitud.

Lo primero que debe determinarse es la forma y dimensiones de los ejemplares de prueba y el aparato en que se ha de verificar la rotura. En Francia y Alemania se usan generalmente moldes, que dan en la sección de rotura una superficie de 16 ó 20 centímetros cuadrados, y los ingleses adop-

tan pulgada y media de lado, que equivale á 14,44 centímetros cuadrados. Recientemente se ha comenzado á operar con moldes que sólo tienen 0^m,0225 por 0,0222, y por lo tanto, cinco centímetros cuadrados de sección. Estos últimos presentan la ventaja de necesitar menos masa para llenarlos, y tratándose de pruebas de cemento puro, se tiene más facilidad para manipular de una vez toda la cantidad necesaria para cinco ejemplares. Además, como la superficie de rotura es mucho menor, los aparatos necesitan menos fuerza, son más baratos y los experimentos se hacen más deprisa. Por todas estas razones es probable que sea sustituida la sección de 5 centímetros cuadrados á la actual de 16 usada en Francia, y que los ingleses generalicen la de una pulgada de lado, que equivale á 6,451 centímetros cuadrados.

Mas lo que debe tenerse muy en cuenta es que la resistencia por centímetro cuadrado de un mismo cemento, es mayor cuanto menor sea la sección de rotura, al menos entre ciertos límites, y por lo tanto, al comparar las pruebas es preciso saber con qué tamaño de moldes se ha operado; hasta el presente no existen datos para determinar cuál es la relación que hay entre los resultados que se obtienen con un mismo cemento en pruebas de cinco centímetros cuadrados y de 16, por ejemplo.

Las curvas de resistencia que acompañan á este trabajo todas están hechas conforme á datos obtenidos con pruebas de 14,44 centímetros cuadrados de sección.

Para romper los ejemplares, los mejores aparatos son los de romana, bien de palanca sencilla ó doble, en los cuales se emplee como peso el agua que cae en un depósito graduado, y por medio de una disposición muy sencilla se cierra el grifo de salida, en el momento de la rotura, con lo cual queda perfectamente marcada la cantidad de agua que ha producido ésta.

Aunque no es de tanta exactitud, puede prestar servicios útiles en las obras el aparato de Michele, que está reducido á un peso que se levanta por medio de un tornillo sin fin y de una rueda dentada, ejerciéndose el esfuerzo á través de la prueba; su uso es expedito y los resultados son bastante aceptables cuando no se necesita una gran precisión.

Sería sin embargo de desear que se estableciese completa uniformidad, tanto en la sección de los moldes como en los aparatos de rotura, porque de este modo serían comparables los resultados obtenidos.

La preparación de las pruebas requiere cierta uniformidad, que sólo puede obtenerse con las precauciones siguientes:

Se pesa la cantidad de cemento necesaria para hacer cinco ó diez pruebas, según que se empleen moldes de 16 centímetros cuadrados ó de 5 centímetros cuadrados. En el primer caso se ponen dos kilogramos de cemento puro y en el segundo 1^k,50; se añade de una vez la cantidad de agua

indispensable para hacer una pasta firme y perfectamente homogénea. La cantidad de agua ya hemos dicho que varía para cada cemento, según el grado de molido y otras circunstancias; así es que debe determinarse por un ensayo previo, que se hará tomando un kilo de cemento y amasándolo durante cinco minutos sobre una placa de mármol ó de metal, hasta obtener una pasta homogénea de las condiciones siguientes: 1.^a Que no cambie de consistencia aunque se prolongue el amasado tres minutos sobre los cinco dichos. 2.^a Que tomando una pequeña cantidad en la paleta, se desprenda sin adherirse y conserve la forma sin más que aplastarse ligeramente, pero sin agrietarse después de caer de 0^m,50 de altura. 3.^a Que si se añade 1 á 2 por 100 más de agua, la pasta que era firme y trabada se haga semifluida, y si se disminuye en la misma proporción resulte seca y poco ligada, resquebrajándose al caer de la paleta desde la altura marcada. Aunque parezca demasiado minucioso el procedimiento, es de absoluta necesidad emplearlo, si se quiere que todas las pruebas resulten dosificadas del mismo modo, pues de lo contrario se empleará agua en exceso ó por defecto, sin que en uno ni otro caso se sepa á punto fijo en qué proporción. Pueden hacerse pruebas con menor cantidad de agua de la fijada por el método anterior y las resistencias serán mayores, pero la manipulación es muy difícil, las resistencias dependen en gran parte de la mayor ó menor habilidad con que esté hecha, y el resultado sería aparecer como superior, no el cemento que realmente lo fuese, sino el mejor amasado. Con cementos de fraguado lento pueden hacerse de una vez diez pruebas de cinco centímetros cuadrados y cinco de 16 centímetros cuadrados; con los de fraguado rápido no debe manipularse, de una vez, más que la cantidad necesaria para cinco pruebas de cinco centímetros cuadrados y dos de 16 centímetros cuadrados, reduciendo el tiempo total de la operación, incluso poner la pasta en los moldes, de tres á cinco minutos, y empleando siempre un poco más de agua.

Cuando el cemento empieza á endurecerse antes de treinta minutos no conviene amasar más que 700 gramos para llenar cinco moldes de cinco centímetros cuadrados de sección ó 1.000 gramos para dos de 16 centímetros cuadrados. Después de determinada la cantidad de agua, como acaba de indicarse, se colocan los moldes de dos en dos sobre placas de mármol ó de metal, poniendo debajo una hoja de papel mojado para impedir la adherencia, y humedeciendo la parte interior de los moldes con agua de jabón.

Los moldes pueden hacerse de fundición de hierro; pero es mejor que sean de bronce, porque se oxida menos y se evita más fácilmente la adherencia del cemento; además, los de hierro es preciso limpiarlos con papel de esmeril, y acaban por desgastarse y aumenta la sección de rotura. Después de hecha la pasta se llenan los moldes con exceso, de dos en dos,

y se comprime ligeramente la masa con la paleta, de modo que los llene exactamente; luego se pasa varias veces por cima la paleta, y por último se quita el sobrante, se sacuden un poco para que salga el aire, y cuando ya no aparecen más burbujas en la superficie, se alisa de nuevo, procurando que la temperatura del sitio en que se opera no se aparte mucho de 15° y dejando luego el cemento en los moldes doce horas. El tiempo empleado en amasar y llenar los moldes no debe pasar de quince minutos cuando se opera con cementos de fraguado lento, y de cinco minutos con los de fraguado rápido. Al cabo de veinticuatro horas se sumergen los ejemplares en agua dulce ó del mar, según el objeto de los experimentos, teniendo cuidado de renovarla todas las semanas. Los ejemplares deben numerarse, y luego se van rompiendo á los plazos que se hayan fijado. Para cada período deben prepararse *al menos* cinco ejemplares, hechos al mismo tiempo y del mismo modo, á fin de tomar como resistencia el término medio de todos ellos.

Las pruebas de mortero son las que tienen más importancia para conocer el valor de un cemento, y en Alemania y Suiza casi no se hacen otras, pero ya sean únicas, ya se combinen con las de cemento puro, es preciso fijar de un modo claro cuáles han de ser las condiciones del mortero. Sobre todo, hay que escoger arena silicea enteramente pura y á ser posible de grano áspero; el cuarzo machacado es el que da mayor resistencia. En Alemania hay una arena, facilitada por la Administración, que se vende para hacer esta clase de experimentos. Lo que no debe emplearse en ningún caso es arena arcillosa. Para que tengan los granos el grueso normal, se echa en un cedazo de 60 mallas por centímetro cuadrado; el residuo que queda en el tamiz se tira y la parte que ha pasado se vuelve á cerner por el de 120 mallas por centímetro cuadrado, y queda en este cedazo la arena que se ha de emplear en las pruebas. Después del cernido la arena debe lavarse y secarse.

Los experimentos con mortero se hacen casi exclusivamente con uno de cemento por tres de arena, ambas materias tomadas en peso; la cantidad de agua necesaria varía entre 10 y 12 por 100 del total de cemento y arena empleados. Los moldes se preparan como se ha dicho anteriormente; se hace la manipulación, y cuando están bien incorporados los tres elementos, la masa debe presentar el aspecto de tierra franca recientemente removida. Se llenan los moldes con un exceso de tres á cuatro centímetros, y se golpea ligeramente con la paleta hasta que el mortero tome bien la forma del molde y lo llene enteramente; después se golpea con más fuerza hasta que el agua empiece á resudar en la superficie; entonces se quita el exceso de mortero y se alisa. Esta operación debe hacerse en dos minutos. Si después de haber golpeado diez ó doce veces el mortero no resuda, es señal

de que está algo escaso de agua; por el contrario, si ésta sube á la superficie á los primeros golpes, hay exceso; una diferencia de 1 por 100, en más ó en menos, basta á veces para que se produzcan bien marcados los efectos que se indican, y que pueden servir de regla segura para obtener en la práctica morteros uniformes y con la cantidad de agua estrictamente necesaria. Á las veinticuatro horas de hechas las pruebas se sumergen, y después se hacen los experimentos de rotura en series que, generalmente, empiezan á los siete días y continúan por lo menos hasta los veintiocho, prolongándose á veces de tres en tres meses, con intervalos que se fijarán según el objeto de los experimentos; en las obras no se hacen por lo regular más que las pruebas de siete y veintiocho días, y muchas veces esta última solamente.

Las resistencias que se deben exigir para los ensayos de cemento puro, varían naturalmente, con el tiempo que lleven hechas las pruebas y la clase de cemento; para los de fraguado lento se deben señalar los plazos de siete días, veintiocho, y si se quiere más seguridad, noventa. Con buenos cementos se obtienen á los siete días 20 ó 30 kilos por centímetro cuadrado; á los veintiocho días, de 25 á 40 kilos por centímetro cuadrado, y á los noventa, de 35 á 50 kilos por centímetro cuadrado. Estas resistencias se han obtenido con pruebas de 14,44 centímetros cuadrados y cementos del comercio de las mejores marcas alemanas é inglesas.

Con cemento natural de Zumaya las cargas de rotura han sido menores y además mucho más irregulares, pues de unas á otras partidas hay diferencias como las siguientes: á siete días, 6 kilos por centímetro cuadrado en unas y 20 en otras. Las curvas de resistencia de la figura 1.ª, lámina 66, comprenden dos series de experimentos con cementos de Portland y otras dos con Zumaya; de éstas se han escogido dos partidas de las que han dado resultados más uniformes: la primera tiene mayores resistencias al principio y la segunda va ganando lentamente hasta superar á la otra al cabo de un año, para seguir después un poco inferior á la primera. Las curvas del cemento de Portland indican la superioridad de este producto en este como en otros conceptos. Debe tenerse en cuenta que nuestro *cemento natural* de Zumaya, respecto á resistencia, es muy semejante al *cemento natural* de Vassy, aunque mejor bajo el punto de vista de su conservación en el agua del mar. Los *cementos artificiales* de fraguado rápido ofrecen una resistencia á la tracción mayor que los de fraguado lento en el primer mes; pero á medida que el tiempo aumenta, éstos superan á los otros.

Las resistencias en los dos primeros meses están sujetas á oscilaciones mayores ó menores, pero siempre grandes, que no permiten determinar con exactitud la ulterior del cemento; después las alternativas son menores,

pero no por eso cesan en absoluto, observándose tanto más claramente cuanto menor es el intervalo elegido para las diversas series de pruebas.

La línea del cemento número 1 de Portland da bien clara idea de este fenómeno; así se ve que después del primer mes cesan las oscilaciones y sigue aumentando la resistencia hasta el año; luego decrece á los dos y tres años, sin que hasta la fecha se hayan roto pruebas de más tiempo en esta serie. En cambio, en la línea núm. 2, que se ha determinado con pruebas de periodos más cortos, presenta más oscilaciones, tanto en los primeros meses como después del año, observándose que si desde esta fecha se hubiesen roto las pruebas sólo de doce en doce meses, como en el cemento que representa la línea núm. 1, no se habrían notado las alternativas que ponen de manifiesto las pruebas trimestrales; para que aparezca más claro lo dicho, se ha trazado de puntos la línea de resistencia que habría resultado por periodos anuales. Se observa también que el cemento núm. 2 va ganando en resistencia á la última fecha de los experimentos. Las líneas núm. 3 y 4 representan los resultados de las pruebas de resistencia hechas con cementos naturales de Zumaya, que si bien al principio dan cargas de rotura relativamente pequeñas, no dejan de presentar á los tres años resistencias bastante grandes y superiores á lo que era de esperar de las pruebas de siete días y de un mes, por ejemplo, que son muy flojas tratándose de cemento de fraguado rápido, que al último plazo citado debiera haber adquirido casi el máximum de cohesión. Este mismo fenómeno se observa con las pruebas de mortero; de modo que el cemento de Zumaya, si estuviera mejor molido y no viniese mezclado con tan gran cantidad de ceniza y de partículas imperfectamente calcinadas, sería susceptible de dar muy buenos resultados.

Las resistencias que deben exigirse á un mortero de cemento, generalmente se refieren siempre á la proporción de 1×3 . En Alemania no hay otra prueba, y en el pliego oficial aprobado por el Ministerio de Comercio, Industria y Obras públicas de Prusia en 10 de Noviembre de 1878, se exigen 10 kilos por centímetro cuadrado á los 28 días con ejemplares de cinco centímetros cuadrados de sección. Parece que muy pronto esta cifra va á ser aumentada hasta 16 kilos, porque en efecto con la arena tipo, que se usa en Alemania y pruebas de la sección indicada, es poca resistencia la pedida.

En Suiza se exigen 15 kilos para mortero de las condiciones arriba dichas. Los ingleses pocas veces ponen en sus pliegos las pruebas de mortero, por más que estén reconocidas como las más dignas de fe. En el pliego de condiciones, ya citado, de los puertos de Boulogne y Calais, se exige para el mortero de 1×3 con pruebas de cinco centímetros cuadrados, ocho kilos á los siete días, 15 kilos á los 28 y 18 kilos á los 84.

Las líneas de resistencia de las figuras 2.^a y 3.^a de la lámina 66, representan algunos de los resultados obtenidos en una larga serie de experimentos que venimos haciendo para comparar el cemento natural de Zumaya con los de Portland. En este estudio, que tiene carácter práctico, es preciso determinar qué clase de arena de las disponibles en Gijón da mejores resultados, y por lo tanto, las pruebas de mortero se han hecho con las dos que hay disponibles en las playas próximas del Arbeyal y de San Lorenzo; la primera es sílicea, bastante pura, pero de grano redondo, como que proviene del desgaste de la cuarcita del cabo de Torres; el tamaño de los granos varía bastante; lo más fino se aproxima mucho al grueso de la arena, tipo usado en Alemania, y de esta clase es la escogida para nuestros experimentos, pero siempre le falta la condición de ser áspera, y por tanto, las resistencias obtenidas tienen que ser menores, que si se hubiera empleado cuarzo machado ó arena sílicea de mina de aristas vivas. La de San Lorenzo es de grano fino y contiene gran cantidad de caliza, que varía de unos puntos á otros de la playa, y que oscila entre 30 y 40 por 100.

Las líneas de resistencia del mortero de 1×3 se han obtenido con pruebas hechas con arena del Arbeyal y los de 1×1 corresponden á la de San Lorenzo, insertándose las de esta proporción, porque es muy usada en los pliegos de condiciones de obras hidráulicas hechas con cemento de Zumaya. En las líneas del Portland de 1×1 y de 1×3 se notan muy pocas alternativas después de los dos primeros meses, y aparte de un ligero descenso á los dos años, el endurecimiento es progresivo y proporcional al tiempo. En el cemento de Zumaya de 1×1 vemos que hay de la línea número 2 á la núm. 3 gran divergencia á partir de los dos años, habiendo continuado el aumento de resistencia del cemento que representa la última y disminuido de un modo notable en el núm. 2. Debemos advertir que estas anomalías ó alternativas, aun después de períodos de tiempos largos, no son una cosa rara y anormal en el cemento de Zumaya y se observan en los procedentes de la misma fábrica, pero correspondiendo á distintas partidas, lo cual indudablemente es debido, de una parte, á lo difícil que es obtener un cemento de calidad uniforme con calizas naturales, pues por muy homogéneas que sean las canteras, de unos bancos á otros siempre hay ligeras diferencias, y á esto agréguese el poco esmero en la fabricación.

La líneas de resistencia del mortero de 1×3 dan para el cemento de Zumaya resultados muy aceptables, y aunque la carga de rotura disminuye un poco á los tres años respecto de la obtenida á los dos, la depreciación tiene poca importancia y puede que no continúe en años sucesivos.

Todas las pruebas que han servido para trazar estas líneas de resis-

cia están hechas en moldes de 14,44 centímetros cuadrados; si se hubieran empleado de cinco centímetros cuadrados de sección y la arena fuese del tipo normal, las cargas de rotura habrían sido mayores. El agua empleada ha sido siempre la del mar, lo cual da algún aumento en la resistencia, sobre todo después del primer mes, salvo con aquellos cementos que no resisten su acción química. Es sabido que teóricamente no hay mortero que pueda resistir en el agua del mar si ésta atraviesa toda la masa y á través de ella se renueva; pero este no es el caso de las pruebas que están sumergidas en agua tranquila, y que hechas con cuidado presentan una masa bastante compacta para que sea muy difícilmente penetrada por el agua, aun cuando no se haya formado una capa protectora de carbonato de cal. En algunos casos, sin embargo, si la arena no es buena, pueden ocurrir averías graves aun empleando los mejores cementos. En toda la ya larga serie de pruebas, pues pasan de 14.000 los ejemplares rotos durante siete años, no hemos observado más que un caso de descomposición, que no puede atribuirse al cemento: 1.º Porque los morteros hechos con este mismo producto y con otra arena no han sufrido alteración ninguna. 2.º Porque se trata de un cemento de Portland alemán, de la mejor fábrica de Stetting, pedido directamente y de cuya autenticidad no puede dudarse, y que tiene con razón merecida fama de ser uno de los mejores del mundo. 3.º Porque las pruebas atacadas químicamente, sólo han sido las que tenían una fuerte proporción de arena; pues aun con la de esta misma clase, cuando entraba solo en cantidad de 1×1 ó 1×2 el mortero ha resistido; pero en la de 1×3 al cabo de dos años empezaba á descomponerse en la superficie primero y más al interior después, hasta que á los tres años todo el ejemplar se había convertido en una masa terrosa, lo cual demuestra que en esta proporción el mortero no era bastante compacto para no dejarse penetrar por el agua del mar. 4.º Porque sillares de hormigón de un metro cúbico hechos con mortero en proporción de 1×3 y 1×4 de otra arena y con el mismo cemento, no han presentado la menor señal de descomposición, á pesar de estar situados en las condiciones más desventajosas, puesto que alternativamente se hallan sometidos á la acción del aire y del sol y á la del agua del mar.

FERNANDO GARCÍA ARENAL.

Ingeniero de Caminos.
