

REVISTA DE OBRAS PUBLICAS

PUBLICACIÓN TÉCNICA 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.

PROGRESOS EN LOS MÉTODOS DE ENSAYO DE LOS AGLOMERANTES HIDRAULICOS ⁽¹⁾

En el Congreso IV celebrado por la Asociación Internacional el año 1906, en Bruselas, la Comisión núm. 22 presentó y logró la aceptación de las conclusiones correspondientes al trabajo por ella realizado desde su creación, que comprende el estudio de los métodos uniformes para el ensayo de los materiales á que se limita su esfera de acción.

Ahora bien; como todo asunto que ha de obtener acuerdo internacional ha de vencer muchas dificultades antes de llegar á su término, la Comisión sólo ha podido recomendar oficialmente algunos procedimientos ya sancionados por la experiencia, hecho que constituye una solución provisional, íntimamente ligada con toda idea de progreso.

En la presente Nota se consideran, por lo que se refiere á los aglomerantes hidráulicos, los procedimientos que se pueden añadir ó que pueden sustituir con ventaja á los propuestos por la Comisión, bien porque se hayan ideado con posterioridad á los trabajos de esta última, ó porque entonces carecieran de valor suficiente para recibir la sanción de la Asociación.

En vista de la extensión tan limitada que ha de tener esta Nota, se concretará su objeto al examen de los principios fundamentales de los métodos, prescindiendo de los detalles inherentes á la ejecución de los ensayos.

Composición química.

Hasta hoy día, la Asociación Internacional no se había ocupado de los métodos de análisis química aplicables á los aglomerantes hidráulicos, siendo muy probable que no haya acuerdo perfecto sobre la oportunidad de intervenir en una cuestión que más bien pertenece á la química pura que á la técnica. Sin embargo, las condiciones de recepción de aquellos productos comprenden casi siempre alguna cláusula relativa á su composición química, sucediendo con frecuencia que surgen dificultades por la falta de conformidad entre los resultados de los análisis hechos en distintos laboratorios. Por lo tanto, la Asociación ha de pen-

sar si sería conveniente que estudiara y propusiera un método normal de análisis química aplicable á las calces, cementos y demás productos similares; en todos aquellos casos en que hubiera dudas y discusiones, sin excluir los demás procedimientos que cada operador juzgue más apropiados para el objeto de sus investigaciones, ya se trate de la determinación de elementos que excepcionalmente se encuentran en los cementos de análisis de mucha precisión, ó por el contrario, de dosificaciones rápidas y más ó menos aproximadas.

En los Estados Unidos se ha adoptado ya esta última idea, habiéndose redactado un método de análisis química uniforme para las primeras materias y para los productos fabricados de la industria de los aglomerantes hidráulicos.

También sería muy conveniente, sin duda alguna, que la Asociación considerara si sería oportuno que propusiera métodos normales para ciertos ensayos químicos que tienen un carácter convencional, como es, entre otros, el relativo á la dosis de la sílice soluble, cuyo resultado depende en gran escala de las condiciones en que se haga la disolución.

Casi siempre es posible determinar con exactitud la composición química elemental de un producto hidráulico, y con mayor ó menor aproximación los cuerpos compuestos que le constituyen, sin que de aquélla ni de éstos se deduzcan nada más que indicaciones sobre las propiedades de dicho producto.

Peso específico.

El peso específico es una cualidad perfectamente definida cuya medida se puede hacer con toda exactitud por varios procedimientos, razón por la cual no es probable que se realicen progresos en este ensayo.

Sin embargo, la cuestión está aún sobre el tapete, pues se discute el valor que puede tener este peso para diferenciar entre sí los aglomerantes hidráulicos, ó para apreciar sus propiedades. También se discute si la determinación del peso específico se ha de hacer con el producto en el estado en que se recibe ó calcinado de nuevo.

Densidad aparente.

La densidad aparente es una cualidad completamente convencional, cuyo valor numérico varía con el procedimiento que se siga para determinarla.

(1) Nota presentada por Mr. R. Feret en el Congreso V de la Asociación Internacional para el Ensayo de materiales.—Copenhague, 1909.

El método adoptado por la Asociación Internacional, á propuesta de la Comisión núm. 22, permite obtener el peso del litro sin asentar, en condiciones siempre comparables, y no parece que sea susceptible de perfeccionamiento alguno.

Lo mismo que sucede con el peso específico es discutible la utilidad de este ensayo, así como el de la determinación simultánea del peso del litro asentado en condiciones perfectamente definidas.

Molido.

El empleo de cedazos para separar los elementos de dimensiones determinadas en los aglomerantes hidráulicos, revaluando los pesos relativos de cada grupo, constituye un ensayo que ha dado lugar á muchas críticas, entre las cuales las dos más importantes son: la dificultad de disponer de telas metálicas perfectamente regulares é idénticas por lo que se refiere al grueso y reparación de sus hilos á un tipo rigurosamente definido, y la imposibilidad de reparar en condiciones uniformes con telas muy tupidas las partículas sumamente pequeñas contenidas en las materias pulverulentas.

Varios experimentadores han tratado de verificar la separación metódica de éstas con ensayos de levigación, ya agitándolas en una masa líquida que se decanta con los elementos que permanecen en suspensión al cabo de un reposo de duración perfectamente definida, ó bien colocándolos en una corriente líquida ó gaseosa, de velocidad regulable, que arrastra las partículas más pequeñas y más ligeras. Variando la duración del reposo en el primer caso y las velocidades en el segundo, se puede clasificar un producto hidráulico en tantos grupos como se quiera.

No se ha encontrado hasta ahora un procedimiento suficientemente sencillo, y sobre todo susceptible de ser definido con bastante precisión para que la Asociación Internacional pueda recomendarle con el carácter de método uniforme y normal. Lo único que puede adelantarse por el momento es que la corriente de aire será preferible á la de cualquier líquido.

Esta cuestión se estudia actualmente por una Comisión especial.

Homogeneidad.

Los ensayos que tienen por objeto reconocer si un aglomerante hidráulico es ó no uniforme, y en caso necesario las materias extrañas que contiene habrán de ejecutarse con métodos distintos según sea la naturaleza de las impurezas supuestas, que no pueden sujetarse á reglas uniformes.

Los procedimientos que se emplean casi siempre consisten en clasificar los granos del producto por sus pesos específicos según que floten ó se depositen en líquidos de densidades convenientes, ó por sus dimensiones con el cernido ó la levigación, examinando después al microscopio ó analizando químicamente los diversos grupos obtenidos.

Invariabilidad de volumen.

Se ha hecho el ensayo correspondiente siguiendo varios procedimientos, que consisten, la mayoría de ellos, en preparar tortas con bordes chaflanados, bolas de tamaño pequeño ó cilindros de pasta, los cuales, ya en frío, ya en caliente, se someten á la acción del aire, del agua ó del vapor.

Estos ensayos carecen de uniformidad y sus resultados

no constituyen una base segura para clasificar los cementos en un orden perfectamente definido.

Los únicos que se han generalizado algo son el ensayo con tortas conservadas en agua fría, que dan por buenos cementos de calidad dudosa, y el que se hace en agua caliente siguiendo el método de Le Chatelier, el cual por su sencillez, rapidez y forma concreta y numérica de sus indicaciones constituye un progreso efectivo y no ha tardado en ser adoptado sin vacilación alguna en la mayoría de los pliegos de condiciones.

Los ensayos, que consisten en medir con gran precisión las variaciones de longitud de barras prismáticas, son tan delicados, que su empleo se limita á ciertas investigaciones de carácter científico, en cuyo caso tampoco están libres de toda crítica.

Una Comisión especial continúa estudiando los ensayos de invariabilidad de volumen.

Acción del agua del mar.

Todavía no se ha propuesto con carácter de generalidad ningún método seguro y rápido para apreciar la aptitud que poseen los aglomerantes hidráulicos para resistir la acción destructora del agua del mar y de las aguas selenitosas; el único que se emplea comúnmente consiste en sumergir los morteros en el mar y observarlos al cabo de períodos de tiempo determinados. Los resultados que se obtienen con esta manera de proceder dependen principalmente de la composición de los morteros y de las condiciones en que se hace su inmersión, siendo necesario con frecuencia dejar pasar mucho tiempo para poder apreciar señales de descomposición, en muchos casos muy discutibles, puesto que hay que eliminar ciertos fenómenos accesorios, como son, entre otros, la formación de costras superficiales que pueden acelerar, retrasar ú ocultar los efectos de aquélla.

Se han propuesto algunos procedimientos científicos y expeditos, que sería de gran utilidad que se experimentaran en los laboratorios.

Duración del fraguado.

La aguja de Vical constituye el único método que se emplea en la práctica para determinar el fraguado de los aglomerantes hidráulicos; el aparato es realmente muy sencillo, pero sus indicaciones suelen ser dudosas, sobre todo para apreciar el fin del fraguado; además, son completamente convencionales y parece que no siempre expresan una relación constante con la duración del fraguado de los morteros en la realidad.

Se han estudiado métodos más precisos.

Los ensayos que se fundan en la medida de las variaciones de la resistencia eléctrica de los morteros en curso de endurecimiento no han dado resultados dignos de consideración.

Otros estudios han tenido por objeto definir el fraguado en función de las variaciones de temperatura del mortero; se obtienen curvas muy precisas, pero que dependen de las condiciones en que se hacen los ensayos, que por cierto son muy delicados, y corresponden á fenómenos químicos cuya relación con el cambio de la consistencia de la pasta, llamado fraguado, no se ha establecido todavía con toda precisión.

El método ideal ha de ser tal, que indique hasta qué mo-

mento, contado á partir del amasado, un mortero determinado se puede emplear con eficacia sin necesidad de reavivarle con adición de agua ó con un tratamiento mecánico muy enérgico.

Morteros de ensayo.

Para los ensayos de resistencia se emplean exclusivamente morteros arenosos, ó éstos y pastas; éstas se definen con más facilidad que aquéllos y se pueden confeccionar en condiciones comparables; pero el valor práctico de las indicaciones que proporcionan es muy discutible.

Los morteros se forman con una parte en peso de aglomerante y tres también en peso de una arena denominada normal, cuyo grueso y naturaleza influyen notablemente en los resultados de los ensayos.

En muchos países se ha definido con todo rigor la arena normal y se han tomado medidas para asegurar y comprobar la pureza y constancia de los suministros. Lo que no se ha adoptado todavía es una arena internacional; pero existe una Comisión especial en la Asociación Internacional que tiene por objeto hacer los estudios necesarios para proponer una que reúna las condiciones necesarias.

Durante mucho tiempo las mezclas normales se han confeccionado con una dosis de agua relativamente pequeña, la necesaria para que su aspecto sea el de tierra húmeda recién movida, comprimiéndolas con energía en los moldes, ya á mano con una paleta, ya con máquinas con disposición especial para que el mortero sufra un trabajo determinado. Á esta manera de proceder se la ha hecho la objeción de que la comparación de los morteros obtenidos podría clasificar á los cementos en un orden que no correspondería con las resistencias de los morteros prácticos, mucho más blandos que los de ensayo, razón por la cual por muchos se prefieren los morteros plásticos moldeados sin compresión. Para que este último método se pueda generalizar, es preciso que se defina con toda exactitud la consistencia plástica normal y la manera de llenar los moldes; la misma Comisión de la Asociación Internacional está encargada de estudiar esta cuestión.

Por lo que se refiere á la conservación de las probetas desde el moldeo hasta la rotura, ninguna modificación se ha propuesto ni se ha introducido en el sistema que generalmente se sigue, á pesar de los estudios é investigaciones que se han hecho en varios países para encontrar un procedimiento que permita diferenciar en mejores condiciones el cemento Portland de los demás productos similares que le hacen la competencia.

Ensayos de resistencia.

Para los ensayos de resistencia se emplean casi exclusivamente dos métodos: la rotura por tracción, de probetas en forma de 8, de modelo uniforme en todos los países, ó la rotura por compresión, de cubos ó de fragmentos de probetas; los primeros se ejecutan con más facilidad que los segundos y diferencian mejor los productos.

Se ha propuesto que los ensayos de tracción se sustituyan con los de flexión con carga concentrada ó con momento flector constante, hechos sobre probetas prismáticas de sección cuadrada, fáciles de definir y de confeccionar y cuyos trozos resultantes de la rotura por flexión se someterían á continuación á un ensayo de compresión. Este método ha

sido bien acogido por la Asociación Internacional, habiéndose encargado de su estudio la Comisión antes citada.

También convendría definir el ensayo por esfuerzo cortante, cuyos resultados permitirían calcular la fracción de éste, que sin peligro puede resistir el hormigón de una construcción de hormigón armado; hoy día no se conoce ningún método que mida con exactitud esta resistencia y que esté libre de errores sistemáticos.

Ensayos rápidos.

Se creyó algún día que podría reemplazarse la acción del tiempo en los ensayos de resistencia por la de ciertos agentes, tales como el calor, que abreviaran las reacciones que determinan el endurecimiento de los aglomerantes hidráulicos.

Las tentativas realizadas han demostrado que, cualquiera que sea el procedimiento empleado, las resistencias obtenidas no tienen ninguna relación definida con las correspondientes á las probetas conservadas en las condiciones normales; parece que se ha renunciado definitivamente á encontrar la solución de tal problema.

Adherencia.

Presentada por la Asociación Internacional la cuestión relativa á los ensayos de adherencia, constituyó el objeto de una Memoria en el Congreso de Bruselas de 1906, en la cual se consideró aquélla desde un punto de vista general; en dicha Memoria se consigna que los métodos de ensayo deben permitir medir la adherencia entre cualquier mortero y cualquier otro cuerpo, tanto normal como paralelamente, al plano de la junta. Claro es que no hubiera sido prudente adoptar uno cualquiera de los métodos propuestos sin comprobarle antes con todo detenimiento, por cuyo motivo el autor de la Memoria proponía que se experimentaran en los laboratorios, y que después, en vista de los resultados obtenidos, la Asociación decidiera lo que había que hacer.

Hay otro género de adherencia, cuyo interés crece de día en día, que es la que se opone al deslizamiento de las barras metálicas en el hormigón armado; es resultante de la adherencia tangencial antes definida, de la resistencia que opone el hormigón á su propio desgarramiento por las asperezas de la armadura; y por último, de las presiones que se ejercen entre el hierro y el hormigón producidas por las variaciones de volumen que acompañan al endurecimiento del último y por la transmisión de los esfuerzos que se desarrollan en la obra por efecto de las cargas exteriores. Dicha resultante, que puede llamarse resistencia al deslizamiento, es muy compleja; no se conoce bien la ley, según la cual varía de un punto á otro de la superficie de contacto de los dos materiales, y es imposible actualmente calcular su valor absoluto con exactitud, á pesar de los numerosos ensayos que se han hecho para medirla.

Ensayos de puzolanas.

Tanto en Alemania como en Holanda y Bélgica hay procedimientos normales para la recepción del tras, y en Italia se han redactado muy recientemente reglas oficiales aplicables á las puzolanas de este país; pero no existe todavía ningún método general y uniforme para el ensayo de las puzolanas con independencia de su naturaleza y origen.

La Asociación Internacional designó una Comisión especial para estudiar este problema, la cual ha tomado ya varios acuerdos y ha publicado diversas Memorias; los métodos propuestos no han sido todavía suficientemente sancionados por la experiencia para que puedan ser aceptados de una manera general. La solución de aquel problema depende en parte de los ensayos de los aglomerantes hidráulicos, propiamente dichos, con la complicación de que las puzolanas exigen la adición de una cierta cantidad de cal grasa, cuyas condiciones hay que definir con toda precisión. La combinación parcial de los elementos activos de la puzolana con los de la cal es, por regla general, muy lenta, por cuya razón los resultados de los ensayos de resistencia sólo tienen utilidad al cabo de períodos de tiempo relativamente largos.

Sería muy conveniente que se encontrara un procedimiento químico que diera á conocer con brevedad la energía relativa de las puzolanas, porque de las propuestas hasta ahora ninguna ha dado resultados que concuerden con las que se obtienen en la aplicación corriente de las puzolanas.

Conclusiones.

En resumen, la Comisión núm. 22 de la Asociación Internacional mantiene los procedimientos antiguos sin modificaciones importantes, y no cree haya lugar para proponer ó adoptar ningún método nuevo.

Á primera vista podrá parecer perjudicial tal manera de proceder, pero si se reflexiona un poco se comprenderá que la Asociación Internacional ha de proceder con una gran prudencia en la elección de los procedimientos de ensayo que ha de apoyar con su autoridad, y es muy importante que únicamente patrocine oficialmente los que han sido comprobados con todo vigor por varios experimentadores.

La misión de las Comisiones de la Asociación es preparar la elaboración de los métodos más perfectos, comprobarlos con experimentos hechos simultáneamente en varios laboratorios, perfeccionándolos si es preciso. Cuando dichos métodos se hallen ultimados se impondrán por sí mismo á los técnicos, y la Asociación ya no tendrá más que hacer que sancionarlas con su estampilla oficial.

Ω

LA ARQUITECTURA DE HIERRO

Y EL DOBLETÉ (I) COMO ELEMENTO DECORATIVO

(CONCLUSIÓN)

Este es solamente un signo precursor de una época espléndida á la que nos llevarán nuestros Ingenieros especialistas. Y si Miguel Ángel ha podido crear una obra maestra de piedra, como lo es la iglesia de San Pedro en Roma, empleando un material pesado, una masa rígida, dificultosísima para la formación de bóvedas, nuestros Ingenieros y Arquitectos, acostumbrados al uso del hierro, nos van á sorprender también con obras grandiosas con este nuevo material y con el que se podrá resolver los más intrincados problemas en la edificación de nuestros monumentos modernos. El cemento armado aliado al hierro será el único material con que el Arquitecto pueda realizar cualquier sueño por caprichoso que sea, pues ya se forma conjuntos de perspectivas grandiosas, desconocidas en épocas anteriores.

En nuestra opinión creemos que un material tan noble como

el hierro, que nos permite construir puentes con arcos de 900 á 1.000 metros (puente sobre el Hudson en Nueva York), si comparamos estos actuales resultados con los primeros ensayos (21 metros entre pilares en el año 1799 para el puente construido por el Ingeniero inglés Finlay) y pensamos que la torre Eiffel tiene 300 metros de altura, y los grandes «skyscrapers» de Nueva York pronto llegarán todavía más alto, creemos, repetimos, que el hierro es digno para construir iglesias, teatros y todas las obras grandiosas de nuestro siglo. Llegará el día, que no conceptuamos lejos, en que toda preocupación antipática contra este material desaparecerá y que despertará tanto nuestra admiración como experimentaban los antiguos por las columnatas de sus templos. Así es que el público, cuando atraviesa inconscientemente por nuestros grandes halls de hierro, debiera aprender á apreciarlos como el exponente de nuestra actual cultura técnica.

Debemos acostumbrarnos con este material aparentemente frío, hay que empezar á amarlo, estimarlo, estudiar su estructura, prever su inevitabilidad, porque es el hierro precisamente que nos distingue de los siglos pasados, y es nuestro deber de amar este medio de distinción.

La arquitectura de hierro debiera generalizarse, encontrarse diariamente en la calle, en nuestros paseos, en nuestra casa, y solamente así se iría acostumbrando nuestro ojo con este material, todavía extraño á nuestras exigencias estéticas. Pero como la estética y el estilo cambian con las generaciones, es un hecho seguro que el hierro encontrará la aceptación general, no solamente como material constructivo monumental, sino que va á generalizarse también como material decorativo, y eso en una época muy próxima, teniendo ya hoy bastantes ejemplos que nos dejan entrever tal hecho.

El Arquitecto belga Sr. V. Horta, especialista en el empleo del hierro, une las dos capacidades de este material, es decir, elabora el hierro constructivo, vigas y columnas, de una manera muy artística. Un gran número de sus frentes nos enseña la múltiple aceptación del hierro como material constructivo y decorativo. Entrando en sus edificios veremos los interiores decorados magníficamente con el mismo material, el hierro, los halls, vestíbulos, terrazas, barandas, etc.

El hierro constructivo que apoya ó soporta recibe, según su índole, una decoración que ayuda á hacer desaparecer la frialdad de este material. Por ejemplo, sabe dar cuerpo al hierro delgado con motivos adecuados, para evitar la mala impresión que resulta de columnas delgaditas soportando cargas enormes. No rehuye de crear cielos rasos decorativos compuestos de una hábil distribución de vigas constructivas decoradas con algunos fierros perfilados, pero dispuestas siempre de tal manera que no oculten la construcción.

Hasta la misma distribución de los remaches lo ayudan muy á menudo en la decoración. Entrando en estos magníficos halls y vestíbulos, desaparece en seguida toda duda y quedamos persuadidos de que el hierro como material de decoración es tan apto como cualquier otro, siempre que sea manejado por una mano hábil.

Todo lo arriba expuesto debe aumentar nuestra confianza en este material universal y no dejarnos desanimar por pequeños inconvenientes, sobre todo si se conoce la historia del desarrollo de la estética y de la construcción. Solamente después de una cierta época, cuando el hierro haya pasado por su período de ensayos y fijado sus principios, líneas y formas arquitectónicas, se aceptará la arquitectura de hierro decorativa al par que constructiva. Así nos lo enseña la historia de todas las innovaciones.

La forma primitiva se liga á las formas ya conocidas. ¿No han sido nuestros primeros ferrocarriles coches puestos sobre rieles? Los primeros artefactos de gas ¿no imitaron la vela? Los primeros automóviles ¿no tenían el aspecto de carruajes sin lanza ni caballos? Esta metamorfosis la vemos también en la ingeniería. Cuando al fin del siglo XVIII y en el XIX el modernismo exigió de nuestros Ingenieros obras técnicas hasta entonces desconocidas, al principio los Ingenieros acostumbraban reves-