

## **9.5. Comentarios y resumen de las ponencias del párrafo 6. "Pliegos de Condiciones y control de la calidad"**

**J. M. TOBÍO SILLERO**

Dr. en Química Industrial  
I.E.T.c.c.

### **9.5.1. Pliegos actuales. Pliegos generales y Pliegos especiales**

Se ha referido el señor Benito a la historia y vicisitudes sufridas por el Pliego, desde su forma primitiva de 1930 hasta la actual de 1964. Muestra cómo, en las especificaciones actuales, se reflejan las modificaciones derivadas de los anteriores coloquios, así como los trabajos realizados por las Comisiones que intervinieron en su redacción definitiva.

Comenta detalladamente las características del Pliego actual, haciendo ver cómo, en líneas generales, nuestro Pliego se encuentra a la altura de la mayoría de los extranjeros, haciendo un análisis de las condiciones impuestas por los demás países y sus diferencias—cuando las hay—respecto a las del nuestro.

Se refiere a continuación a lo que puede suceder durante los próximos cuatro años de vigencia del Pliego 1964, insistiendo en que, hasta que los métodos de análisis, tanto físicos como químicos, reciban el referéndum de la ISO, es de suma importancia aceptar los actuales, tanto en lo que se refiere a los diversos tipos de cemento existentes como a los límites aceptados.

En cuanto a la posible aparición, en el futuro, de ciertos Pliegos especiales, menciona, en primer término, la necesidad fuertemente sentida de un Pliego de Conglomerantes para Presas, en cuyo estudio se encuentran ya algunas entidades. Estos cementos, al lado de ciertas características especiales parece que deberían orientarse hacia un bajo calor de hidratación y un tiempo de fraguado más largo, tanto en lo que se refiere al principio como al final del mismo. Expone las razones que apoyan estas condiciones.

En lo que se refiere a otro de los aspectos que, a su juicio, merecerá una atención preferente en el futuro, con vistas a las grandes obras de puertos que llevará consigo el Plan de Desarrollo, dice debería esperarse a los resultados del Simposio sobre hormigón y agua de mar que va a celebrarse próximamente en Palermo.

### **Conclusiones**

- a) Con las limitaciones de todos conocidas, el Pliego actual es bueno y debe aceptarse como tal.
- b) Las obras hidráulicas, especialmente presas, van a precisar, en los años venideros, grandes cantidades de cemento. Sugiere que los fabricantes tengan en consideración esta circunstancia por si procede modificar algunas de las características de los conglomerantes actuales.

- c) Anticipa un posible cambio de signo en lo que respecta a la situación actual demanda-oferta, por cuanto cabe esperar que haya unos remanentes de cemento orientados hacia la exportación. Para cuando llegue esta ocasión, piensa el ponente que deberán introducirse las modificaciones pertinentes en el Pliego, especialmente aquellas que corresponden al contenido en  $\text{SO}_3$ , que deberá rebajarse, y al tiempo de fraguado, que será preciso aumentar.

El señor Balaguer solicita de la Presidencia la exposición de su ponencia por considerar que el tema es muy análogo al de la del señor Benito, pensando que la discusión de ambas debería hacerse conjuntamente. El señor Presidente accede a ello.

### 9.5.2. Homologación de la calidad

Tras una acertada definición del término «homologación», el señor Balaguer elogia el trabajo del señor Benito, y pasa a la exposición del suyo, comenzando por hacer ver a los presentes que, aunque en la mayoría de los casos que abarca el Pliego, los ensayos prescritos están bastante estudiados y dan resultados concordantes, en muchos otros esta circunstancia no se cumple.

Comienza haciendo ver la insuficiencia de métodos concordantes para determinar el calor de hidratación de un cemento, así como la resistencia a los sulfatos que, hoy por hoy, se basa en una serie de ensayos más o menos empíricos y orientativos. Termina diciendo que, cuando un método de ensayo es dudoso, no debe tomarse como base para su inclusión en un Pliego de Condiciones.

Expone luego su punto de vista, apoyado en razones de evidente fuerza, de que la diversidad de tipos de cemento hoy recogida en el Pliego no puede, a su juicio, fomentar el progreso hacia la obtención en fábrica de un tipo de clinker de la mejor calidad y con una constancia de composición que parece evidentemente necesaria.

Por ello, sugiere que cada fábrica debe producir un solo tipo de clinker, el mejor que pueda y sepa, dejando para una etapa posterior la posible modificación de las características del cemento deseado, gracias a las adiciones que sean precisas.

Para que esto pueda ser una realidad deberán prescribirse unos ensayos de recepción, suficientemente estudiados, reproducibles y definitivos, que el autor centra en los tres siguientes: Resistencia mecánica, estabilidad de volumen y tiempo de fraguado.

Estas son, por así decirlo, las conclusiones del trabajo del señor Balaguer, que, una vez más, repetimos, expresa, con toda claridad, cuáles han de ser las características que debe reunir un ensayo para que pueda ser aplicable a la homologación, sin que esto quiera significar duda alguna respecto a la utilidad del Pliego en sus dos aspectos: control de recepción y guía inestimable para el fabricante y el usuario.

### Coloquio sobre las ponencias de los señores Benito y Balaguer

Sometidas a discusión, conjuntamente, ambas ponencias, interviene, en primer término, el señor Uría, el cual, contrariamente a la opinión del señor Benito, insiste en que ciertos cementos especiales actualmente empleados por algunas Confederaciones Hidrográficas, Metro de Madrid y Sociedad Española de Construcciones Navales de Bilbao, no están recogidos en el Pliego actual. Estos cementos, aunque son análogos a los PHA-250 y 350, son muy resistentes a los sulfatos, aun cuando el Pliego no los considere así.

Después de referirse al trabajo del señor Balaguer insistiendo en que, a su juicio, la redacción actual del Pliego es buena y representa una gran ayuda para el fabricante de cemento, relata sus experiencias con distintos tipos de conglomerantes resistentes a los sulfatos con relación alúmina/óxido férrico inferior a 0,64 e iguales a 0,40. Con esta última relación fabricó algunas muestras de cemento que, en contra de lo previsto, no resistieron las pruebas de agresión por

sulfatos. Analiza luego las causas de esta anomalía, que dice pueden ser debidas a la presencia de sales ferrosas producidas por una atmósfera reductora del horno. Indica después cómo, por un enfriamiento lento del clínker, puede producirse un aluminato expansivo que reduzca la resistencia del cemento frente a los sulfatos.

Por todo ello, piensa el señor Uría que es muy esperanzador el camino ofrecido por el análisis con rayos X como posible solución a este problema.

Después de una corta intervención del señor Balaguer, para puntualizar algunos de los extremos expuestos por el señor Uría, interviene de nuevo éste, preguntando si un cemento empleado con una relación agua/cemento alta y que posteriormente fue sometido al ataque con agua selenitosa dando buena resistencia, tanto en la parte sumergida de la probeta como en la semisumergida y aérea, debe ser rechazado o incluido en el Pliego.

A continuación se establece una discusión referente al efecto de las *sales cristalizadas* sobre las probetas, en la que intervienen los señores Uría, Balaguer y Sarabia, exponiendo sus puntos de vista y terminando por hablar del ensayo americano a largo plazo, en el lago Salado, sobre el que hacen algunas aclaraciones los señores Del Campo y otros. El tema se centró entonces en la necesidad acuciante de un ensayo fidedigno para juzgar la resistencia a los sulfatos. Exponen sus opiniones, en primer término, el señor Uría, mencionando que existen más de doce de éstos, y el señor Balaguer, que hace ver que esta preocupación mundial se ha reflejado en distintas ocasiones y en diversos trabajos. El señor Uría menciona las experiencias verificadas por don Eduardo Torroja, sobre las que ofrece algunas aclaraciones el señor Benito.

Para resumir la discusión, el señor Del Campo hace algunos comentarios sobre el ensayo americano del cual salió el método de Bogue para el portland, que es un índice más.

En relación con lo expuesto por el señor Benito, respecto del elevado contenido en  $AC_3$  de los cementos españoles, el señor Calleja dice que el límite actual del 4 por 100 de  $SO_3$  debe mantenerse, por cuanto los cementos nacionales mejoran, en general, con mayores contenidos de yeso y, frente a una posible exportación, no debe olvidarse que el mencionado límite del 4 es *un máximo* y, por tanto, los fabricantes pueden adaptar sus productos por debajo de este límite, si las especificaciones de cualquier país importador lo exigen así. También hace ver el señor Calleja, contestando a una cuestión planteada por el señor Uría, que en determinadas circunstancias el aumento de volumen de las sales cristalizadas respecto a las anhidas puede ser una realidad, a pesar de lo mencionado anteriormente. Cita a este respecto la existencia en determinados hormigones del «bacilo del cemento» (la sal de Candlot) y la ettringita, de todos conocidos, formados con carácter expansivo, por reacción topoquímica, en tales hormigones.

Con referencia a la primera intervención del señor Uría, el señor Calleja hace observar que los sistemas con relación alúmina/óxido férrico inferior a 0,64 (del orden de 0,40) se apartan del sistema característico del clínker de cemento portland: además de carecer de aluminato tricálcico, hay que contar en ellos con la presencia de ferrito bicálcico, o más bien de una fase ferrítica de composición intermedia entre el  $FC_2$  y el  $FAC_4$ , muy verosíblemente del tipo del  $FA_2C_6$  o del  $F_2AC_6$ . Estas fases pueden estar muy disociadas o en desequilibrio, y dar lugar a aluminatos sensibles a los sulfatos. De ser así, estas deficiencias se corregirán aumentando la dosis de yeso de los correspondientes cementos.

El señor Laffarga, de acuerdo con el señor Calleja, dice que el contenido en ferrito bicálcico no puede pasar de cierta cifra y un aumento en el contenido de yeso puede resultar beneficioso tal como demuestran los cementos sobresulfatados que, con su 15 por 100 de yeso, ofrecen una buena resistencia a los sulfatos combinada con excelentes características mecánicas.

Se entra en el tema del *calor de hidratación* del cemento con vistas a su empleo en presas. Después de unas cortas intervenciones de los señores Sarabia y Balaguer respecto a la factibilidad del ensayo de calor de hidratación y sus limitaciones, interviene el señor Hernández Ros, de Obras Hidráulicas, haciendo ver cómo sobre esta cuestión tan importante, se ha discutido mucho y que las dos condiciones—bajo calor y largo tiempo de fraguado—son necesarias, no solamente para el hormigón de presas, sino para obras hidráulicas, tales como canales y otras.

En estas obras los problemas que plantea la escasez de mano de obra y la dificultad de los transportes obligan a emplear cementos con las características antes mencionadas, puesto que la adopción de medidas, tales como la construcción de centrales de hormigonado u hormigoneras móviles, resulta demasiado onerosa.

Contesta el señor Uría haciendo ver que pueden emplearse retardadores, tales como el azúcar y otros inhibidores. El señor Calleja señala lo delicado y comprometido que sería el empleo de tales productos, así como los peligros a que el mismo podría dar lugar, considerando por ello que no deben ser utilizados ni recomendados.

Se entra de lleno en la discusión del tema de las *adiciones al cemento* y la influencia de éstas en los resultados dados por las fórmulas de composición de Bogue. El señor Escribano pregunta hasta qué punto son aplicables dichas fórmulas con cementos que tienen hasta un 10 por 100 de sustancias no nocivas. Según la opinión del señor Balaguer estas fórmulas no pueden ser utilizadas con cementos mixtos, ya que los recuentos microscópicos no coinciden nunca con la composición potencial de Bogue, opinión que sustenta asimismo el señor Guinea.

El señor Sarabia hace la pregunta de qué se entiende por composición potencial, ¿cuáles son su capacidad y significado?, ¿no se tratará de la expresión de un estado de equilibrio en la zona de fusión que luego no ha de reflejarse en el producto final a la salida del horno?

Le contesta el señor Balaguer indicando que, según el diccionario, potencial equivale a «que puede existir», lo cual marca el verdadero significado de estos importantes parámetros. En idéntico sentido se pronuncia el señor Soler, diciendo que los cálculos de la composición potencial han constituido, y constituyen, una importante herramienta de trabajo para el fabricante que no es del caso despreciar, especialmente para aquellas fábricas que, por no disponer de grandes laboratorios, necesitan unas orientaciones de apoyo que le sirvan para la dosificación de crudos y control del producto fabricado.

A continuación, se plantea el problema de las adiciones. Toma la palabra el señor García Ormaechea, que defiende el empleo de los cementos puzolánicos, no sólo para obras marítimas, sino para toda clase de obras, tal como se viene haciendo en algunos países europeos. Por una parte, esta adición de puzolana (o materiales similares, tales como escorias, cenizas volantes, etcétera) puede incrementar la actual producción de cemento para enjugar en lo posible la importación de 1,5 millones de toneladas de cemento extranjero, cantidad que puede ser aún superior en los próximos años. Insiste en que hay que llevar al ánimo de los usuarios, especialmente de la Administración, esta idea, haciendo resaltar la diferencia entre un reconocimiento escrito y un reconocimiento real, tanto por los técnicos e ingenieros de la Administración como por los usuarios en general.

Parece haber unanimidad en esta cuestión de la extensión del empleo de cementos con adiciones, por cuanto el señor Rezola indica que en Francia se admite no sólo el 10 sino hasta un 20 por 100 de cenizas volantes o adiciones de tipo activo—puzolanas o escorias—muy abundantes en España y Canarias. Se pronuncian en el mismo sentido los señores Balaguer, Benito y Uría. Este último indica cómo en una publicación del Instituto Eduardo Torroja se especifica cómo es factible incrementar la producción de cemento en medio millón de toneladas mediante la adición de un 10 por 100 de escorias.

Para terminar, intervienen sucesivamente los señores García Meseguer y Balaguer en el sentido de apoyar el establecimiento de los ensayos finales de recepción: resistencias mecánicas, estabilidad de volumen y tiempo de fraguado como características esenciales de un cemento, si bien el primero de ellos juzga necesaria una cuarta prueba, la del calor de hidratación, de gran interés para el constructor y el proyectista. El señor Balaguer está, en principio, de acuerdo, pero duda de la existencia de un ensayo calorimétrico, al menos por ahora, que sea suficientemente fidedigno para merecer ser incluido en un Pliego de Condiciones.

Toma la palabra el señor Benito, cerrando la discusión, y diciendo que debe respetarse el Pliego, en su forma actual, por cuanto constituye una guía de valor inapreciable, tanto para el cementero como para el usuario, tal como demuestra la larga historia de estas especificaciones adop-

tadas universalmente por todos los países y aceptadas por todos. Aunque cree que sería deseable la adopción de controles o ensayos de recepción, tal como preconiza el señor Balaguer, opina que, por el momento, aun cuando todo cuanto tienda a la simplificación sería altamente conveniente, la forma actual de nuestro Pliego debe mantenerse, al menos durante el plazo de vigencia previsto. Esto constituye, a su modo de ver, una forma de garantía, sobre todo a largo plazo, que posiblemente no podrían proporcionar los ensayos de recepción final de que se ha hablado.

### 9.5.3. Matemáticas aplicadas al Control de calidad de los cementos

El control de Calidad de los cementos, al igual que el de cualquier otro producto industrial acabado, debe realizarse sobre unas bases científicas que el Cálculo Estadístico ha logrado, gracias a los últimos avances matemáticos, establecer sólidamente. Cualesquiera que sean las características susceptibles de medida en un producto fabricado en grandes series, la dispersión de resultados de los ensayos y la consideración de errores, constituyen las bases fundamentales que deberán tenerse en cuenta para juzgar la bondad—o maldad—de una población o conjunto considerada globalmente.

El señor Sarabia comienza estableciendo los principios matemáticos del cálculo de probabilidades y su incidencia sobre las fórmulas usuales que maneja la Estadística, definiendo los diversos parámetros de interés y sus interrelaciones. Se extiende con detalle en todo el aparato matemático que justifica toda la teoría estadística que ha permitido representar, bajo la forma de números sencillos, las propiedades de un conjunto cuyos individuos se rigen por el azar. Quiere el señor Sarabia, y lo consigue, llevar al ánimo de los asistentes la necesidad imperiosa de que cada uno en su fábrica, con los medios analíticos a su alcance, procure fijar, establecer unos datos, localizar unos parámetros; en una palabra, conocer en cada momento la magnitud y signo de cualquier desviación alrededor de los valores óptimos, establecidos previamente, que puedan producirse. Insiste en que el control de calidad establecido con rigor matemático no es cosa sencilla, pero sí posible, y que cada cual, en su propia industria, puede hacer suyas las normas y estudios realizados para industrias diferentes de la del cemento y sobre las cuales se ofrece abundante bibliografía, sobre todo en el transcurso de los últimos años. Es necesario, y probable, que cada industria conozca y domine sus posibilidades y limitaciones y que disponga de un arma exacta—con la exactitud que permite el estudio de los grandes números—para corregir en todo momento las desviaciones no permisibles y los errores subsanables. Solamente así podrá hablarse de calidad, en el sentido actual de la palabra, relegando el factor sorpresa al desván de los fantasmas.

Dado lo avanzado de la hora, el coloquio subsiguiente quedó reducido a estrechos límites. El señor Uría pregunta al ponente si en la expresión de resultados no podría utilizarse la media geométrica en lugar de la desviación típica, por ser su cálculo más sencillo. El ponente remite al señor Uría al texto completo de su comunicación, que en su día aparecerá, entendiéndole que la cuestión no presenta una respuesta inmediata.

Interviene luego el señor Calleja, quien pone en duda el que la limitación en los ensayos mecánicos del método RILEM, de tres probetas por fecha, sea conveniente, en general, con vistas a la uniformidad en la dispersión de resultados de distintas fábricas o laboratorios, y, en definitiva, al control de la calidad. Considera que cada laboratorio posee sus propias causas de error de todo tipo y, por lo tanto, sus propias desviaciones, y que sería mucho más práctico que cada uno de ellos realizase los ensayos con un número de probetas tal que las desviaciones de los resultados encajasen dentro de una tolerancia dada, pero sin prefijar el número mínimo de probetas con que haya de llevarse a cabo el ensayo.

Contesta el señor Sarabia de pleno acuerdo con el señor Calleja, y cierra la discusión, con muy acertadas palabras, el señor Virella, para felicitar al ponente y agradecerle que haya interpretado, al menos en primera aproximación, un deseo fuertemente sentido que nos obligará a repasar lo estudiado, a aprender lo necesario para establecer un eficaz control o marca de calidad y, en una palabra, para refrendar, de una vez por todas, las características de seriedad que han dominado siempre a la industria del cemento.