

El anacronismo de ciertas "instrucciones" oficiales y la necesidad de actualizarlas con urgencia

Prof. Dr. JOSÉ CALLEJA
ISTCC

Lcdo. FRANCISCO LORENZO SITOS
AGROMAN, Empresa Constructora S.A.

RESUMEN

En el presente trabajo los autores se proponen revisar la Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas, que data de 1967, y al hilo de la revisión hacer una serie de observaciones, comentarios, sugerencias y aun recomendaciones, con vistas a una posible y urgente, próxima futura, puesta al día de dicha Instrucción, en consonancia con el Pliego General de Condiciones para la Recepción de Cementos, RC-75, actualmente vigente.

Si bien la revisión tiene carácter general, el énfasis se centra en los materiales de construcción, y muy particular y detalladamente en el cemento.

1. INTRODUCCION

Se aborda en esta ocasión el tema relativo a las condiciones que debe *cumplir preceptivamente* el cemento que se utilice en la construcción de presas, según la INSTRUCCION PARA EL PROYECTO, CONSTRUCCION Y EXPLOTACION DE GRANDES PRESAS (1).

Dicha Instrucción data de 1967, habiendo sido aprobada por Orden Ministerial de Obras Públicas de 31 de Marzo, dirigida por el Ministerio del ramo al Director General de Obras Hidráulicas, y publicada en la página 14.716 del número 257 del Boletín Oficial del Estado, con fecha 27 de Octubre de dicho año.

La citada Instrucción fue redactada por la Comisión de Normas para Grandes Presas, que a tal efecto se constituyó por Orden Ministerial de 15 de Enero de 1959.

En principio estaba previsto en dicha Orden que la Instrucción estuviese en vigor hasta el 31 de Diciembre de 1963. Con anterioridad a esta fecha los Organismos Oficiales por una parte, y las Empresas Privadas por otra, deberían elevar en su caso, y a través de los cauces que en uno y otro se señalaban, propuestas de modificación, de acuerdo con los resultados de la experiencia adquirida.

En la O.M. de 31-III-67 se indicaba que, “arte el gran número de propuestas de modificación presentadas, y dado el enorme volumen de trabajo (?) que el análisis de la documentación presentada representaba, por sucesivas Ordenes Ministeriales fue ampliado el plazo (se entiendo que tanto de vigencia como de presentación de propuestas de modificación) definitivamente hasta el 31 de Marzo de 1967”*.

Se indicaba también que la Comisión de Normas para Grandes Presas, reorganizada con carácter de permanente por O.M. de 26-IV-65, había elaborado la nueva Instrucción que, informada en 21-III-67 por el Consejo de Obras Públicas, sirvió de base para la redacción del texto definitivo preparado por la Dirección General de Obras Hidráulicas.

Se señalaba asimismo la conveniencia de prever que las modificaciones sucesivas de la Instrucción se pudieran producir de forma parcial, de suerte que afectasen solamente a alguno de sus artículos, y sin que necesariamente se hubiese de proceder cada vez a una revisión total de la misma.

En conclusión, el Ministerio de Obras Públicas resolvía en su Orden de 31-III-67, aprobar y declarar vigente la Instrucción (1), y que en lo sucesivo la Comisión de Normas para Grandes Presas propusiese de oficio, a sugerencia del Comité Nacional Español de Grandes Presas, o a requerimiento de la Dirección General de Obras Hidráulicas, la modificación individual de aquellos artículos de la Instrucción que se considerase necesario revisar, a la vista de la evolución de la técnica y de las experiencias recogidas de la aplicación de la Instrucción.

Hasta aquí la transcripción prácticamente literal del contenido de la O.M. de 31-III-67, BOE 257 (pág. 15.716) de 27-X-67, recogido como “Orden Aprobatoria” en el preámbulo de la Instrucción (1), la cual figura en el apartado 5 (Obras Hidráulicas) del Catálogo del Servicio de Publicaciones de la Secretaría General Técnica del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, correspondiente al año 1981, siendo expendida por el Servicio de Venta de Publicaciones como Reprografía del Servicio de Edición de la Dirección General de Obras Hidráulicas del MOPU.

Lo expuesto en lo que precede indica dos cosas: primera, que la Instrucción “antigua” (la elaborada por la Comisión creada por O.M. de 15-I-59, y con vigencia prevista hasta 31-XII-63) era susceptible de muchas —y tal vez algunas importantes— modificaciones, lo cual puede denotar insuficiencias o deficiencias de dicha Instrucción, en su momento; y segunda, que la Instrucción “nueva” (1) no ha sido revisada en absoluto desde la fecha de su entrada en vigor, dado que todos los artículos de la publicación en catálogo de 1981 están afectados de la indicación O.M. 31-III-67.

Es probable que algunos de los puntos susceptibles de modificación en la Instrucción “antigua” hayan pasado sin modificar a la “nueva”. Y es seguro que algunos puntos de ésta requieren, ya desde 1967, pero mucho más aún desde 1975, modificaciones muy sustanciales. De algunas de las posibles entre éstas se va a tratar en general en lo que sigue, pero más en particular de lo que se refiere a los materiales, y aún más concretamente a LOS CEMENTOS.

2. ANTECEDENTES

Cuando se trata de elaborar y redactar normas, pliegos de condiciones (generales o particulares), instrucciones, recomendaciones códigos y documentos semejantes, relativos a

* La interrogación y el paréntesis son de los autores.

las especificaciones sobre materiales de construcción en general y en particular acerca de cementos, así como de establecer las prescripciones tocantes al empleo de los mismos, máxime si tales documentos tienen carácter oficial, es preciso —obligado— actuar con el máximo rigor científico y técnico. Lo cual exige extenso y profundo conocimiento del tema, lo mismo que cuando se trata de enjuiciar métodos de ensayo y de interpretar y valorar sus resultados para tomar decisiones en función de los mismos.

En varias ocasiones recientes (2), (3) y menos recientes (4 a 35) uno de los autores ha puesto de manifiesto la importancia del hecho en diversos aspectos.

Dado que en una norma general sobre cementos no es posible tomar en consideración todos los casos específicos de utilización de los mismos, puede estar justificado que en unas circunstancias dadas y para casos específicos se complementen cualitativa y/o cuantitativamente las normas generales, con prescripciones adicionales o con especificaciones más detalladas. Tales prescripciones encajan en Instrucciones y en Pliegos Particulares para determinados tipos de obras (14).

Pero no es imprescindible la inclusión de dichas prescripciones y especificaciones en Instrucciones, cuando la norma general correspondiente es completa, o cuando para completarla existen Recomendaciones y/o Códigos de Buena Práctica (13), (14), (17) que suplen lo que en ella falte al respecto, particularmente en cuanto a los cementos normalizados más idóneos y recomendables para un determinado tipo de utilización específica, como por ejemplo, en las presas.

A veces, aun a falta de estas Recomendaciones o Códigos, existen publicaciones, algunas de ellas en cierto modo y medida complementarias de aquéllos, en las que se hace —y se justifica— una serie de verdaderas recomendaciones referentes a la utilización de los distintos tipos, clases y categorías de cementos incluidos en la norma principal (15), (16), (17). Por supuesto, que en tal caso las Instrucciones correspondientes pueden y deben hacer referencias a tales publicaciones, tomando de ellas lo que convenga.

Si bien los Pliegos Particulares, por su naturaleza, son de ámbito más restringido y se ajustan a obras individuales y bien determinadas, y su establecimiento corresponde al Director de Obra, las Instrucciones, de alcance más genérico para todas las obras de un determinado tipo, deben ser elaboradas en su caso con la cooperación de todas las partes interesadas —organismos y personas— de la Administración y de los campos —oficiales y privados— científico, técnico, de control y económico. Sólo de este modo es posible alcanzar de primer intento un resultado satisfactorio y defendible en todos y cada uno de los aspectos y campos mencionados (14).

Y esto porque tan sólo así se tiene la máxima prudencia en las exigencias y, sobre todo, se consigue que éstas tengan una absoluta y total justificación técnica y realista, así como un cumplimiento posible, además de fácil y económico en la mayor medida, de tal modo que todo ello convenga sin reservas a todas las partes interesadas.

En cuanto al rigor, pocas veces justificado satisfactoriamente, que suelen presentar algunas prescripciones adicionales o especiales de determinadas Instrucciones, obedece en buen número de casos a una escasez de la prudencia antes citada, enmascarada por un prurito excesivo de seguridad, y raramente responde a una realidad o finalidad bien definidas, con olvido incluso de soluciones alternativas a dicho rigor, a veces más racionales y técnicamente aceptables. Ello suele ser fruto de que, a la hora de elaborar el documento oficial correspondiente en cada caso, “ni son todos los que están ni están todos los que son”, alrededor de la mesa de trabajo.

3. ASPECTOS GENERALES

Bajo este epígrafe se va a tratar de hacer un recorrido a lo largo de la Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas (en adelante GP-67), comentando los puntos y aspectos más destacados al modo de ver de los autores, y haciendo sugerencias —en su caso— sobre los mismos.

Y así, para comenzar, respecto del Capítulo II de la GP-67: NORMAS PARA EL PROYECTO DE PRESAS, y en el Apartado II-A: NORMAS GENERALES APLICABLES A TODOS LOS TIPOS DE PRESAS, se puede observar que el Art.º 9.º: MEMORIA, en el punto 9.3 d) indica que ésta tratará fundamentalmente, y con la profundidad y detalle que requieren la importancia y circunstancias de cada presa, del “estudio de los recursos disponibles en lo que a *materiales de construcción se refiere*” y hace referencia, al respecto, al Art.º 16: ESTUDIO DE DISPONIBILIDAD DE MATERIALES, el cual en el punto 16.1 señala que “en el Proyecto deberá justificarse, mediante reconocimientos y ensayos, que las prescripciones exigidas para los *materiales naturales* por las características de la obra, y que el Pliego de Condiciones recoge, pueden satisfacerse con productos procedentes de yacimientos o canteras situadas en la comarca”.

Es evidente que, si bien el texto del Art.º 9.º se refiere a los *materiales en general*, el del Art.º 16 atañe sólo a los *áridos en particular*.

Por su parte, el Art.º 11: PLIEGO DE CONDICIONES indica que éste, “que regulará la ejecución de las obras y las pruebas previstas, dispondrán entre otras, y en forma de articulado, las materias correspondientes” a una serie de seis puntos, de los que el b) se refiere a “*calidad de los materiales*”, su posible procedencia, y ensayos a que deben someterse”.

Aquí de nuevo se puede entender que la referencia es a los *materiales en general*.

En el Art.º 17: ELECCION DEL TIPO Y CARACTERISTICAS DE LA PRESA, el punto 17.1 dice que “la elección del tipo de presa debe estar precedida de un concienzudo estudio comparativo de soluciones posibles, en su triple aspecto estructural, hidráulico y económico”. Y en la siguiente “letra pequeña” aclaratoria se expone que “las consideraciones geológicas y la clase de *materiales naturales* disponibles en las proximidades de la obra habrán de tener, en la mayoría de los casos, un peso decisivo en la elección”.

La alusión apunta otra vez, evidentemente, a los *áridos en particular*.

En otro orden de ideas, el Capítulo II: NORMAS PARA EL PROYECTO DE PRESAS, en su Apartado II B: NORMAS PARTICULARES APLICABLES A PRESAS DE FABRICA, el Art.º 35: RETRACCION, señala que “en el cálculo de la estabilidad de la presa se podría prescindir del efecto de la retracción, siempre que en los métodos de construcción se prevean las precauciones que se indican para cada tipo de presa”.

No se señala, en cambio, a qué tipo de retracción se hace referencia; si a la retracción química irreversible de fraguado del cemento, a la retracción plástica de secado, también irreversible y producida durante el fraguado y primer endurecimiento, a la retracción reversible —al menos en gran parte— de secado y humectación, regida por un equilibrio higroscópico con el ambiente, a la retracción térmica —también en gran parte reversible y condicionada por un equilibrio térmico con el medio, o a la retracción global, suma algebraica de todas ellas, al cabo de un cierto tiempo.

Tampoco se aclara si lo que interesa es “la retracción” en sí, o la capacidad de, o tendencia a, la fisuración —fisurabilidad— del material (hormigón), la cual no depende sólo de

la retracción sino, como es bien sabido, de la resistencia a la tracción y de la capacidad de deformación —módulo de elasticidad— del material.

El Art.º 41: CARGAS DE ROTURA DEL HORMIGÓN, en el punto 41.1 define la resistencia característica y la refiere al ensayo de compresión realizado de un cierto modo y de acuerdo con los métodos UNE 7.240 y UNE 7.242. En la “letra pequeña” se indica que “los ensayos de control del hormigón en obra podrían realizarse en probetas cilíndricas, prismáticas o cúbicas de dimensiones distintas a las citadas, como se indica en el Art.º 85, previa determinación de los coeficientes de correlación entre las resistencias del hormigón en las probetas empleadas en obra y la resistencia característica antes definida”.

Y se añade que “se recomienda realizar el control de resistencias del hormigón en obra con ensayos de rotura a 7 y 28 días, una vez conocida la ley de crecimiento de la resistencia a la compresión hasta los 90 días para cada tipo de hormigón”, a lo cual se hace también referencia en el Art.º 73: CEMENTO, en la recomendación c) —“letra pequeña”— del punto 73.2.

En plan de aclaración, no por sabido estaría de más señalar, que los coeficientes de correlación y la ley de crecimiento de la resistencia mencionados cambian *de unos tipos de hormigón a otros* —cualquiera que sea el parámetro que se varíe— pero también y principalmente *con cada tipo de cemento* que se utilice, aun a igualdad de todo lo demás.

En cuanto al Capítulo III: NORMAS PARA LA CONSTRUCCION DE PRESAS, en su Art.º 61: ARCHIVO TECNICO DE CONSTRUCCION, se señala que éste deberá establecerse en toda obra; y en el Art.º 65: PRUEBAS Y ENSAYOS, se indica que a este Archivo se incorporará el resultado de los *materiales de construcción* (en general), llevados a cabo conforme a las especificaciones del Proyecto. En la “letra pequeña” se recomienda establecer, en el caso de presas importantes y en las proximidades de la obra, laboratorios adecuados para la realización de los ensayos.

Por vía de sugerencia cabría decir aquí que sería bueno existiese, aparte del Archivo Técnico de la Construcción, o dentro de él, otro “Archivo de Materiales”, en el que quedase constancia durante el tiempo necesario, y siempre largo, de muestras representativas de los materiales empleados. Aun reconociendo las dificultades que ello comporta, no se puede dejar de aconsejar la conservación en las debidas condiciones, y durante el mayor tiempo posible, al menos de muestras fidedignas de LOS CEMENTOS utilizados, y en las cantidades precisas, si no para llevar a cabo ensayos físicos y mecánicos completos, lo cual exigiría cantidades de volumen apreciable, sí al menos para poder efectuar análisis químicos y por técnicas instrumentales, los cuales requieren sólo cantidades exiguas de material. A este respecto cabe decir que la experiencia demuestra de forma constante que precisamente en casos de dificultades, tan valioso puede ser disponer de los datos necesarios y suficientes acerca de los materiales, y aun de los mismos materiales o de los más importantes de ellos, como perjudicial puede resultar el carecer de los mismos. Bien entendido que se podrían citar casos muy concretos, propios y ajenos, al respecto.

En cuanto a los laboratorios de obra, es ocioso hacer resaltar su conveniencia y necesidad, pero no estará de más destacar la importancia de que estén adecuadamente dotados de todo el material preciso e idóneo, y dirigidos por titulados superiores competentes y responsables que, aparte de su formación profesional, tengan en cantidad y profundidad los conocimientos específicos necesarios y suficientes para llevar a cabo su misión de control, en bien de la obra y para garantía del Ingeniero Director de la misma. En definitiva, profesionales que puedan hablar el mismo “idioma” que sus homólogos al servicio de los suministradores de materiales, en el control de fabricación de éstos; concretamente se está haciendo referencia a los técnicos de producción y CONTROL DEL CEMENTO en fábrica.

Lo indicado acerca del cemento en cuanto al archivo de sus datos y muestras, es válido para los *aditivos empleados* (en su caso), de los cuales se hace mención en el Art.º 66: INYECCIONES, en las “letras pequeñas” de los puntos 66.2 y 66.4, así como en el Apartado III-B: NORMAS PARTICULARES APLICABLES A PRESAS DE FABRICA, Art.º 6.º: DURABILIDAD DE LAS FABRICAS, punto 69.1 y “letra pequeña” del 69.2. En general, la validez de lo dicho al respecto se extiende a todos los materiales más activos en una u otra forma, aunque su participación en el hormigón no sea mayoritaria, como ocurre con el cemento, y muchísimo más con los aditivos.

En este sentido sería preciso extender la previsión a determinados áridos, cuando haya duda, por remota que sea, acerca de su reactividad o de su inestabilidad, aun cuando los resultados de los ensayos realizados para comprobarlas no los rechacen.

Como observación y resumen final acerca de lo que precede, cabría señalar que son varias las referencias que en los Capítulos II y III (Apartado III A) se hacen a los *materiales de construcción en general*, así como a los *áridos en particular* (“materiales naturales”) e incluso a los *aditivos* y, por supuesto, al *hormigón*; pero pocas —si alguna— a los CEMENTOS concretamente. No parece suficiente que el Art.º 73 —que será objeto de consideración más adelante— se ocupe del tema. Y tanto más cuanto que parece existir una tendencia general —en cualquier tipo de obra— a achacar en principio al cemento la causa de las dificultades o problemas que puedan surgir en el hormigón.

El apartado II-B: NORMAS PARTICULARES APLICABLES A PRESAS DE FABRICA es particularmente importante por referirse con carácter específico a los MATERIALES. Es reconfortante observar que el Art.º 69.º, el primero del apartado, se refiere a la DURABILIDAD, entendida como *resistencia química* del hormigón frente a posibles acciones agresivas de las aguas embalsadas.

Se aprecia, no obstante una cierta imprecisión, o por mejor decir impropiedad, en el uso del término *aditivo*, el cual se utiliza indistintamente para designar tanto los aireantes, fluidificantes o similares (Art.º 66.º, puntos 66.2, 66.4 y Art.º 79), como los *materiales puzolánicos* (Art.º 69º y 76º). Particularmente indiscriminante, a tales efectos, es el punto 76.2. Se sugiere tener en cuenta, al respecto, lo sancionado por el uso y la práctica, tanto en el idioma español como en lenguas extranjeras (francés, inglés y alemán, entre otros), a saber: por *aditivo* se debe entender todo *producto* (generalmente artificial) que en *pequeñas dosis* se añade al *hormigón* para modificar favorablemente alguna de sus propiedades o inducir algún comportamiento deseable del mismo en *estado fresco*, o para conferirle unas ciertas características, una vez *fraguado y endurecido*, en general relacionadas con algún aspecto de su durabilidad —resistencia al hielo—, o con el rápido o lento desarrollo de sus resistencias, o con su compacidad, impermeabilidad, etc. Ejemplos: los aceleradores y retardadores de fraguado, los fluidificantes, superplastificantes reductores de agua, inclusores de aire —“aireantes”—, impermeabilizantes de masa, etc. Mientras que por *adición* se debe entender todo material *natural o artificial* —subproductos—, que en *dosis medias* o incluso *altas* se añade, preferentemente al *cemento en fábrica* —y ocasionalmente al *hormigón en obra*—, para conseguir hormigones de unas ciertas características y comportamiento, generalmente en el aspecto de su durabilidad o resistencia química frente a acciones agresivas y destructivas, tanto externas como internas, o del calor de hidratación, etc. (ejemplo: las puzolanas naturales y *artificiales* —cenizas volantes y arcillas activadas—, las escorias básicas granuladas de horno alto —siderúrgicas—, etc.).

El Art.º 71: ARIDOS, en su punto 71.4 indica que el árido fino no debe contener arcilla, polvo, mica, materia orgánica, u *otras impurezas...*”. Esto último es ocioso decirlo, mientras no se indique de qué “otras impurezas” se trata, especificándolas con su nombre. Véase si no: la arcilla, los finos, la materia orgánica, etc., al estar definidos se pueden

determinar cuantitativamente mediante métodos de ensayo, UNE o no, y por lo tanto se pueden prescribir limitaciones para ellos. Incluso el propio método de ensayo, de existir, podría servir para definir las “otras impurezas” y, en consecuencia, para limitarlas. Pero ¿cómo se definen y, lo que es más importante, con qué método analítico cuantitativo se determinan las “otras impurezas”? Valdría más —se sugiere— limitar, por ejemplo, el contenido de cloruros expresados en ion cloro Cl^- , o de álcalis expresados en Na_2O —o de compuestos salinos solubles, totales—, de la misma manera que se limitan los compuestos de azufre expresados en SO_4^{2-} .

En cuanto al método de ensayo UNE 7.245 para la determinación de estos últimos, invocado en el punto 71.6 de la GP-67, hay tanto que decir, y no precisamente a favor, que ello podrá ser objeto de un tratamiento aparte, en otro momento y lugar.

Otro es el caso del punto 71.7, según el cual “los áridos estarán exentos de *cualquier sustancia* que pueda reaccionar perjudicialmente con los álcalis que contenga el cemento. Su determinación —la de “cualquier sustancia” que se encuentre en tales condiciones— se efectuará con arreglo al método de ensayo UNE 7.137”. Este es un ejemplo de lo dicho antes: sin necesidad de disponer de una definición de lo que es “cualquier sustancia”, el propio método de determinación (cualitativa o cuantitativa) de la misma sirve para “definirla” a los efectos que interesan.

Pero el comentario en este caso va por otros derroteros. El énfasis se centra en “los álcalis que contenga el cemento”. Hoy día es bien sabido que los áridos susceptibles de reaccionar expansiva y detrimentalmente para el hormigón, lo hacen con *todos* los álcalis disponibles en éste, vengan de donde vinieren —áridos, agua de amasado, aditivos—, y no sólo con los procedentes del cemento. Hasta el punto de que, debido a ello, áridos manifiestamente reactivos pueden dar —y en casos dan— reacciones expansivas destructoras del hormigón, incluso con cementos de bajo contenido de álcalis; y pueden no darlas —y en casos no las dan— incluso con cementos de contenido mayor de álcalis. Porque en el primer caso el aporte de álcalis disponible para la reacción, por los restantes materiales del hormigón, es muy grande en relación con el del cemento, y en el segundo caso dicho aporte es insignificante o nulo. Por lo tanto, la condición de “bajo contenido de álcalis” de un cemento puede ayudar a reducir probabilísticamente el riesgo de reacción expansiva con áridos susceptibles, pero no garantiza totalmente la ausencia de dicha reacción expansiva árido-álcalis, y de sus efectos. He aquí un caso en el que, a pesar de ser exigente al máximo con el cemento —que es lo fácil—, puede no conseguirse el fin perseguido, por negligencia respecto de los restantes componentes del hormigón y del hormigón mismo. En conclusión: a los efectos de una posible reacción expansiva árido-álcalis cuenta más y antes el contenido total de álcalis por metro cúbico de hormigón que el contenido porcentual de álcalis del cemento.

En lo que respecta a la “otra variante” del punto 71.7, de “adicionar agentes que se opongan a la expansión del hormigón...”, en lugar de ella o además de ella —pero en todo caso antes que ella—, se echa de menos otra más lógica: la de utilizar cementos que intrínsecamente, con bajo contenido de álcalis o no, sean “per se” benéficos a los efectos de la reacción árido-álcalis; por ejemplo, los *cementos puzolánicos* que se incluyen en el Pliego RC-75 y se fabrican y comercializan en España desde tiempo inmemorial.

Por otra parte (“letra pequeña” del punto 76.1), las *adiciones* que deba contener el cemento para fijar la cal liberada en la hidratación y rebajar el calor de hidratación del clínker deben serle añadidas a éste *en fábrica* y no en obra. En primer lugar, porque la fábrica puede conocer y controlar —y conoce y controla— mejor el tipo de adición que emplea, así como la proporción en que la usa; en segundo lugar, porque la *molienda conjunta* de clínker y adición de un cemento permite obtener curvas granulométricas con la participación adecuada de los distintos materiales por tamaños en ellas; en tercer lugar,

porque el grado de homogeneidad alcanzado en la mezcla resultante —cemento— es máximo; y en cuarto lugar (que podría ser primerísimo), porque si se considera *cemento* —hay que hacerlo así por tratarse de un producto normalizado— a lo que sale de fábrica —por supuesto que entendiéndose por fábrica de cemento lo que se debe entender sin distorsiones—, el fabricante se responsabiliza de él a todos los efectos, mientras que si la adición se añade en obra, se corre el riesgo de que no sea adecuada o constante, de que en algún momento sea excesiva o el material añadido no sea siempre el idóneo, de que la finura del mismo o del conjunto no sea la adecuada, o de que el grado de homogeneidad de la mezcla sea insuficiente; de todo lo cual no puede responsabilizarse el fabricante de cemento. Por otra parte, el señuelo de ahorrar conglomerante a base de añadir las adiciones *en obra* puede ser peligroso.

En lo concerniente al punto 71.11 hay que señalar que no hay, en general, composiciones de cementos más o menos resistentes a la helada; tal resistencia es atribuible al hormigón en conjunto y depende más de su compacidad, porosidad, permeabilidad, penetrabilidad, capilaridad, etc., las cuales a su vez dependen también, y aún más, del resto de los materiales, así como de la ejecución y del curado.

En lo que atañe al Art.º 83º: **HORMIGONADO EN TIEMPO FRIO**, en la primera recomendación de la “letra pequeña” se indica el cuidado de mantener húmedo el *ambiente de la cámara de aire* —formada por cubrimiento con lonas u otros elementos—, la cual se calentará artificialmente. Lo absolutamente necesario es que el *hormigón* esté permanentemente húmedo, pues puede estarlo el ambiente de la cámara pero no el hormigón, precisamente por ceder éste su humedad al aire caliente y seco de la cámara, por razones de equilibrio higrotérmico; es el mismo requisito operante en el caso del curado higrotérmico acelerado con vapor libre, para evitar desecaciones, agrietamientos y descascarillados superficiales de las piezas o elementos de hormigón tratados.

En lo que se refiere al Art.º 85º: **PRUEBAS Y ENSAYOS DEL HORMIGON**, se observa que entre las recomendaciones de la “letra pequeña” del punto 85.5 figuran algunas relativas a ensayos y determinaciones en los áridos —aparte de las referentes al propio hormigón—. En tal línea se echa de menos un ensayo de determinación del contenido de cemento en el hormigón fresco, operación que hoy día se puede realizar automáticamente en unos cinco a diez minutos, con un equipo relativamente sencillo y barato, perfectamente utilizable *a pie de obra*, y sin necesidad de personal especializado.

4. ASPECTOS ESPECIFICOS RELATIVOS AL CEMENTO

Hay un aspecto de la GP-67, fruto de su antigüedad, que es por sí solo razón más que suficiente para llevar a cabo su revisión y actualización: el relativo al **CEMENTO**.

La GP-67 se refiere a los cementos del Pliego PCCH-64, vigente en 1967, pero no, naturalmente, a los del Pliego RC-75, puesto en vigor a mediados de 1977, ya que entre las publicaciones de la GP-67 y del RC-75 median ocho años de diferencia, y prácticamente diez años entre las fechas de las respectivas vigencias. Téngase en cuenta que el RC-75 fue aprobado por Decreto-Ley de la Presidencia del Gobierno 1964/1965 de 23 de Mayo (BOE 206 de 28 de Agosto de 1975).

Por lo tanto, los cementos PA (portland con adiciones activas hasta un máximo de 20 por ciento), introducidos por primera vez en el RC-75, no podían ser contemplados por la GP-67, pese a la absoluta idoneidad de dichos cementos, en su categoría resistente PA-350, para la construcción de presas. Y, por consiguiente, “las condiciones que fija el vigente Pliego para la recepción de conglomerantes hidráulicos”, a las que hace referencia el punto 73.1 del Art.º 73º: **CEMENTO**, de la GP-67, no pueden ser las del RC-75, sino las del PCCH-64.

En cuanto a las condiciones adicionales a) a d) del punto 83.1, que según la GP-67 debe cumplir el cemento, además de las del Pliego vigente, sea cualesquiera éste, y particularmente si es el actual RC-75, cabe decir lo siguiente:

a)

En lo tocante a que “la expansión en la prueba de autoclave habrá de ser inferior al siete por mil”, dicha condición o la de que la expansión en autoclave sea inferior al uno por ciento, por lo que hoy se sabe y ya en 1967 se sabía, es absurda e irracional pese al Pliego PCCH-64, en lo que respecta a cualesquiera cementos que contengan adiciones activas, incluidos los PA del actual Pliego RC-75. En efecto, por publicaciones ya antiguas de uno de los autores (4) (8) (9) (10) (12) (21), corroboradas con gran posterioridad por alguno de los investigadores mundialmente conocidos en el campo del cemento (22), es notorio que las adiciones activas, aun en proporciones muy moderadas o incluso muy bajas, son capaces de inhibir totalmente la expansión en autoclave, incluso de cementos con contenidos de cal libre total del orden del 4 al 6 por ciento, sin que ello quiera decir que los cementos que contienen tales adiciones y tales contenidos de cal libre total no sean fuertemente expansivos *en la práctica*, porque de hecho lo son.

Por lo tanto, cualquier condición limitativa de la expansión en autoclave puede tener sentido para los cementos portland carentes de toda adición —los cuales, por otra parte, no son en absoluto los más adecuados para la construcción de presas, según la propia GP-67 reconoce al recomendar en su Art.º 76, punto 76.1, el estudio de la conveniencia de añadir al cemento, en fábrica o en obra, materiales que fijen la cal libre y liberada, y reduzcan el calor de hidratación (puzolanas), con lo cual se está señalando concretamente a los actuales cementos PA y PUZ —(e incluso S) del Pliego RC-75—, pero no precisamente para los cementos PA, PUZ y S del mencionado Pliego, como éste mismo pone de manifiesto en sus especificaciones, al fijar para éstos limitaciones de expansión según el ensayo de las agujas. Esta es otra buena razón para actualizar con toda urgencia la GP-67 y ponerla a tono con el Pliego RC-75 y sus posibles enmiendas futuras.

b)

En lo que se refiere a la limitación del contenido de cal libre total en el cemento (óxido cálcico más hidróxido cálcico) determinado según el método de ensayo UNE 7.251, al 1.2 por ciento como máximo, cabe señalar lo que sigue. Una limitación —la que sea— de cal libre, a ser posible unida a otra limitación de magnesia como componentes potencialmente expansivos del cemento, haría innecesario un ensayo de expansión —por supuesto que dando ya por descontado el del autoclave—, y recíprocamente. Pero para ello sería preciso disponer de un método suficientemente sencillo y viable para la determinación de la cal libre y de la magnesia libre *expansivas*, porque no *toda* la cal libre ni toda la magnesia libre son necesariamente expansivas siempre. De la cal libre total lo es la que se encuentra como óxido, pero no la que se encuentra como hidróxido. De la magnesia no se va a tratar aquí, pero se puede remitir el lector a las referencias (4) (8) (9) (12). Ahora bien, el método UNE 7.251 invocado por la GP-67, a pesar de no estar publicado a la sazón, ni siquiera en la actualidad, al cabo de 14 años, da indefectiblemente la suma de ambas, con lo que cualquier limitación de dicha *suma*, sobre no estar justificada, puede ser inoperante. Por ejemplo, un cemento con 1,1 por ciento de óxido cálcico libre podría ser expansivo, aunque no se considerase como tal por cumplir con la limitación, mientras que otro con 4 por ciento de hidróxido cálcico libre, que la rebasa con mucho, podría no ser expansivo en absoluto. Otro ejemplo: para un contenido *suma* de óxido e hidróxido cálcico de 2,4 por ciento repartido de los tres modos siguientes: 1) $\text{CaO} = 0 \%$ y $\text{Ca(OH)}_2 = 2,4 \%$; 2) $\text{CaO} = 1,2 \%$ y $\text{Ca(OH)}_2 = 1,2 \%$ y 3) $\text{CaO} = 2,4 \%$ y $\text{Ca(OH)}_2 = 0 \%$, el cemento según 1) no sería expansivo, el cemento según 2) estaría

en el límite y podría serlo o no, y el cemento según 3) sería fuertemente expansivo; pero en cualquiera de los tres casos el cemento sería rechazable según la GP-67.

Un procedimiento de obviar esta cuestión sería utilizar un método analítico cuantitativo que permitiese apreciar como cal libre sólo el óxido cálcico potencialmente expansivo. Tal método existe: la difracción de rayos X; pero se trata de un método instrumental, complicado y costoso, propio de un laboratorio bien dotado e instalado, pero no usual en un laboratorio avanzado de obra. Pero, además en la realidad se puede dar el caso concreto de que a un cemento con un contenido de cal libre total de 2,5 por ciento le corresponda —por difracción de rayos X— un 0,8 por ciento de CaO y un 1,7 por ciento de $\text{Ca}(\text{OH})_2$; por el contenido de CaO sería un cemento admisible, pero no lo sería por el contenido de cal libre total aunque, en cualquier caso, lo más probable es que no fuese un cemento expansivo.

Otra cuestión es la de la limitación en sí. Dado que, idealmente se limitase sólo el contenido de CaO libre determinado por difracción de rayos X, ¿qué límite fijar? Para ello se requeriría un estudio experimental de correlación entre tal contenido de CaO libre y la expansión correspondiente, para cada cemento. Pero bien entendido que tal estudio habría de estar referido a la expansión *en agujas y no en autoclave*. Es posible que ni aún así se llegase a una correlación aceptable, pues no se puede olvidar (14) que “a los efectos de circunstanciales Instrucciones y Pliegos particulares o especiales de condiciones el concepto genérico de “cal” del cemento y los específicos de “total”, “combinada”, “libre”, “hidratada”, “carbonatada”, “primaria”, “secundaria”, etc., constituyen el verdadero caballo de batalla por el confusionismo que suele existir en torno de estos conceptos, y por el peligro de “legislar” inadecuada o vanamente a consecuencia de ello”. Por ejemplo, es muy diferente el comportamiento de la “cal libre primaria” y el de la “cal libre secundaria”, del clinker, aun siendo ambas parte del *óxido cálcico* libre total, potencialmente expansivo, del cemento. La “primaria”, por ser una cal de grano más grueso y “calcificada a muerte”, puede ser más expansiva a largo plazo que la “secundaria”, de grano mucho más fino y más dispersa, la cual, considerada como una “cal libre naciente” formada a más baja temperatura, por resorción del C_3S durante el primer enfriamiento del clinker, puede ser mucho más reactiva a más corto plazo, e incluso apagarse y extinguirse con rapidez y facilidad, dejando así de ser expansiva. Esto puede dar lugar a que de dos cementos, no ya con igual contenido de cal libre total, sino incluso de *óxido cálcico* potencialmente reactivo, uno resulte expansivo o más expansivo en relación con el otro, por contener más cal libre “primaria” y menos “secundaria” que éste.

Por otra parte, y finalmente, la expansión y sobre todo sus efectos —que en definitiva son los que cuentan—, dependen en gran medida de que el fenómeno y los productos expansivos se produzcan o no topoquímicamente, y con “acomodación” o sin ella dentro de los intersticios del material, así como de que la acción tenga lugar por aumento real del volumen de sólidos o por hinchazón y entumecimiento que, por adsorción de agua unida a recrecimientos cristalinos anisotrópicos den lugar a ahuecamientos y esponjamientos de la masa. Otro factor es la posible acción restrictiva sobre los productos de la expansión, llevada a cabo por la propia masa del material en el que la expansión tiene lugar. Esta acción puede inducir una “acomodación” forzada, o puede incluso impedir que la formación de los productos expansivos se produzca. Este fenómeno se observa tanto más y mejor cuanto mayor es la expansión libre de los cementos, atribuible en particular a los óxidos libres, como la cal expansiva (4) (32) (33). Y tal fenómeno es precisamente el que con más facilidad se puede dar en el caso de un hormigón de presa (33) (34), en el que por ser muy fuerte la acción restrictiva el material puede absorber los esfuerzos de hinchamiento sin ningún peligro para su estabilidad (32).

Y por fin no hay que perder de vista el hecho de que no toda cal libre de un cemento se

autoextingue con igual facilidad en los silos, tornándose de expansiva en inocua. Precisamente la cal libre sometida a más baja temperatura, como puede ser la de clínker de hornos verticales, es la que más fácil y rápidamente se autoapaga. Y así, tantos por ciento más altos de esta cal en el cemento pueden ser —y son— menos nocivos (o nada nocivos) desde el punto de vista de la expansión, que tantos por ciento menores de cal libre de clínker de horno rotatorio, sobre todo si al cemento se le concede un cierto tiempo de ensilado, aún incluso en silo metálico.

Por consiguiente, una limitación de cal libre total, ni siquiera de óxido cálcico “total” potencialmente expansivo —determinable por difracción de rayos X—, no podría en ningún caso distinguir entre óxido cálcico libre “primario” y “secundario”. De aquí que no sea posible conseguir una correlación entre cal libre total y expansión que permita fijar un límite justificado para aquella (14).

Pues bien, todo esto lleva directamente a concluir que es mucho mejor:

- i) prescindir en absoluto del ensayo de autoclave, a no ser que se trate de cementos *P* del Pliego RC-75, para los que basta y sobra la limitación de la expansión máxima al 1 por ciento;
- ii) no fijar ninguna limitación numérica, ni al contenido de cal libre total ni de óxido cálcico libre, circunstancias a las que, por otra, se ajustan todas las normas de cemento del mundo;
- iii) atenerse exclusivamente a los resultados del ensayo de expansión en agujas *LE CHATELIER*, tal como especifica el Pliego RC-75, para los cementos distintos del *P*, con las limitaciones señaladas en el mismo.

Respecto de las expansiones debidas a la cal libre y/o a la magnesia libre del cemento en presas se podrían hacer otras consideraciones que no son de este lugar (4), (31) (33), pero que abonan el hecho de que muchas de las 600 presas censadas en España, construidas con anterioridad a la vigencia de la GP-67 y por lo tanto con cementos no sujetos a sus condiciones especiales o adicionales, con contenidos de cal libre total muy superiores al 1,2 por ciento que fija como máximo dicha Instrucción, estén en servicio y sin novedad desde hace muchos años. Más aún —y no es que se pretenda que se imite el ejemplo de lo que sigue—: en determinado país se construyó una presa con *cemento de horno vertical*, con un contenido de cal libre que con gran benevolencia cabía suponer superior al 2 por ciento y con fortísimas expansiones en autoclave. El dictamen de técnicos de distintos países —entre ellos uno español— sobre su demolición fue negativo (31) y la presa sigue en su sitio sin novedad desde hace ya unos ocho años. También es cierto que en algún otro caso análogo, aunque con menos motivos, se ha optado por la demolición de parte de la obra (33).

Todo lo que precede constituye otra poderosa razón para urgir una vez más —y al parecer ya se ha hecho en varias ocasiones anteriores a lo largo de catorce años por miembros de empresas constructoras de la contrata—, la puesta al día de la GP-67, tan desfasada con respecto al Pliego RC-75; pues, tal vez exagerando la nota se podría pensar que, o bien llegará a no haber en el país cementos suficientes que puedan cumplir las exigencias de la GP-67, con lo cual lógicamente y en teoría no se podrían construir presas (ya se ha indicado que muchas de las construidas con anterioridad muy probablemente están “fuera de norma” respecto de la GP-67), o bien habrá que modificar, sea la GP-67 o sea el RC-75. Más lógica parece la actualización de la GP-67, por su antigüedad, dado que además el Pliego RC-75 está respaldado por un Decreto-Ley, mientras que a la Instrucción GP-67 la respalda una Orden Ministerial de rango inferior. Por otra parte, el RC-75 está en constante revisión por parte de una Comisión Permanente activa.

c)

En lo concerniente a que “el cemento tendrá *al menos* (!) las garantías de producción y las características que para obtención del distintivo DISCAL —Distintivo de Calidad— regula la Orden de 31 de Diciembre de 1965 (B.O.E. de 14 de Enero de 1966, comprobadas en Laboratorio de Obra (?)), tal pretensión es hoy y desde hace mucho tiempo, anacrónica. Por no señalar sino lo imprescindible al respecto, cabe decir solamente lo que sigue: i) que el DISCAL con sus extrañas e injustificadas exigencias, tanto en número como en materia, estaba concebido y redactado de tal modo que su aplicación penalizaba precisamente a los cementos de mayor regularidad de producción y de características; ii) que debido a ello sólo *tres* fabricantes de cemento —cuando más— solicitaron la concesión del distintivo; iii) que al poco tiempo los tres quedaron reducidos a uno, y en pocos meses desde la implantación del DISCAL, a ninguno; y iv) que por todo ello el distintivo, nació condenado al fracaso y, con vida menos que efímera, fracasó. Si en algún momento se vuelve a pensar en algo parecido al antiguo y fugaz DISCAL medítese bien en las exigencias —que sean las imprescindibles, no superfluas, justificadas, razonadas y posibles de cumplir, y que sirvan realmente para lo que se pretende— no vaya a ser que, como en las circunstancias de marras, precisamente los cementos de mayor regularidad de producción y características, acogidos al distintivo, sean los que más abocados estén a que tenga que retirárseles el distintivo por “apretarles” demasiado e innecesariamente, lo que explica el absentismo y la retirada cementera en aquel trance.

d)

En cuanto a las exigencias relativas a la temperatura del cemento a su llegada a la obra —no mayor de 60°C— y en el momento de su empleo —no superior a 50°C—, se entiende que van encaminadas a evitar al máximo la elevación de temperatura del hormigón. Hay que hacer al respecto las siguientes observaciones. No es precisamente el calor sensible del cemento el que más contribuye siempre a la alta temperatura del hormigón, dado que la masa con que participa el cemento en los hormigones de presas es menor que en la mayoría de los demás hormigones, y más aún en comparación con la de los restantes materiales: áridos y agua, cuyo aporte de calor sensible, sobre todo el de los áridos, puede ser considerable. Poco se consigue limitando la temperatura del cemento, si al mismo tiempo no se cuida de que los áridos —y a veces al agua— no alcancen temperaturas altas.

Lo que más puede contribuir a la elevación de temperatura del hormigón es el calor de hidratación del cemento, el cual se desprende a medida que el fraguado y el endurecimiento progresan con uno u otro ritmo. Y es este ritmo, es decir, la *velocidad de desprendimiento del calor* de hidratación, más aún que la *cantidad total de calor* desprendido, lo que condiciona más el valor de la temperatura máxima alcanzada por una gran masa de hormigón. Esta temperatura máxima será tanto más alta —a igualdad y constancia de otros parámetros— cuanto mayor sea la velocidad de reacción (hidratación y desprendimiento de su calor) dependiente de la composición y de la constitución del cemento, lo cual traslada el tema al contenido del Art.º 73.º en su punto 73.2, en cuanto a las condiciones que se recomienda exigir a los cementos para presas importantes, a saber: i), que el contenido de C_3A no exceda del 10 por ciento y el de C_3S del 50 por ciento del peso del cemento; o ii), que la suma de ambos contenidos no exceda del 58 por ciento del peso del cemento.

Estas exigencias requieren el conocimiento de los contenidos de C_3S y C_3A , bien por determinación o bien por cálculo. En cualquiera de los dos casos ello es muy difícil y poco fiable. En efecto, la determinación cuantitativa de los constituyentes mineralógicos del cemento exige técnicas instrumentales delicadas, costosas y complicadas, tales como la microscopía óptica y la difracción de rayos X. La primera es además muy lenta y requie-

re verdaderos especialistas. Ni una ni otra son aptas para laboratorios a pie de obra, aparte de que sus resultados pueden no ser, en general, suficientemente precisos. En cuanto a la determinación por cálculo de la llamada “composición potencial”, éste sólo es aplicable al *clínker* de cemento portland y cuando más al cemento en sí. Pero *no lo es en absoluto* a ningún cemento que contenga la más mínima cantidad de adiciones. Por lo tanto no es válido precisamente para la mayoría —por no decir la totalidad— de los cementos más idóneos para presas, como son los PA y los PUZ del pliego RC-75. La aplicación a ultranza del cálculo de la composición potencial a éstos y otros cementos puede dar lugar a resultados absurdos y notoriamente aberrantes, y en todo caso *absolutamente erróneos* (14) (18) (19) (25). Se puede observar curiosamente que la condición de un contenido máximo de 35 por ciento de C_3S en los cementos P-350 para presas, del Pliego PCCH-64, ha sido suprimida en el Pliego RC-75, entre otras por las razones expuestas. No se concibe la construcción de una presa con un cemento portland “puro” que no contenga ninguna adición. Por otra parte, en el propio Pliego PCCH-64 ya era comprometido poner condiciones basadas en la composición potencial *calculada* de los cementos incluso portland “puros”, dada la puntualización que se hace en el segundo párrafo del punto 1.131, en el que se define el cemento portland, al tomar en consideración la denominación de comerciales a los cementos portland con una adición hasta de 10 por ciento de materias no nocivas. En consecuencia, un medio aceptable para poder limitar la aportación de un excesivo calor de hidratación al hormigón, a través de la naturaleza del cemento, sería conocer la composición química del *clínker* y con ella calcular su composición potencial. Con ésta y con el conocimiento de la naturaleza y proporción de adición que contenga el cemento, en su caso, se puede tener una idea relativa y aproximada del calor de hidratación de éste. Pero, naturalmente, esto es, en general “mucho pedir”.

Por otra parte, parece obvio —y lo es— que el medio más fiable de conocer el calor de hidratación del cemento es determinarlo por medición experimental directa. Sin embargo, tal medición al cabo de 7 y más aún de 28 días es poco o nada útil para la obra. Y, por otro lado, la determinación del calor de hidratación a plazos más cortos, sobre dar resultados más dispersos y poco fiables, éstos son escasamente indicativos. En definitiva, hay que concluir que los procedimientos calorimétricos son, para seguidos en obra, delicados y difíciles, y de resultados dispersos, y poco fiables y significativos. No así en laboratorios de control lejos de los pies de presa.

Según lo que precede, parecería que en el tema del calor de hidratación y de la temperatura del hormigón, tan importante y decisivo en el caso de las presas, se está en un callejón sin salida. Afortunadamente no es del todo así.

En efecto, considerando globalmente el problema, la temperatura máxima alcanzada por el hormigón dependerá, por una parte, del *calor sensible* aportado por los materiales en el momento de su mezcla y de la puesta en obra del material. Este calor sensible condiciona una temperatura “inicial” del hormigón, la cual se va incrementando a medida que el fraguado y el endurecimiento progresan, a causa, por otra parte, del *calor de hidratación*. Como se ha mencionado anteriormente, el incremento de la temperatura del hormigón, y con él la máxima alcanzada por éste para unas condiciones “geométricas” dadas del material —masa, espesores, superficies libres, ritmo de hormigonado, etc.—, depende de la *cantidad total* de calor de hidratación desprendido y, más todavía, de la *velocidad de desprendimiento* del mismo (aparte, claro está, de la *velocidad de disipación* del calor, dependiente en gran manera de los mismos factores indicados). Según esto, el minimizar la temperatura máxima del hormigón requiere utilizar cementos *lentos* y *fríos*; ambas circunstancias vienen a ser una misma cosa.

Por cemento *lento* se debe entender el de moderada o lenta *velocidad* de hidratación, fraguado y endurecimiento y, consecuentemente, de desprendimiento de calor. Por cemento

frío se debe entender el de mediano o bajo *calor total* de hidratación. Ambas características van casi siempre indisolublemente unidas y se pueden conseguir por *composición del clínker* y/o por dilución de éste mediante *adiciones* adecuadas, en las proporciones idóneas.

Un cemento suficientemente lento y frío será aquel que, por composición de su clínker sea bajo en C_3S y/o en C_3A (de aquí la limitación de uno y otro por separado, o de ambos en conjunto, con las quiebras ya señaladas), y al mismo tiempo contenga una adición puzolánica idónea por su naturaleza y proporción. En definitiva, un cemento de los que, según el Pliego PCCH-64, se podría considerar como "mixto" PAS-PUZ y según el Pliego RC-75 como "mixto" PY-PUZ, o como PA con puzolana y bajo contenido de C_3A (PA con clínker de PY). Esto en cuanto a composición se refiere.

En cuanto a calor de hidratación, se pueden considerar cementos lentos y fríos los denominados de bajo calor de hidratación, tanto según el Pliego PCCH-64 como según el Pliego RC-75, y tanto si son portland sin adiciones como si las contienen en cualquier proporción (con más razón en este segundo caso).

Finalmente se pueden considerar como cementos aptos para presas, aunque no siempre lentos y fríos, los que señala la Comisión 207 del ACI, a saber: los tipos I, II, y IV ASTM, con las siguientes puntualizaciones: i), en todos los casos se trata de cementos portland sin adiciones, ii), el de tipo I es cemento portland ordinario, no necesariamente y siempre lento ni frío; iii), el de tipo II es de calor de hidratación moderado y es el más utilizado; y iv), el de tipo IV es —era— de bajo calor de hidratación, pero ha dejado de fabricarse prácticamente desde hace años (de aquí que el de tipo II sea el más utilizado).

Con los cementos antes mencionados PAS-PUZ (PCCH-64), o PY-PUZ (RC-75) con un contenido de puzolana de hasta un 20 por ciento y con un clínker de contenido lo más bajo posible de C_3A , o con los cementos semejantes a los del tipo II ASTM, se pueden conseguir tres objetivos importantes: primero, tener un bajo calor de hidratación y rebajar así la temperatura máxima alcanzada por el hormigón; segundo, obtener un hormigón durable, más resistente a los sulfatos; tercero, lograr un hormigón más resistente a las aguas puras, ácidas y carbónicas agresivas, por fijación —al menos parcial— de la cal de hidrólisis, en el caso de los cementos PAS-PUZ, PY-PUZ y PA-PY. Con estos cementos se cumple a la perfección la recomendación del Art.º 76º punto 76.1 de la GP-67.

Una observación importante: en virtud de cuanto antecede, en relación con la temperatura del cemento, con el calor de hidratación y la composición del mismo, y con la temperatura máxima alcanzada por el hormigón, como condicionante de una posible fisuración por retracción térmica, es preciso señalar que la limitación de la temperatura del cemento a su llegada a la obra y en el momento de su empleo, según el Art.º 73, punto 73.1 d), no está justificada, al menos en todos los casos. Concretamente no lo está en el caso de los cementos "fríos" del tipo II ASTM, y muchísimo menos en el de los cementos "fríos" de tipo PAS-PUZ, PY-PUZ y PA-PY, con bajo o nulo contenido de C_3A , y para las dosificaciones con que cualquiera de ellos interviene en los hormigones de las presas. Y concretamente sí lo estaría en el caso de cementos del tipo I ASTM (P del Pliego RC-75) con contenidos de C_3A del orden del 12 o más por ciento —muy probablemente cementos "calientes" per se—. Considérese que, grosso modo, la temperatura del hormigón sube tan sólo 0,8°C por cada aumento en 10°C de la temperatura del cemento —en el intervalo usual de la temperatura—, y eso con cementos que no son de moderado ni de bajo calor de hidratación, ni de bajo contenido de C_3S y/o de C_3A , ni contienen adiciones puzolánicas, y en hormigones más ricos que los de las presas. Viene a corroborar esto el hecho de que con cementos PA-350 con un contenido de puzolana natural del orden del 10 al 15 por ciento, o con cementos P-350-Y (por supuesto que sin adición alguna), am-

bos fabricados con el mismo clinker y utilizados en hormigón para presas, se pueden conseguir temperaturas máximas del material que no lleguen a rebasar los 45°C. Esto quiere decir que los máximos de temperatura fijados por la GP-67, Art.º 73º, punto 73.1.d) para la recepción en obra y en el momento de la utilización de estos cementos, podrían y deberían ser elevados en un 35 o un 40 por ciento (es decir, de 60°C a 81-84°C, y de 50°C a 67,5-70°C, respectivamente —en números redondos, de 60 a 80°C y de 50 a 70°C—), que es, más o menos, la minoración experimentada por tales cementos en su calor de hidratación, en función de su composición y naturaleza.

Se podría pensar que la influencia de una adición puzolánica al clinker en lo que atañe a rebajar el calor de hidratación del cemento es ficticia, por cuanto que la puzolana diluye al clinker en un principio, comportándose como inerte, pero acaba por combinarse con la cal liberada en la hidrólisis mediante reacciones exotérmicas, de tal manera que la cantidad de *calor total* desprendido en la hidratación a fondo de un cemento con puzolana puede llegar a ser incluso mayor que la de un cemento portland sin ella, hecho con el mismo clinker. El aparente equívoco está en que la reacción de la puzolana con la cal liberada es *diferida y lenta* y el calor correspondiente se libera a *menor velocidad* y en un intervalo de *tiempo mayor*, con lo cual la disipación de ese calor es más fácil y completa y, con todo, la temperatura máxima alcanzada es menor. Es decir, es perfectamente compatible un calor total desprendido mayor, con una temperatura máxima alcanzada menor, ya que influye más, como se ha indicado repetidas veces, la *velocidad de aportación* de calor por una parte, y la *velocidad de disipación* del mismo, por otra.

En definitiva, la exigencia del punto 73.1.d) de la GP-67 en cuanto a las temperaturas máximas del cemento a su llegada a la obra y en el momento de su utilización, se considera demasiado drástica, sobre todo para impuesta en general y sin discriminación de la naturaleza y condición del cemento en cada caso. En consecuencia, sería prudente pensar en una matización, razonable y razonada, y siempre posible, de dicha exigencia.

Y respecto de las especificaciones especiales que deba cumplir el cemento en cuanto a su composición potencial —recomendaciones a) y b) del punto 73.2—, más positivo que cualesquiera recomendaciones al respecto y que la observancia de tales recomendaciones se considera una recomendación más directa sobre los tipos, clases y categorías de cementos que, más o menos por orden de preferencia, se deban emplear en la construcción de presas, a la luz del vigente Pliego RC-75, o del que en cada momento esté en vigor.

Para concluir con los comentarios, observaciones y sugerencias al Art.º 73 relativo al CEMENTO, se señala que en el punto 73.1.e) se establece la eliminación del 10 por ciento de los resultados de las series de roturas a compresión de las probetas a 28 días: por una parte del 5 por ciento de los resultados más altos y, por otra, del 5 por ciento de los resultados más bajos, para comprobar que cualquiera de los valores del 90 por ciento de los restantes difiere de la media en menos de un 10 por ciento de ésta. Se comprende que este criterio de acortamiento de la serie completa de valores es tan arbitrario y convencional como cualquier otro, pero surge la cuestión de si no sería más científico y racional partir de la idea de que *todos* los valores experimentales de una serie de roturas sean válidos en principio, y proceder a una eliminación estadística de los valores “aberrantes” de la serie, es decir, de aquellos cuyo desvío no es atribuible a una causa manifiesta y conocida —los cuales habrán sido eliminados de antemano—, sino desconocida y aleatoria (14); por valores aberrantes de una serie se debe entender todos aquéllos que queden fuera del intervalo $\bar{X} \pm \sigma \cdot t$, en el que \bar{X} es la media aritmética de la serie, σ la desviación típica y t el valor de FISCHER para el número total de valores de la serie disminuido en una unidad, y para un intervalo de confianza del 95 por ciento (todo resultado retenido tendría el 95 por ciento de probabilidades de encontrarse dentro del intervalo $\bar{X} \pm \sigma \cdot t$). De este modo se pueden eliminar o no valores por la cabeza y/o por

la cola de la serie, y en número igual o desigual, par o impar en cada caso, pero, eso sí, estadísticamente.

5. CONCLUSIONES

Todas ellas emanan del texto precedente y dan lugar a llamadas de atención con carácter de observaciones, sugerencias o recomendaciones, según los casos, tal como sigue:

- 5.1. La primera conclusión, con carácter de recomendación, es la de la necesidad de actualizar la Instrucción GP-67 con la mayor urgencia, como se ha venido solicitando desde tiempo atrás.
- 5.2. La segunda, con carácter de sugerencia, es la de prestar más atención al CEMENTO en la primera parte de la Instrucción al tratar de los materiales, tanto en general como en particular.
- 5.3. La tercera, con carácter de observación, es la de considerar la conveniencia de precisar más al tratar del tema de la retracción, y de hacer la correspondiente referencia a la fisuración.
- 5.4. La cuarta, con carácter de observación, es la de precisar más en el punto relativo a la correlación entre resistencias aceleradas, y a 7 y 28 días, con las resistencias a 90 días.
- 5.5. La quinta, con carácter de recomendación, es la de prever un archivo de materiales, particularmente de cementos, aditivos y áridos presuntamente reactivos.
- 5.6. La sexta, con carácter de sugerencia, es la de definir mejor —más detalladamente en cuanto a sus medios— los laboratorios de obra.
- 5.7. La séptima, con carácter de recomendación, es la de distinguir sin ambigüedad entre ADITIVO y ADICION.
- 5.8. La octava, con carácter de sugerencia, es la de detallar —si es posible— la expresión “otras impurezas”, en el caso de los áridos finos.
- 5.9. La novena, con carácter de recomendación, es la de urgir una revisión del Método de Ensayo UNE 7.245.
- 5.10. La décima, con carácter de observación, es la de tener en cuenta que en la reacción expansiva árido-álcalis intervienen todos los álcalis presentes en el hormigón, cualquiera que sea su procedencia, y no sólo los del cemento.
- 5.11. La undécima, con carácter de recomendación, es la de señalar la conveniencia de utilizar cementos adecuados para evitar la reacción árido-álcalis (cementos con puzolanas), con independencia del contenido de álcalis de dichos cementos.
- 5.12. La duodécima, con carácter de observación, es la de considerar que no hay cementos específicamente resistentes a las heladas.
- 5.13. La decimotercera, con carácter de observación, es la de señalar que para el curado del hormigón en tiempo frío, o en cualquier otra circunstancia, lo importante es que el hormigón esté húmedo (no sólo que lo esté la cámara o recinto en que se cure).

- 5.14. La decimocuarta, con carácter de recomendación, es la de indicar la conveniencia de que entre los ensayos de control de obra figure la determinación del contenido de cemento en el hormigón fresco.
- 5.15. La decimoquinta, con carácter de recomendación, es la de tener en cuenta el actual Pliego RC-75 como vigente, y no el caducado PCCH-64.
- 5.16. La decimosexta, con carácter de recomendación, es la de prescindir del ensayo de autoclave (salvo para los cementos portland P, en su caso —raro—), sustituyéndolo por el de las agujas LE CHATELIER.
- 5.17. La decimoséptima, con carácter de recomendación, es la de suprimir toda limitación de cal libre.
- 5.18. La decimooctava, con carácter de recomendación, es la de desistir —por la fuerza de los hechos— de toda referencia al DISCAL.
- 5.19. La decimonovena, con carácter triple de observación, sugerencia y recomendación, es la de evitar toda referencia a la composición potencial del cemento, en relación con el calor de hidratación o con cualquier otra propiedad o parámetro del mismo.
- 5.20. La vigésima, con carácter de recomendación, es la de sustituir tales referencias por la fijación de límites al calor de hidratación o, mejor aún, por la prescripción de utilizar cementos de bajo calor de hidratación, según las normas.
- 5.21. La vigesimoprimer, con carácter de recomendación, es la de elevar los límites de temperatura para la recepción y utilización de los cementos.
- 5.22. La vigesimosegunda, con carácter de sugerencia, es la de utilizar estadísticamente las series completas de resultados de roturas de hormigón, calculando con ellas las medias y eliminando los valores aberrantes, sin perjuicio de aplicar a la media resultante final un coeficiente de minoración arbitrario, en su caso.
- 5.23. La vigesimotercera, con carácter de recomendación, es la de incluir en el Art.º 73.º: CEMENTO, de la próxima Instrucción, todo lo relativo a cementos de tipo distinto al PORTLAND, mucho más idóneos que el propio portland para hormigones de presas.
- 5.24. La vigesimocuarta, con carácter de observación y sugerencia, es la de que en las Instrucciones en general, y en la próxima GP en particular, se debería exigir a los cementos cuanto sea preciso respecto de sus *propiedades y comportamiento*, y no tanto en lo relativo a su *composición*.
- 5.25. La vigesimoquinta, con carácter de gran recomendación, y que en cierto modo es suma y compendio de las anteriores, es la de urgir que en una futura —y es de esperar que próxima— Instrucción, se señalen (como ocurre en otras Instrucciones) cuáles son los cementos del Pliego vigente en ese momento, más idóneos para los hormigones de presas, indicando a ser posible órdenes de prioridad, remitiendo a Recomendaciones o Códigos de Buena Práctica si existen, y en todo caso aclarando marginalmente o en “letra pequeña” cuanto sea preciso para justificar el empleo de un cemento dado, en un caso determinado.

REFERENCIAS

- (1) "INSTRUCCION PARA EL PROYECTO, CONSTRUCCION Y EXPLOTACION DE GRANDES PRESAS".
Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Dirección General de Obras Hídricas, Madrid, 1967.
- (2) CALLEJA, J. y AGUANEL, M.: "Observaciones a la Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón pretensado" EP-77. *Materiales de Construcción* (IETCC), número 179 JUL-AGO-SEP, págs. 49-58 (1980).
- (3) CALLEJA, J. y AGUANEL, M.: "Consideraciones sobre el ensayo de Anstett y el comportamiento de los cementos frente a sulfatos". *Materiales de Construcción* (IETCC), núm. 179, JUL-AGO-SEP, págs. 39-48 (1980).
- (4) CALLEJA, J.: "L'expansion des ciments", *Il Cemento*, 75, págs. 153-164, JUL-SEP (1978).
- (5) CALLEJA, J.: "El problema de la determinación de cemento en morteros y hormigones fraguados". *Materiales de Construcción* (IETCC), núm. 163 OCT-NOV-DIC, págs. 5-11 (1977).
- (6) CALLEJA, J.: "Las nuevas normas españolas para cemento". *Materiales de Construcción* (IETCC), número 164, OCT-NOV-DIC, págs. 5-24 (1976).
- (7) CALLEJA, J.: "En torno al Pliego RC-75". *Cemento-Hormigón*, núm. 564 (1976).
- (8) CALLEJA, J.: "Algo más en torno al Pliego RC-75". Trabajo no publicado.
- (9) CALLEJA, J. y DEL OLMO, C.: "Expansion of cement and methods to determine it". *Proceedings of the VI International Congress on the Chemistry of Cement*, SEP, 1974, Vol. III, págs. 202-208, Moscú, 1976.
- (10) CALLEJA, J.: "Una nota más acerca de la expansión de los cementos". *Materiales de Construcción* (IETCC), núm. 145, ENE-FEB-MAR, págs. 23-28 (1972).
- (11) CALLEJA, J.: "Consideraciones sobre ensayos acelerados de resistencias de cementos". *Materiales de Construcción* (IETCC), núm. 146 ABR-MAY-JUN, págs. 63-65 (1972).
- (12) CALLEJA, J. y DEL OLMO, C.: "La cal libre de los cementos y la expansión en autoclave". *Materiales de Construcción* (IETCC), núm. 143 JUL-AGO-SEP, págs. 25-34 (1971).
- (13) CALLEJA, J.: "Código de Buena Práctica para hormigón resistente a sulfatos". *Materiales de Construcción* (IETCC), núm. 144 OCT-NOV-DIC, págs. 85-96 (1971).
Cuaderno de Investigación (IETCC) núm. 29, DIC 1973.
- (14) CALLEJA, J.: "Criterios sobre normas para cemento". *Manuales y Normas del IETCC*, Madrid, Enero 1968.
Materiales de Construcción (IETCC) núm. 128, OCT-NOV-DIC, págs. 43-67 (1967).
- (15) NADAL, J. y GARCIA DE PAREDES, P.: "Empleo de los Conglomerantes Hidráulicos". *Manuales y Normas del IETCC*, Madrid, 1965.
- (16) CALLEJA, J. y GARCIA DE PAREDES, P.: "A propos des méthodes pour l'étude de la durabilité des liants hydrauliques". *Proceedings of the RILEM Symposium on Cement and Concrete Durability*, Praga 1968, ed. 1969.
"Sobre los métodos para el estudio de la durabilidad de los conglomerantes hidráulicos". *Materiales de Construcción* (IETCC), núm. 137 ENE-FEB-MAR, págs. 51-77 (1970).
- (17) CALLEJA, J.: "Código de Buena Práctica para la utilización de los cementos del Pliego RC-75". *Manuales y Normas del IETCC*, Madrid, 1977.
- (18) CALLEJA, J.: "Cemento Portland: Cálculo e Interpretación de Datos Químicos", *Manuales y Normas del IETCC*, Madrid, 1965.
- (19) CALLEJA, J.: "Conglomerantes Hidráulicos: Físicoquímica y Tecnología". *Monografía* número 214 (IETCC), Madrid 1961.
- (20) CALLEJA, J.: "Apología de los conglomerantes puzolánicos" *Cemento-Hormigón*, núm. 386, págs. 265-286 (1966).

- (21) CALLEJA, J.: "Sobre la expansión de los cementos y los métodos para su determinación. (Limitaciones lógicas del campo de aplicación y de la validez de los resultados de ensayos de expansión de cementos en autoclave). *Materiales de Construcción* (IETCC), núm. 141 ENE-FEB-MAR, págs. 75-91 (1971). *ION*, Vol. XXXI, núm. 360, págs. 351-360 (1971).
- (22) MEHTA, P. K.: "History and status of performance tests for evaluation on soundness of cements". *Cement Standards Evolution and Trends*, Ed. ASTM, ASTM STP 663, págs. 35-60, 1978.
- (23) CALLEJA, J. y DEL OLMO, C.: "Determinación del contenido de cemento en morteros y hormigones fraguados: datos para la puesta al día del método". *Materiales de Construcción* (IETCC), núm. 140, OCT-NOV-DIC, págs. 69-85 (1970)
- (24) CALLEJA, J.: Discusión del trabajo "Expansive cements" de P.P. BUDNIKOV e I. V. KRAVCHENKO. *Proceedings of the V. International Congress on the Chemistry of Cement 1968*, Parte IV, Vol. IV, pág. 335, Tokyo 1969.
- (25) CALLEJA, J.: "Consideraciones sobre el cálculo de la composición potencial de los conglomerantes hidráulicos". *Monografía* núm. 263 (IETCC), Madrid 1967.
- (26) CALLEJA, J.: "Puntos de vista sobre el contenido de yeso de los cementos portland". *Materiales de Construcción* (IETCC), núm. 120 OCT-NOV-DIC, págs. 41-56 (1965)
- (27) CALLEJA, J.: "Resumen y Comentarios" del Coordinador y Ponente General de los IV Coloquios de Directores y Técnicos de Fábricas de Cemento. *Materiales de Construcción* (IETCC), núms. 118 y 119 ABR-SEP, págs. 255-259 (1965).
- (28) CALLEJA, J.: "El nuevo Pliego General de Condiciones para la Recepción de Conglomerantes Hidráulicos en Obras de Carácter Oficial". *Materiales de Construcción* (IETCC), núm. 101 ENE-FEB-MAR, 7 págs. (1961).
- (29) CALLEJA, J.: "Los cementos españoles ante la propuesta de un nuevo Pliego General de Condiciones para la Recepción de Conglomerantes Hidráulicos en Obras de Carácter Oficial" *Materiales de Construcción* (IETCC), núm. 101 ENE-FEB-MAR, 31 págs., (1961).
- (30) CALLEJA, J.: "Interpretación de la composición química y potencial del cemento portland". *Primer Seminario de Construcción de Carreteras* (IETCC), Madrid 1961.
- (31) SORIA, F.: Comunicación privada, 1974.
- (32) VERONELLI, D. J. E. y FESSIA, S. D.: "El ensayo de expansión en autoclave como índice de estabilidad del cemento portland. Sus limitaciones y falta de concordancia con el comportamiento en obra del hormigón con expansión restringida". *Cemento-Hormigón*, núm. 409, págs. 245-264 (1968).
- (33) CALLEJA, J.: "Empleo racional de los cementos para los diferentes tipos de obras". *Materiales de Construcción* (IETCC), núm. 180, OCT-NOV-DIC, págs. 15-74 (1980).
- (34) CALLEJA, J.: "Puesta al día de la colaboración científico-técnica española del IETCC con Iberoamérica en el campo del Cemento y del Hormigón". *Cemento y Hormigón*, LII (569), 333-387 (1981).
- (35) CALLEJA, J.: Información privada, 1979.