

PRESCRIPCIONES SOBRE LA CALIDAD DEL HORMIGON EN EL PLIEGO DE CONDICIONES DE UNA PRESA

Ing. C. C. P. J. GARCÍA ROSELLÓ

La antinomia entre calidad y economía en la construcción de las obras de ingeniería se plantea desde el momento de su proyecto, en cuyo pliego de condiciones es preciso intentar resolverla.

En la elaboración de cualquier pliego de condiciones, la tensión entre los principios de calidad y economía es permanente, pero ineludible equilibrarla explícitamente si en la ejecución de las obras se quieren evitar malos entendidos y falsas posiciones en la relación contrata-administración.

Aunque esto es bien conocido de todos los ingenieros, no resulta tan fácil de resolver cuando se redacta un pliego de condiciones para la construcción de una presa, debido a la indeterminación de muchas circunstancias de orden natural que se pueden presentar durante la ejecución, cimentación, condiciones climáticas, riadas, volúmenes de obra, etc.

El pliego de condiciones como documento básico de la contratación y norma en la ejecución de la obra obliga a las dos partes, define el grado de calidad de los materiales y de la propia obra, pero no puede coartar la libertad del contratista en la elección de origen de los materiales, ni de los medios de construcción que estime más convenientes para la defensa de los costes cumpliendo determinadas prescripciones en cuanto a calidad y plazos de ejecución.

Para la próxima construcción de una presa bóveda de 140 m. de altura del sistema hidroeléctrico de nuestra empresa, se ha redactado un nuevo Pliego General de Condiciones para todas las obras de la empresa y también un pliego de condiciones particulares para la obra de dicha presa, de los cuales, con autorización de los coautores nos permitimos transcribir y comentar los artículos relacionados con la calidad del hormigón de la presa, sin más objeto que dar a conocer a los compañeros nuestro punto de vista, agradeciendo de antemano cualquier sugerencia u opinión que sobre este tema se nos comuniquen.

Ante todo, hemos de señalar que el cemento para la ejecución de la presa será suministrado por la administración, y que, por tanto, el contratista no tiene responsabilidad respecto de sus características, aunque éstas están definidas en el pliego de condiciones de la obra.

"Artículo 13. HORMIGONES.

13.1.1.1. Resistencia característica exigida.

Para los hormigones de la obra definitiva se exigen las siguientes resistencias características (determinadas según 13.14.6 a partir de los valores de rotura a compresión de probetas cilíndricas de quince centímetros (15 cm.) de diámetro y treinta centímetros de altura (30 cm.), de veintiocho (28) días de edad:

Hormigón en bóveda y zócalo = doscientos veinte kilogramos por centímetro cuadrado (220 Kg./cm.²).

Hormigón de estribos = ciento ochenta kilogramos por centímetro cuadrado (180 Kg./cm.²).

Hormigón de estructuras armadas = doscientos kilogramos por centímetro cuadrado (200 Kg./cm.²).

Otros hormigones = ciento sesenta kilogramos por centímetro cuadrado (160 Kg./cm.²).

Aunque las resistencias exigidas por la Instrucción de Grandes Presas se refieren a los noventa días de edad se ha preferido en el pliego de condiciones particulares (P. C. P.) establecer las condiciones de control de resistencias de las probetas a veintiocho días con el fin de reducir la espera en el conocimiento de los resultados.

"13.2.2.1. Composición del hormigón.

El Ingeniero Encargado, a la vista de los resultados de los ensayos en Laboratorio con el cemento y áridos que han de emplearse, ordenará la composición que habrá de darse al hormigón para alcanzar en el hormigón patrón resistencias medias superiores a los cuatro tercios de las características ($4/3$ de σ'_{bk}).

Denominamos "hormigón patrón" al definido durante las pruebas de las instalaciones de hormigonado utilizando los áridos y cemento que van a emplearse en la obra.

En el estudio y determinación, mediante ensayos de laboratorio del hormigón patrón, se tiene en cuenta la *resistencia media* y no la característica, ya que no tiene nada que ver la dispersión obtenida en las pruebas iniciales para fijar los distintos tipos de hormigones con la dispersión durante el hormigonado de la presa.

Para traducir a resistencia característica la resistencia media de los ensayos en las pruebas iniciales es preciso estimar la dispersión que se presentará durante la obra.

12

En el caso de nuestro P. C. P. hemos tomado un coeficiente de dispersión $\delta = 0,155$ para situarnos del lado de la seguridad, pues no es probable que en realidad supere el valor 0,12. Con esto resulta una resistencia característica mínima:

$$R_a = (1-1,64 \delta) R_m \cong 0,75 R_m$$

Las resistencias características reales serán superiores a los 3/4 de la resistencia media del hormigón patrón siempre que el coeficiente de dispersión sea inferior a 0,155. En caso contrario, la irregularidad del hormigón sería inadmisibles.

“13.2.6.1. *Consistencia del hormigón fresco.*”

La consistencia de los hormigones frescos, según el destino de los mismos, será la siguiente:

- En zócalo, bóveda y estribos (SECA) con asiento entre cero (0) y treinta (30) milímetros.
- En hormigones moldeados y ligeramente armados (PLÁSTICA) con asientos entre treinta (30) y cuarenta y cinco (45) milímetros.
- En estructuras armadas (BLANDA) con asientos entre cuarenta y cinco (45) y sesenta (60) milímetros.”

13.3.1.1. *Tolerancias en la dosificación.*

Las tolerancias en la dosificación de los hormigones fabricados en las torres de hormigonado son las indicadas para cada una de ellas en 7.1.10.1 r) y 7.1.10.2 r), respectivamente, controlándose, una vez pasado el período inicial de puesta a punto, cada semana por la desviación cuadrática media porcentual de diez (10) pesadas consecutivas según se explica en 7.1.10.1 q).

Para cada dosificador se comprobarán cuantos valores sean necesarios para garantizar que las cantidades dosificadas en la práctica se encuentran dentro de las tolerancias admisibles.

En función de los resultados de la comprobación se procederá a una puesta a punto de la instalación para eliminar los errores sistemáticos o descorrecciones observadas.

Estas comprobaciones podrán distanciarse gradualmente hasta un mínimo de una vez al mes si los errores medidos en todos los dosificadores en dos (2) comprobaciones sucesivas se encuentran dentro de lo admisible.

El Contratista llevará a cabo estas comprobaciones en presencia del personal del Servicio de Control de Calidad de SALTOS DEL SIL, S. A., y bajo sus órdenes.

13.3.7.1. *Empleo de aditivos en el hormigón.*

Como se indica en 4.7 de este Pliego de Condiciones Particulares, en los hormigones de presa y aliviadero se

empleará un plastificante suministrado por SALTOS DEL SIL, S. A.

El Contratista preverá que este plastificante pueda ser de dos marcas comerciales distintas, adoptando las medidas necesarias para proceder a la limpieza de depósitos y tuberías, así como a los cambios de dosificación que sean procedentes.

13.5. *Transporte del hormigón.*

13.5.1.1. Los hormigones de la bóveda, zócalo y estribos de la presa se transportarán y colocarán con blon-dín o grúas.

13.5.1.2. Los hormigones de solera y muros de canales del aliviadero se colocarán con grúas o con el blon-dín de la presa.

13.7. *Puesta en obra del hormigón.*

13.7.1. Una vez limpia y húmeda la superficie de excavación, juntas o encofrados, se aplicará una capa de mortero u hormigón fresco de tamaño máximo cuarenta milímetros (0,040 m.), cuya dosificación establecerá el Ingeniero Encargado.

Este mortero u hormigón inicial se extenderá procurando que rellene completamente las pequeñas irregularidades de la superficie antes de verter la primera capa de hormigón; pero sin alcanzar más zonas que aquellas que vayan a quedar cubiertas por hormigón antes de una (1) hora.

A este respecto, la longitud cubierta por mortero, a la que no ha llegado el hormigón, será menor de ocho metros (8 m.) en todo momento.

13.7.2. Las tongadas de hormigón, en las zonas de la presa en que no se refrigere artificialmente, tendrán una altura de un metro con cincuenta centímetros (1,50 m.) y se hormigonarán por capas sucesivas de espesor aproximado de cincuenta centímetros (0,50 m.), de manera que cada capa se coloque antes de haberse iniciado el fraguado de la anterior subyacente. En las zonas en que el hormigón se refrigere artificialmente podrán admitirse, a propuesta del Contratista, mayores espesores de tongadas, comprendidos entre dos metros (2 m.) y dos metros y medio (2,50 m.) de espesor.

En caso de fallos en las instalaciones generales o en los sistemas locales de refrigeración, la altura de las tongadas se limitará a un metro con cincuenta centímetros (1,50 m.) como máximo.

13.7.3. *Vibración del hormigón.*

Para el hormigón de presa se utilizarán vibradores de inmersión de diámetro mínimo ciento cuarenta milímetros (140 mm.) y de frecuencia de vibración no inferior a nueve mil ciclos por minuto (9.000 c. p. m.).

Estos vibradores se dispondrán en batería, sobre tractor, equidistantes, de modo que produzcan una vibración uniforme que consolide una masa de seis metros cúbicos (6 m.³) en dos (2) minutos.

Para vibrar el hormigón en los puntos no accesibles a las baterías mecánicas se dispondrán en cada tajo un mínimo de dos (2) vibradores de idénticas características a los anteriores, pero adecuados para mover a mano, que completarán el vibrado, trabajando en lo posible en batería para producir un efecto uniforme.

Se pondrá especial cuidado en la vibración del hormigón próximo a encofrados de juntas, pozos, galerías, zonas armadas y aquellos puntos donde haya tuberías o accesorios de refrigeración, drenaje, válvulas de inyección y aparatos de auscultación. El Ingeniero Encargado podrá ordenar el vibrado con los aparatos de mano en estas zonas y dar instrucciones especiales para asegurar la integridad de estos dispositivos.

13.8. *Hormigonado en condiciones climatológicas desfavorables.*

13.8.3. Se cubrirán los silos de áridos y las cintas destinadas a su transporte para evitar que se hielan.

13.8.4. En caso de preverse, en los planes de obra, proseguir el hormigonado durante los meses de invierno; se adoptarán las siguientes precauciones:

a) Se preparará una instalación para el calentamiento del agua de amasado a una temperatura no superior a sesenta grados centígrados (60° C.), procurando que la temperatura del agua, antes de mezclarse con el cemento, no sea superior a los cuarenta grados centígrados (40° C.).

b) El hormigón se protegerá durante su transporte para evitar que su temperatura, al ser colocado en el tajo, sea inferior a diez grados centígrados (10° C.).

c) Los tajos recientemente hormigonados se cubrirán con toldos o colchonetas rellenas de material no putrescible, y se mantendrá, bajo ellos, un ambiente saturado de humedad y con temperatura superior a ocho grados (8.°) centígrados por lo menos durante tres (3) días. Las estufas destinadas a la calefacción del tajo no deberán quedar en contacto directo con el hormigón.

13.8.7. *Hormigonado en tiempo caluroso.*

Los silos de áridos serán cubiertos para evitar el calentamiento de éstos por los rayos solares.

No se utilizará, para el amasado, agua cuya temperatura sea superior a los quince grados centígrados (15° C.).

Durante las épocas calurosas, el Ingeniero Encargado podrá exigir, para el amasado del hormigón, el empleo de agua refrigerada artificialmente, cuya temperatura no sea superior a seis grados centígrados (6° C.).

13.9. *Conservación y curado del hormigonado.*

13.9.1. Si fuera necesario interrumpir el hormigonado de alguna tongada en la bóveda, zócalo o estribos de la presa, el corte será longitudinal; es decir, con sus líneas de nivel sensiblemente paralelas a la cuerda del paramento de agua arriba de la presa en la misma tongada. Si el hormigonado avanza desde agua arriba hacia agua abajo, el corte se limitará con un tablecero inclinado en la proporción de uno horizontal a cuatro vertical (1 : 4) y descendente hacia agua abajo. Si el hormigonado avanza hacia agua arriba se dejará el hormigón con una inclinación de dos en horizontal por uno en vertical (2 : 1), descendente hacia agua arriba y limitando el pie del talud del hormigón por un tablero vertical de veinte centímetros de altura (0,20 m.).

Se evitará la terminación de las tongadas de hormigón, tanto sobre hormigón endurecido como sobre roca o sobre encofrados, formando "cuchillos" terminados en ángulos agudos inferiores a setenta grados (70°).

13.9.2. Se seguirán las prescripciones señaladas en 13.9.2 del Pliego General de Condiciones para garantizar la unión entre tongadas sucesivas de hormigón.

13.9.3. En la bóveda, zócalos y estribos de la presa, y en general en todos los elementos de hormigón de más de tres metros (3 m.) de espesor, no se permitirá hormigonar en el mismo bloque o tajo hasta que hayan transcurrido setenta y dos (72) horas después de haberse concluido el hormigonado de la tongada anterior.

13.9.4. No se admitirá, sin autorización del Ingeniero Encargado, demorar más de siete (7) días el hormigonado de tongadas sucesivas de un mismo bloque o tajo. En caso de preverse, en los programas de ejecución de las obras o ser autorizada por el Ingeniero Encargado una interrupción en el hormigonado de un bloque o tajo superior a siete (7) días, se colocará, parcialmente empotrada en la parte de agua arriba de la última tongada hormigonada, una banda impermeabilizante de cobre, "neopreno" o material plástico no alterable, cuya mitad sobresaliente quedará embebida en el hormigón de la tongada siguiente.

13.9.5. En caso de que el Contratista desee cargar antes de veintiocho días (28) vigas y placas de las diversas estructuras que forman parte de esta obra deberá solicitar autorización del Ingeniero Encargado.

13.9.6 y 13.9.7. Las superficies de hormigón expuestas al aire y los encofrados de madera se mantendrán, húmedos durante un período de al menos veintiocho (28) días a partir de la colocación del hormigón, mediante riego permanente.

13.9.8. Las tuberías que se empleen para el riego del hormigón serán de goma, plástico o material no férreo, prohibiéndose el uso de tuberías de materiales oxidables.

13.9.9. El agua de curado estará exenta de materiales en disolución o en suspensión que pudieran depo-

sitarse en las superficies del hormigón y su temperatura estará comprendida entre los diez grados (10° C.) y los veinte grados (20° C.) centígrados.

13.9.10. Se prohíbe utilizar procedimientos de curado del hormigón mediante mezclas de sellado superficial.

13.9.11. Refrigeración del hormigón.

13.9.11.1. El hormigón de la presa (zócalo, bóveda y estribos) se refrigerará artificialmente mediante circulación de agua por serpentines embebidos en el cuerpo de la misma. Se establecerán dos etapas de refrigeración; la primera con agua del río, y la segunda con agua refrigerada a cuatro grados (4° C.) centígrados.

13.9.11.2. Los serpentines se colocarán de acuerdo con los planos en todas las tongadas, extendiéndolos sobre la superficie del bloque inferior. Se colocarán también serpentines en las tongadas de cimentación.

13.9.11.3. Se utilizará tubo de acero de veinticinco milímetros (0,025 m.) de diámetro exterior y espesor de pared de un milímetro (0,001 m.), como mínimo, sin soldadura, estirado y laminado en frío, recocido y curvable; la unión se efectuará mediante juntas adecuadas que aseguren un cierre completamente estanco.

13.9.11.4. Los serpentines se formarán y colocarán de acuerdo con los planos de forma que la distancia entre tubos contiguos sea de dos metros cincuenta centímetros (2,50 m.).

13.9.11.5. Los tubos que constituyen los serpentines de refrigeración artificial del hormigón se sujetarán firmemente al hormigón endurecido de la tongada correspondiente mediante abrazaderas metálicas, suficientemente próximas, ancladas al hormigón. Los empalmes de los tubos se realizarán con manguitos de tubo de goma para alta resistencia a la presión interior, sujetos al tubo metálico con abrazaderas de presión de buena calidad.

13.9.11.6. Los tubos estarán limpios y sin oxidación apreciable.

Una vez montado el serpentín se conectará el sistema de agua de río, mediante las conexiones elásticas previstas, y se hará circular el agua a la presión de funcionamiento abriendo las llaves de paso. Si alguna junta o algún tubo pierde agua se hará la reparación o cambio necesario hasta que quede comprobada la completa estanqueidad del conjunto.

13.9.11.7. El serpentín se sujetará convenientemente, y durante la colocación del hormigonado, en su primera y segunda capa de vibrado, se mantendrá una circulación permanente de agua a baja presión para detectar las eventuales averías que se produzcan en los serpentines.

13.9.11.8. El Contratista está obligado a tomar todas las precauciones necesarias para que los serpentines no sufran daño. Si durante el transcurso del hormigonado

se observase una disminución del caudal de control circulante o cualquier otra circunstancia que pusiera de manifiesto la inutilización de los serpentines se interrumpirá el hormigonado de la tongada, enrasando la superficie a la altura mitad de la prevista. Esta superficie se tratará como una junta de construcción, y sobre ella se colocarán, por cuenta exclusiva del Contratista, unos nuevos serpentines que sustituirán a los averiados.

El hormigonado del resto de la tongada proseguirá cuando, una vez comprobados los serpentines, lo autorice el Ingeniero Encargado, debiendo adoptarse las mismas medidas y precauciones como si se tratase de la iniciación de una nueva tongada.

13.9.11.9. El caudal circulante por cada serpentín será de un cuarto de litro por segundo (0,25 l./seg.).

13.9.11.10. Las tuberías de distribución se llevarán por los pozos previstos para ello, y la alimentación general de las mismas se hará por las galerías. Las tuberías se protegerán convenientemente y se aislarán térmicamente.

13.9.11.11. Se tendrá en cuenta que todo serpentín deberá conectarse a la red antes del hormigonado del bloque correspondiente y que las tuberías podrán prolongarse sin interrumpir, en ningún momento, la circulación del agua en la zona en servicio.

La conexión se establecerá de forma que cada serpentín pueda conectarse a cualquiera de los dos sistemas (agua de río o agua refrigerada), quedar fuera de servicio o estar sujeto a control para medir el caudal circulante o temperaturas, sin interferir para nada con ningún otro serpentín.

13.9.11.12. El Contratista preverá, ejecutará y mantendrá en perfectas condiciones los accesos, plataformas, escaleras, iluminación y demás detalles de forma que estas operaciones se hagan con facilidad y la inspección y control se lleven a efecto en buenas condiciones.

13.9.11.13. A las veinticuatro (24) horas de comenzado el hormigonado de un bloque, se conectará de nuevo el serpentín correspondiente, estableciéndose por él la circulación de agua de río, que se mantendrá ininterrumpidamente al menos durante un mes. En este primer período no habrá más interrupciones que las estrictamente precisas para el control.

Continuará la refrigeración con agua de río, hasta que se haga el cambio de sistema y se establezca la circulación de agua refrigerada, pudiendo haber, en el intermedio, un período de tiempo sin circulación.

13.9.11.14. No se podrá establecer la circulación de agua refrigerada hasta que la temperatura del bloque sea menos de veinticinco grados (25° C) centígrados, y el tiempo transcurrido desde el hormigonado del bloque sea de dos (2) meses, como mínimo.

13.9.11.15. Establecida la circulación de agua refrigerada, ésta se mantendrá hasta que el bloque haya alcanzado la temperatura final prevista de nueve grados (9° C) centígrados.

13.9.11.16. El conjunto de la instalación y, en especial, la instalación de elevación de agua, la de refrigeración de agua y las redes de distribución, deben asegurar el funcionamiento correcto y continuo del sistema.

13.9.11.17. El sistema de refrigeración de agua de río permitirá, en cualquier momento, tener en circulación, por lo menos, los serpentines correspondientes al hormigón colocado en tres meses.

13.9.11.18. El sistema de refrigeración con agua refrigerada permitirá, en cualquier momento, tener en circulación, por lo menos, los serpentines correspondientes al hormigón colocado en los tres meses de máximo hormigonado y extraer de la instalación el agua necesaria para el hormigonado en tiempo caluroso.

13.9.11.19. Ambos sistemas de distribución tendrán previsto un dispositivo de inversión del sentido de circulación, que se accionará periódicamente. En principio, se prevé la inversión una vez por semana.

13.9.11.20. En cuanto a control se prevén las siguientes operaciones sistemáticas:

a) Al hacer la prueba de cada serpentín, se medirá el caudal circulante, que volverá a medirse una vez hormigonado el bloque y establecida la circulación, en cuyo momento, podrán comprobarse también las temperaturas de entrada y salida del agua.

b) Quincenalmente se hará una medición general de temperaturas. Se elegirá, para ello, un cierto número de bloques representativos, que serán, en principio, los utilizados en la medición anterior, salvo algunos de la zona inferior eliminados y otros de la zona superior, que se miden por primera vez. Se utilizarán bloques alternos en planta. En alzado se elegirán bloques escalonados en toda la altura de la zona en refrigeración. La medición se efectuará interrumpiendo, en todos ellos, la refrigeración durante veinticuatro (24) horas.

c) Se instalarán en ambos sistemas de distribución equipos de medida que den el caudal total circulante y, además, contadores en los distintos ramales. Ocasionalmente, el Ingeniero Encargado dispondrá las restantes operaciones de control que considere convenientes.

Todas estas operaciones de control serán efectuadas por el Contratista, en presencia del personal del Servicio de Control de Calidad de Saltos del Sil, S. A. y bajo sus órdenes.

El Ingeniero Encargado podrá también pedir, diariamente, otros datos de interés general para la marcha de la refrigeración.

Sobre los resultados de las mediciones quincenales, el Contratista preparará, dentro de las cuarenta y ocho primeras horas (48 h.) de la quincena siguiente, un plan general para la misma, que será sometido a la aprobación del Ingeniero Encargado.

13.9.11.21. Deberá preverse:

a) Que la temperatura de los bloques refrigerados no debe aumentar o, en todo caso, que, al inyectar las juntas, los bloques tengan la temperatura final prevista.

b) Que en los bloques de la parte baja de la bóveda pueda interesar someter a una refrigeración más intensa la parte de aguas arriba.

c) Que limitando la altura de tongada a un metro cincuenta centímetros (1,50 m.) se podría prescindir de la refrigeración en las tongadas superiores de la bóveda.

13.10. Acabado del hormigón.

13.10.1. a 13.10.4. Serán aplicables, sin modificación, las condiciones prescritas en los párrafos 13.10.1 a 13.10.4. del Pliego General de Condiciones.

13.10.5. La calidad de terminación de las superficies de los paramentos de la presa vendrá definida por el tipo de encofrado a utilizar, de acuerdo con lo que se prescribe en 14.2.

13.10.6. Los paramentos no encofrados de los vertederos de los aliviaderos central y lateral y la solera del canal de descarga y trampolín del aliviadero y embocaduras de los desagües de fondo, se terminarán con las tolerancias del acabado T-3, según se define en 13.13.6 del Pliego General de Condiciones, pero utilizando una llana de madera en la operación de alisado y, posteriormente, se realizará un fratasado con arpillera húmeda sin adición de cemento.

Las losas de hormigón armado se terminarán en la calidad T-2.

Los muros de hormigón en masa y los estribos en la zona que han de quedar cubiertos por el pavimento, podrán terminarse con el tipo de acabado definido como T-1 en el Pliego General de Condiciones.

13.13. Tolerancias geométricas en los paramentos de hormigón.

13.13.1. No se admitirán desviaciones en el espesor del hormigón de la bóveda de la presa, superiores a veinticinco milímetros (0,025 m.).

Para los espesores de los elementos de hormigón armado, regirán las tolerancias consignadas en 13.13 del Pliego General de Condiciones.

13.13.2. La desviación máxima tolerable de las superficies de los paramentos de la presa, respecto a la teórica de replanteo y siempre que se trate de una desviación suave, no será superior a cinco centímetros (0,05 metros). Los resaltes bruscos en el paramento no serán superiores a cinco milímetros (0,005 m.). La desviación del paramento, respecto de una plantilla de tres metros de longitud no será superior a dos centímetros (0,02 m.).

En caso de resultar alguna parte de los paramentos de presa fuera de las tolerancias antes citadas, el Ingeniero Encargado podrá ordenar la demolición de la tongada afectada por el error o la depreciación de la misma."

En el Pliego General de Condiciones (P. G. C.) se establecen las prescripciones que a continuación transcribimos:

"13.14. Control de calidad del hormigón.

13.14.1. Durante los trabajos de hormigonado el Ingeniero Encargado podrá ordenar la toma de muestras de hormigón fresco en cualquier momento del proceso de hormigonado, así como la realización de los ensayos o medidas que considere convenientes.

13.14.2. Para ello, el Contratista dará las facilidades necesarias para que esta labor de control pueda ser realizada por personal de Saltos del Sil, S. A. afecto al Servicio de Control de Calidad, siendo por cuenta del Contratista los gastos que originen la toma de muestras de hormigón fresco y del peonaje auxiliar necesario para realizar los ensayos en el tajo y para la confección y transporte de las probetas al laboratorio de la obra.

13.14.3. La consistencia del hormigón fresco se determinará por medida del asiento mediante el cono de Abrams (norma UNE 7103) al menos en una muestra de cada 25 masas y cada vez que varíe la dosificación o se sospechen cambios en la consistencia del hormigón.

13.14.4. Si el asiento medido con el cono de Abrams excede en más de 5 mm. de los límites establecidos para el tipo de hormigón de que se trate, se corregirá la dosificación del agua y de los áridos previa determinación de la humedad libre de los áridos y teniendo en cuenta las condiciones climatológicas.

13.14.5. Para los ensayos de resistencia a compresión se utilizarán probetas cilíndricas de quince centímetros (15 cm.) de diámetro y treinta centímetros (30 cm.) de altura, fabricadas y conservadas en obra con arreglo al método de ensayo UNE 7240 y rotas por compresión, según UNE 7242.

Probetas de este mismo tipo podrán utilizarse para los ensayos de resistencia a tracción (ensayo brasileño).

13.14.6. La resistencia característica de un hormigón deducida a partir de una muestra superior a treinta (30) ensayos del mismo tipo, se define como aquella resistencia que tiene una probabilidad del noventa y cinco por ciento (95 %) de ser superada por una muestra cualquiera del hormigón que representa, según se explica en 13.14.7.

13.14.7. La resistencia característica se calculará a partir de la resistencia media y el coeficiente de dispersión del grupo de probetas obtenidos, estos valores me-

dante las fórmulas:

$$\sigma'_{bm} = \frac{\sum \sigma'_{bi}}{n}$$

$$\delta = \frac{1}{\sigma'_{bm}} \sqrt{\frac{\sum (\sigma'_{bi} - \sigma'_{bm})^2}{n - 1}}$$

Y a partir de ellos, suponiendo una distribución normal para los valores obtenidos, la resistencia característica será:

$$\sigma'_{bk} = \sigma'_{bm} (1 - 1,64 \delta)$$

13.14.8. Si el P. C. P. o el Ingeniero Encargado no indican nada sobre el particular, se tendrá como norma confeccionar una serie de seis (6) probetas por cada doscientos metros (200 m.³) cúbicos de hormigón o fracción, de tal modo que haya una serie como mínimo correspondiente a cada día natural de hormigonado.

En caso de hormigonado continuo que no llegue a alcanzar el volumen de doscientos metros cúbicos (200 m.³) al día, se tomará una muestra en cada uno de los relevos.

13.14.9. El número normal de probetas a confeccionar en cada muestra será de seis (6) para romper tres (3) a siete (7) días y otras tres (3) a veintiocho (28) días de edad.

Para obras de cierta importancia el P. C. P. determinará el número de probetas que han de confeccionarse para romper a distintas edades.

13.14.10. Cada vez que se tomen muestras de hormigón fresco para la confección de probetas, se realizarán las siguientes operaciones:

a) Se recogerá en el dosificador una muestra de 5 kilogramos del cemento que se está utilizando para la realización de ensayos referentes a las características del mismo, especialmente las resistencias a las edades de tres (3), siete (7) y veintiocho (28) días en probeta y ensayo normal.

b) Se determinará el contenido de humedad libre de los áridos en cada uno de sus dosificadores.

c) Se determinará el asiento del hormigón en cono de Abrams (norma UNE 7103).

d) Se anotará la composición cuantitativa de todos los ingredientes del hormigón.

13.14.11. La granulometría de los áridos se comprobará de acuerdo con el método UNE 7139 con una frecuencia mínima semanal o cada dos mil quinientos metros cúbicos (2 500 m.³) de hormigón.

La eficiencia de clasificación de tamaños (según 4.5.8.) se comprobará diariamente.

Para estos ensayos, los áridos se tomarán en el punto de dosificación.

13.14.12. La precisión de las básculas en instalaciones automáticas se comprobará, pasado el período inicial de ajuste y puesta a punto, una vez a la semana.

Esta comprobación podrá distanciarse hasta un máximo de una vez al mes si los errores medidos se encuentran dentro de lo admitido en 13.3.1.

13.14.13. Con el fin de evitar la demolición de varias tongadas consecutivas en un mismo bloque, se paralizará el hormigonado de éste, siempre que resulten resistencias a siete (7) días inferiores a las necesarias para prever que las resistencias a veintiocho (28) días sobrepasarán los mínimos fijados en el párrafo 13.14.15. Esta previsión se realizará a base de coeficientes de correlación entre resistencias a siete y veintiocho (7 y 28) días obtenidos en el laboratorio de la obra.

13.14.14. La resistencia característica a la compresión del hormigón (σ'_{bk}) de cada clase ejecutado en un período no mayor de tres meses (3) y representado al menos por treinta ensayos (30), será superior a la resistencia característica exigida para esa clase de hormigón en el Proyecto. En el caso de que esta resistencia característica obtenida sea inferior a la exigida, se impondrá al Contratista una sanción, cuya cuantía se consignará en el P. C. P. en función de la desviación de la resistencia característica y del volumen de hormigón que representan las muestras ensayadas.

13.14.15. No se admitirán en la obra definitiva hormigones cuya resistencia sea inferior al ochenta por ciento (80 %) de la resistencia característica exigida en el Proyecto. Si algún ensayo indicase una resistencia inferior a este valor, el Contratista estará obligado a demoler por su cuenta todo el volumen de hormigón afectado por la baja de resistencia y definido por el Ingeniero Encargado salvo que realizando, al menos, otros dos ensayos, los resultados obtenidos en todos ellos fuesen superiores al ochenta por ciento (80 %) de la resistencia característica exigida. Estos ensayos podrán realizarse con probetas procedentes de la misma muestra de hormigón fresco que estuviesen destinadas a romperse a otras edades, o bien mediante muestras de hormigón extraídas con sonda, de acuerdo con la norma UNE 7241 de los lugares que señale el Ingeniero Encargado.

13.14.16. La resistencia característica obtenida de los ensayos realizados con las muestras de hormigón tomadas en la obra, no será inferior en más de un treinta por ciento (30 %), o el límite que en su caso señale el P. C. P. a la resistencia media obtenida de los ensayos que sirvieron en el laboratorio para determinar la composición de dicho hormigón, según 13.2."

En el Pliego de Condiciones Particulares se han modificado o puntualizado las siguientes prescripciones, siguiendo la misma numeración que en el P. G. C.

"13.14. Control de calidad.

Se mantiene lo indicado en 13.14 del Pliego General de Condiciones, con los siguientes complementos.

13.14.5 Se prevé la realización de un dos por ciento (2 %) de series de probetas cilíndricas de treinta centímetros de diámetro y cuarenta y cinco de altura (30 x 45 centímetros).

13.14.8. Se confeccionará una serie de seis probetas con el hormigón correspondiente a cada una de las tongadas en que se decidan los tajos de hormigonado.

13.14.9. Un cinco por ciento (5 %) de las series correspondientes a cada tipo de hormigón serán de doce (12) probetas, para romper tres de ellas a cada una de las edades de siete (7), veintiocho (28) y noventa (90) días y utilizar las tres restantes para ensayos de rotura por tracción o a compresión a mayores edades.

13.14.11. Las curvas granulométricas reales de los áridos se determinarán, como mínimo, una vez por jornada de hormigonado.

13.14.14. Cuando el resultado de un ensayo arroje un valor inferior a la resistencia característica, pero superior al ochenta por ciento (80 %) de ella, se aplicará al volumen de hormigón representado por el ensayo una devaluación definida por el siguiente coeficiente C_d que multiplicará al precio respectivo:

$$C_d = 125 \left(1 - \frac{\sigma'_b}{\sigma'_{bk}} \right)^3$$

Donde σ'_b es el valor promedio de tres probetas de una misma serie, rotas a la edad de veintiocho (28) días, redondeando a la unidad σ'_{bk} la resistencia característica exigida en la obra o parte de que se trate.

Como ejemplo, la aplicación de este coeficiente produce las siguientes devaluaciones, según la reducción de σ'_b respecto a σ'_{bk} .

% de la σ'_{bk}	% devaluación
100 o mayor	0,00
98	0,10
95	1,56
92	6,40
90	12,50
88	21,60
86	34,30
85	42,19
84	51,20
83	61,41
82	72,90
81	85,74
80,5	92,69
80,8	97,03
80,9	98,51
80,0 o menor	demolición

Cuando la resistencia del ensayo sea menor que el ochenta por ciento (80 %) de la resistencia característica exigida, el Contratista debe demoler, a su costa, todo el hormigón representado en el ensayo y se le cargará, además, el valor del cemento empleado.

La primera (1.^a) vez que la resistencia de un ensayo esté comprendida entre la característica exigida y el ochenta por ciento (80 %) de ésta ($\sigma'_{bk} > \sigma'_b > 0,8 \sigma'_{bk}$) la devaluación resultante según la fórmula anterior se reducirá a su quinta parte (1/5), pero en el caso de que en los diez meses (10) inmediatos siguientes se repita el hecho de tener una resistencia más baja que la característica exigida, se aplicará en su totalidad la devaluación establecida.

13.14.17. Durante el hormigonado será obligatoria la permanencia en obra de un representante del Contratista, con titulación de Ingeniero Técnico o Perito y autoridad suficiente para adoptar las medidas que sean necesarias para el desarrollo de los trabajos, corrección de anomalías imprevistas y, en general, responsabilizarse de las órdenes que dicte el Ingeniero Encargado para estos trabajos.

La sustitución nocturna de este representante del Contratista no podrá hacerse sino por persona de la misma titulación.

13.14.18. Premio en función de la regularidad del hormigón.

13.14.18.1. El hormigón correspondiente al zócalo y bóveda de presa (precios 2.12 y 2.13 del cuadro de precios núm. 1) se controlará estadísticamente calculando mensualmente la resistencia media y el coeficiente de dispersión de los ensayos efectuados con muestras de hormigón de una misma dosificación de cemento por metro cúbico.

Las fórmulas de cálculo son las siguientes:

$$\sigma'_{bm} = \frac{\sum \sigma'_b}{n}$$

$$\delta = \frac{1}{\sigma'_{bm}} \sqrt{\frac{\sum (\sigma'_b - \sigma'_{bm})^2}{n - 1}}$$

donde σ'_b es el valor promedio de la carga de rotura a compresión de tres (3) probetas cilíndricas de quince por treinta centímetros (15 x 30 cm.) rotos a veintiocho (28) días de edad, redondeado a la unidad.

Los ensayos corresponderán todos a un mismo mes natural con un número mínimo de treinta ($n \geq 30$). Cuando en un mes el número de ensayos sea menor de treinta ($n < 30$) se reunirán en un grupo único con ellos los ensayos realizados en el mes siguiente o sucesivos, siempre por meses naturales completos, de hormigones de la misma dosificación, hasta superar el mínimo indicado.

14.18.2. Cuando el valor de δ sea menor que doce centésimas ($\delta < 0,1200$) se abonará al Contratista, por metro cúbico de hormigón colocado, correspondiente a los precios 212 y 213 en ese periodo, el premio que resulte de multiplicar el precio del cuadro 1 por el coeficiente C_a definido a continuación en función de δ :

- A) Para $\delta \leq 0,0800$ será $C_a = 0,0400$.
- B) Para $0,0800 \leq \delta \leq 0,1200$ será $C_a = (0,1200 - \delta)$.
- C) Para $0,1200 \leq \delta \leq 0,1500$ será $C_a = 0$.

13.14.18.3. El importe de estos premios se abonará en la certificación inmediata al mes controlado, una vez que se conozcan los resultados de las roturas a veintiocho días (28 días) y se haya determinado el coeficiente C_a aplicable.

13.14.18.4. Este importe, aunque es función de los precios del cuadro 1 no será revisable por ningún concepto.

13.14.18.5. Como la finalidad de este premio es estimular la ejecución de un hormigón de calidad y ésta es función de un amplio proceso que va desde la obtención de los materiales hasta el curado y puesta en servicio, el Ingeniero Encargado podrá proponer a la Dirección de Saltos del Sil, S. A. la reducción, e incluso anulación, del importe del premio, si el Contratista incumpliera o descuidara las prescripciones relativas a cualquiera de dichas fases u operaciones.

13.14.19. Multa en función de la irregularidad del hormigón.

13.14.19.1. Cuando del control estadístico a que se refiere 13.14.18.1 para los hormigones de zócalo y bóveda de presa, resulten valores del coeficiente de dispersión superiores a quince centésimas ($\delta \geq 0,1500$), se aplicará al Contratista una multa, cuyo importe se calculará multiplicando por el coeficiente C_b el valor del volumen de hormigón representado por los ensayos.

El coeficiente C_b tiene los siguientes valores en función de δ :

- D) Para $0,1500 \leq \delta \leq 0,2200$ será $C_b = 0,1000 - \frac{10}{7} (0,2200 - \delta)$.
- E) Para $\delta \geq 0,2200$ será $C_b = 0,1000$.

13.14.19.2. Esta multa se aplicará a los hormigones de zócalo y bóveda (precios 2.12 y 2.13) haciéndola constar en la certificación inmediata al periodo controlado, una vez conocidos los resultados de las roturas a veintiocho (28) días y el valor C_b aplicable."

Comentarios al artículo 13.14.

En los Pliegos de Condiciones se han fijado dos criterios de aceptación o rechazo de los hormigones ejecu-

tados. El primero se refiere a la aparición esporádica de un resultado aislado de resistencias bajas (artículo 13.14.14), lo cual puede suceder por algún fallo circunstancial en el proceso del hormigonado (desde la cantera hasta la colocación del hormigón). El segundo criterio se refiere a la regularidad del hormigón, de un mismo tipo, colocado durante un determinado período de tiempo.

Las medidas a adoptar en el primer caso dependen de la gravedad del mismo, es decir, de la cuantía de la disminución de la resistencia respecto de un determinado límite inferior y de si se trata de un fallo único o hay reincidencia.

Como límite inadmisibles se ha fijado el 80 por 100 de la resistencia característica mínima exigida en el proyecto, para cada tipo de hormigón. No se ha tomado el 100 por 100 de esta característica, puesto que la propia definición de resistencia característica admite un 5 por 100 de fallos, mejor dicho, que si pudiésemos tomar un número infinito de muestras, el 5 por 100 de ellas presentarían resistencias inferiores al límite exigido. También hay que tener en cuenta que en el concepto de coeficiente de seguridad se incluye la posibilidad de algún defecto de los materiales, además del "factor de ignorancia" del cálculo.

No obstante, con el fin de no acercarnos peligrosamente al límite de lo tolerado, se establecen penalidades económicas, según una parábola de tercer grado, pues tanto la función lineal como la cuadrática, penalizarían excesivamente las pequeñas "faltas" y poco las próximas a la causante de la "demolición" de la obra defectuosa.

En cuanto al criterio de regularidad del hormigón, se establecen premios y multas en función del coeficiente de variación o de dispersión obtenido cada mes.

El período de un mes para el cómputo de la dispersión, se ha fijado así y no en función de un determinado volumen de obra, porque las oscilaciones de calidad en las obras de presas dependen más del tiempo natural que del ritmo de hormigonado. Son debidas generalmente a

variaciones de calidad de las distintas zonas de cantera o gravera, de los agentes atmosféricos, de los cambios de personal en los tajos y también de la época del año.

La regularidad del hormigón no sólo depende del contratista, sino también y en gran parte de la administración. En efecto, el pliego de condiciones, al fijar las prescripciones que han de cumplir los áridos, el cemento y especialmente las instalaciones auxiliares de fabricación y puesta en obra del hormigón, determina de antemano un cierto grado de calidad que forzosamente han de considerar todos los licitadores en el concurso de la adjudicación de la obra. Por otra parte, la inspección y control que la administración no puede eludir en ningún caso, si bien no responsabiliza a ésta de la calidad obtenida por el constructor, colabora eficazmente con éste para adecuar en todo momento las variaciones de los materiales y condiciones de puesta en obra con las exigencias de calidad establecidas en el pliego de condiciones.

Se premia la regularidad del hormigón, es decir, la reducción del coeficiente de dispersión, porque esta reducción, además de aumentar el coeficiente de seguridad final de la obra, permite reducir la resistencia media requerida en el hormigón y, en consecuencia, disminuir la dosificación de cemento, con todas las ventajas que esto supone en una presa, disminución de calor de hidratación, menor riesgo de fisuración, además de una mayor economía.

Justo es que el contratista, por su esfuerzo y colaboración con el personal de la administración, al obtener una mejor calidad y economía de la obra, perciba un premio. Recíprocamente, si a pesar de haberse marcado un determinado nivel de calidad para las fuentes de materiales y para las instalaciones, lo cual supone en el concurso un nivel de precios, luego, durante la ejecución de la obra, el equipo técnico del contratista no consiguiera los resultados que se esperan, no sólo queda defraudada su propia empresa, sino también la comunidad social, lo que indudablemente sería mucho más grave.