

3. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN LAS PRESAS

El concreto también denominado hormigón, es el material resultante de la mezcla de cemento (u otro conglomerante) con materiales agregados (grava y arena) y agua. La mezcla de cemento con arena y agua se denomina mortero.

El cemento, mezclado con agua, se convierte en una pasta moldeable con propiedades adherentes, que en pocas horas fragua y se endurece tornándose en un material de consistencia pétreo.

La principal característica estructural del concreto es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión, pero no tiene buen comportamiento frente a otros tipos de esfuerzos (flexión, cortante, etc), por este motivo es habitual usarlo asociado al acero, recibiendo en nombre de concreto armado, comportándose el conjunto de manera favorable ante las diversas sollicitaciones.

Además, para modificar algunas de sus características o comportamiento, se pueden añadir aditivos existiendo una gran cantidad de ellos: colorantes, aceleradores, retardadores de fraguado, impermeabilizantes, fibras, etc.

3.1 Cualidades y características del concreto de presas

Al concreto de una presa se le exige fundamentalmente las siguientes cualidades: durabilidad, pues estará sometido a la intemperie durante un largo tiempo, impermeabilidad, ya que estará en contacto directo con el agua, a veces con altas presiones y la resistencia debida a las diferentes fuerzas y momentos. Todas estas condiciones se integran en otra sintética, que es la compacidad. Además el concreto deberá ser uniforme en toda la presa.

Aunque pudiera parecer extraño, la resistencia suele ser, en general, la condición menos exigente. En una presa de gravedad de 100 m de altura las compresiones máximas son del orden de 30 kg/cm^2 , que se resisten de sobra por cualquier concreto, y más en las de menor altura, que son la mayoría. Solo las presas de bóveda o de contrafuertes, que concentran las tensiones y las de gravedad superiores a los 150 m pueden exigir una resistencia que condicione las características del concreto. Lo más frecuente es que la buena resistencia del concreto, más que una cualidad deseable por sí misma, sea conveniente como índice de su calidad general en cuanto a compacidad, impermeabilidad y durabilidad.

En primer lugar está la necesidad de fabricar y poner en obra grandes cantidades de concreto con un ritmo uniforme para conseguir ejecutar la presa en un plazo aceptable, que puede ser 2 a 5 ó más años, una alta mecanización, tanto de la fabricación como del transporte y colocación en obra del concreto fresco y sus componentes. Esta mecanización, impuesta por los volúmenes a mover y el ritmo de trabajo, consigue un concreto uniforme en sus características.

Para su correcto transporte, manipulación y colocación en obra el concreto fresco debe tener una buena trabajabilidad. Esta condición, que parecería accidental a primera vista, es fundamental, y no solo para la facilidad de la obra, si no para la calidad del concreto, pues un concreto de granulometría y dosificación teóricamente perfectas, pero poco trabajable, corre el riesgo de disgregarse en el transporte o en la colocación o de no adaptarse a las formas del cimbrado, con los

que pudiera resultar heterogéneo con huecos que mermarían su impermeabilidad, durabilidad y resistencia. La trabajabilidad se convierte así en una cualidad determinante, no solo para la eficacia operacional, sino para la calidad del concreto definitivo.

El concreto de presas ha sufrido una importante evolución en el curso del tiempo. Al principio se daba preferencia a la facilidad de manipulación y transporte, por lo que los concretos eran sueltos, con bastante agua y se transportaban por canaletas de gran pendiente o por tubería articulada que hacían muy fácil su transporte, pero se disgregaba mucho. Esos métodos ya no son utilizados desde hace unas cuatro décadas.

Otra condición importante para el concreto fresco es limitar en lo posible la elevación de la temperatura debida al fraguado del cemento, lo que lleva a tratar de reducir la proporción de éste, sustituyéndolo por aditivos idóneos.

El concepto actual del concreto fresco para presas se basa en conseguir uno que sea manejable, con bajo calor de fraguado y que, endurecido tenga las características requeridas.

Algunas mejoras se logran con:

- El uso de puzolanas y cenizas volantes, permiten disminuir la cantidad de cemento y, con ello, aparte de la economía se consigue una reducción del calor de fraguado, mejorar la manejabilidad e incrementar la durabilidad del concreto final.
- Un cambio en la granulometría respecto a la clásica con un refuerzo en la proporción de los tamaños menos gruesos y selección de los finos. Además de la ganancia de docilidad, el exceso de la porción menos gruesa hace que, con el vibrado, puedan compensarse eventuales efectos de disgregación, lo que permite emplear elementos de transporte del concreto de gran capacidad, como las cintas.

3.1.1 Materiales Agregados

Los agregados pueden proceder de canteras. Los materiales más adecuados son las calizas y granitos. Los primeros, además de ser más fácil su trituración y excavación (si son de cantera) suelen dar mejor resistencia, pues los cristales de caliza reaccionan con el silicato del cemento y quedan adheridos a él. Los granitos suelen precisar un poco más de cemento y son de buen resultado, siempre que tengan una reducida proporción de elementos en descomposición, como la mica. Y a veces se emplean mezclas de calizas y granitos.

Las cuarcitas, que suelen ser muy resistentes, son menos convenientes a causa de su dureza y abrasividad, que desgasta las piezas del triturador y los barrenos de la cantera. Si se dispone de algunos tamaños de ella, pueden utilizarse complementándolos con los de caliza o granito.

En principio no son convenientes los materiales de naturaleza esquistosa, como las pizarras y gneis, pues su forma lajosa es desfavorable para la compacidad y trabajabilidad y tienden a romperse por los planos de esquistosidad, en deterioro de la resistencia, impermeabilidad y durabilidad. Por eso es

preferible no usarlos, e incluso traer otros mas lejanos; pero cuando no hay otros a una distancia razonable, pueden usarse los materiales esquistosos disponibles adoptando las disposiciones adecuadas en obra y, si es preciso, en el proyecto mayores espesores o taludes, o cambio del tipo de cortina.

Tampoco suelen ser convenientes algunas areniscas, por su debilidad y su tendencia a la disgregación.

Es importante analizar si los materiales finos tienen algún componente que pueda producir alguna reacción negativa con el cemento, como ocurre con algunas dolomitas y otros materiales con magnesio, que dan fenómenos expansivos que deterioran el cemento y el concreto. Este defecto se ha observado en algunas presas, y ha aparecido al cabo de varios años de explotación.

Las granulometrías usadas en las presas son en general continuas, pues producen un material más trabajable y uniforme. Las granulometrías discontinuas teóricamente dan mayor densidad, pero su manejabilidad empeora y existe mayor tendencia a la segregación. En principio, una graduación discontinua sólo puede ser admisible por razones económicas.

En general, en grandes presas se usan dos tamaños de arena y tres o cuatro de grava. En las de menor importancia puede bajarse a dos de grava, si la disponible da un resultado aceptable.

En la tecnología del concreto se definen como finos los que pasan por el tamiz de $5 \times 5 \text{ mm}$. Grosos los retenidos por él. El concreto es muy sensible a pequeños cambios de granulometría en los finos y en general el defecto más frecuente suele ser la falta de elementos menores que 0.5 mm en la arena.

Como es imposible conseguir una granulometría exacta, se admiten tolerancias: es práctica común definir como rechazables los tamaños que pasan por una malla $5/6$ de la nominal mínima y los retenidos por una malla $7/6$ de la máxima normal.

En el concreto de las presas se utiliza un tamaño máximo de agregado superior al de otras estructuras, porque su carácter masivo lo permite y su consecuencia en la reducción de cemento lo aconseja. El límite máximo viene dado por la vibración y es de 150 mm . Por eso es normal fijarlo entre 100 y 150 mm , y sólo se baja en algunas presas delgadas o cuando los agregados tienen un bajo coeficiente de forma, en cuyos casos se limita incluso a 80 mm .

La forma tiene un efecto decisivo en la manejabilidad: cuanto más lejana de la esférica, mayor cantidad de mezcla se requiere para cubrir la superficie de los agregados. En general, se aceptan coeficientes volumétricos mínimos de 0.18 para el 83% de los materiales gruesos; por debajo de 0.15 el concreto es inmanejable. Cabe recordar que el coeficiente volumétrico es la relación entre el volumen del elemento y el de la esfera circunscrita a él.

Los agregados extraídos se transportan por diversos medios hasta las instalaciones de trituración y clasificación.

Una vez clasificados, se llevan normalmente a silos, uno por cada tamaño; los gruesos, a veces se acumulan en depósitos, cubiertos o no, pero la arena debe conservarse en silos. Estos cumplen dos

funciones principales: disponer de una reserva que garantice la regularidad del suministro, incluso en caso de avería en la extracción, transporte o clasificación y preservan los agregados de la intemperie además de corregir la humedad en exceso. Esto es de particular interés para la arena.

3.1.2 Cemento y aditivos

El cemento se suministra habitualmente a granel, en la mayor parte de las presas la resistencia necesaria es moderada, por lo que la dosificación de cemento puede ser baja, y en cambio tiene importancia la buena trabajabilidad. El cambio tecnológico con el empleo de aditivos al cemento ha permitido mejor calidad del concreto.

Los más eficaces y usados son las puzolanas naturales y las cenizas volantes (de alto horno o de centrales térmicas), estas últimas son más usadas, pues por su origen artificial son más uniformes y disponibles.

Las puzolanas y cenizas producen los siguientes efectos favorables:

- Una reducción sustancial del cemento, con la consiguiente disminución del calor de fraguado y retracción, además de un menor costo.
- Las puzolanas y cenizas no tienen por si mismas poder aglomerante, pero finamente divididas y en presencia del agua, su sílice amorfa, que es su elemento activo fundamental, se combina con la cal libre de la reacción de fraguado del cemento y da componentes estables, proporcionando una mayor durabilidad del concreto.

La reducción del calor de fraguado y de la retracción es un resultado de gran trascendencia, pues la tendencia del concreto a fisurarse es uno de los problemas más importantes de las presas, que además de afectar a su comportamiento futuro, exige una serie de medidas preventivas que coartan la construcción e influyen en las variables tiempo y costo.

Con los materiales agregados redondeados la dosificación mínima suele ser de 140-160 kg/m^3 (cemento y cenizas) y suele subir a 150-170 kg/m^3 con agregados angulosos de 150-120 mm . Con tamaños menores la dosificación aumenta. En algunas presas construidas con concreto compactado las dosificaciones han sido menores que las indicadas; pero la tendencia es a no bajar excesivamente el contenido global de aglomerante, sustituyendo un mayor porcentaje de cemento por cenizas.

Las cenizas volantes suelen tener el tamaño adecuado para utilizarlas directamente en la obra pero a veces se someten a molienda para romper la cascarilla aluminosa que impide el contacto entre la sílice interna y la cal libre.

Se usan también plastificantes, como los aereantes, que producen minúsculas burbujas de aire en el interior de la masa que aumentan la trabajabilidad del concreto fresco y la durabilidad e impermeabilidad del endurecido. La proporción de aereantes se establece en función de la cantidad de aire incluido en el concreto, que reduce la densidad, por lo que suele limitarse al 2% de huecos.

Otros aditivos como los aceleradores o retardadores de fraguado sólo deben usarse cuando no hay otro remedio en casos de clima muy severo.

3.1.3 Fabricación y Transporte del Concreto

El conjunto de los medios de obra (instalaciones fijas y elementos móviles) debe abarcar la realización conjunta y coordinada de las siguientes actividades:

- Extracción, selección, trituración, transporte, clasificación y ensilado de agregados.
- Recepción y ensilado del cemento y los aditivos.
- Instalación de cimbras.
- Fabricación de concreto.
- Transporte del concreto fresco a la obra y vertido en él.
- Manipulación del concreto fresco: extensión, vibrado, curado y tratamiento de la junta.

La instalación principal del concreto suele ser única. Si existen dos instalaciones paralelas, una en cada margen, pueden ahorrar transportes, pero incrementan el costo. La instalación única, además, permite concentrar en ella la atención con ganancia de eficacia y de control de calidad. La ubicación de las instalaciones debe estudiarse para lograr la máxima economía y con la condición de que la suma de los tiempos de transporte desde el sitio de elaboración del concreto al punto más alejado de la presa, más el de colocación del mismo, sea menor que el plazo de iniciación del fraguado.

Hay dos tipos fundamentales de instalaciones, según la disposición general de los elementos de la cadena de producción del concreto y el movimiento de los elementos constituyentes para fabricar éste: horizontal y vertical. La más usada es la vertical, en forma de torre que en cascada descendente realiza todo el proceso de fabricación del concreto fresco.

La clasificación y dosificación de los componentes se hace siempre por eso. En algunas obras se usa el control electrónico, que da mayor exactitud.

Hay varios sistemas de transporte desde el sitio de elaboración del concreto a la presa que fundamentalmente pueden agruparse en dos: el transporte de unidades discretas de amasado (cazos) y el transporte continuo. Estas últimas de gran capacidad, son propias de presas de gran volumen y, sobre todo, en los métodos de concreto continuo.

El sistema de transporte y colocación de concreto más usado y que da plena garantía de mantenimiento de la trabajabilidad y características del concreto y de no disgregación es el de cazos, que son cilindros verticales, abiertos por arriba para su carga y con una trampilla de dos puertas simétricas abajo, para verter el concreto verticalmente, por gravedad. La apertura de la trampilla se hace manualmente en los cazos de menor tamaño y por aire comprimido en los grandes. La capacidad varía entre 0.5 y 9 m².

El cazo se puede llevar desde la hormigonera a un lugar de la presa por medio de plataformas móviles sobre vía, y allí otro medio o instalación lo toma y lleva hasta la zona de trabajo, en donde se abre y vierte su contenido. Otro procedimiento es el transporte por silobuses, que son trenes de

unidades volquete sobre vía o neumáticos que cargan el concreto del sitio de elaboración y lo llevan a una terminal de descarga en la presa, en donde cada unidad vierte lateralmente a un cazo. Al final este se vierte en el bloque que se está trabajando. En general el silobús proporciona mayor capacidad y continuidad además de ahorrar el transporte de los cazos vacíos y el enganche y desenganche de los mismos para pasar desde el soporte móvil a las grúas o blondinas que los distribuyen en la presa, los silobuses vierten en el cazo, que en este caso está fijo a este elemento de distribución en la presa. En cambio, la instalación es más costosa por lo que el sistema es propio de obras con gran volumen.

Situado el cazo junto a la presa, hay que llevarlo hasta el bloque en el que ha verterá su carga. Esta distribución desde el punto de descarga de la plataforma o silobús a los bloques de concreto de la presa puede hacerse por medio de cables o grúas.

Los cables, blondinas son instalaciones fijas que atraviesan de lado a lado la ladera y se sitúan por encima de la cota máxima de la presa por lo que la dominaran en toda su altura y longitud.

El blondín toma con su gancho el cazo en la plataforma de descarga de los camiones o lo lleva a cargar en los volquetes de los silobuses, lo levanta hasta la vertical del bloque que se está trabajando y lo baja para descargar la mezcla.

La vida de un blondín suele estar entre 1 a 1.5 millones de metros cúbicos de concreto trasportado. Los cables tractores y otros elementos tienen una vida mas corta.

Las grúas dominan un círculo, o más bien un amplio sector, y pueden ser fijas o móviles. Las fijas son las de mayor tamaño, y para cubrir la mayor parte de la obra y en principio suelen necesitar el complemento de otras menores móviles para rellenar las zonas muertas. Los derricks pueden llegar a un gran alcance y capacidad hasta 80 ó 120 m de brazo con cargas de 12 a 20 toneladas.

Las cintas proporcionan un suministro continuo de concreto fresco con una alta capacidad de transporte, normalmente hasta 380 m³/h. Pueden emplearse con tamaños máximos de 150 mm, pero es más normal limitarlo.

El inconveniente principal de las cintas es su tendencia a la disgregación, debida a las vibraciones, pendientes, paso de un tramo de cinta a otra, descarga, paradas y arranques. Esto ha llevado a restringir su uso, pero en los últimos 15 años se ha renovado su empleo en presas de gran volumen en las que la capacidad de transporte es fundamental. El problema de la disgregación se ha reducido notablemente gracias a una tecnología de cintas mas estables: pendientes moderadas, cintas anchas (normal 60 cm) y rígidas, tramos largos (100 a 150 m) para reducir los pasos de uno a otro y sistemas de premezclado en cambios de cinta y en la descarga. Esta se hace lateralmente a otra perpendicular por medio de una chapa deflectora. Gracias a estos dispositivos y precauciones se consigue un aceptable control de segregación pero hay algunos ingenieros que no las admiten cuando se requiere un concreto de alta calidad. Por eso su uso principal puede ser en las presas de gran volumen y en las de concreto compactado en el que no se exige calidad específica y cuyo extendido mecanizado ayuda a corregir eventuales defectos de disgregación.

3.2 Especificaciones para el concreto

A continuación se mencionan dos especificaciones diferentes para concreto, una para cantidades pequeñas de concreto, cuando las estructuras son relativamente sencillas, y otra para los trabajos más complicados que requieren una cantidad mayor de concreto y en los que las estructuras son de tal naturaleza que hay que detallar más la obra y la manera en que se ejecute. Las especificaciones para las obras que requieren un control detallado, no incluyen todos los conceptos que se necesitarían para una gran presa de concreto simple, de gran masa, como podría ser de 100 000 o más yardas cúbicas (76,924 m³) de concreto.

Todas las referencias a “las designaciones” se refieren a las designaciones que aparecen en el apéndice del Bureau of Reclamation Concrete Manual, de la sexta edificación.

Las especificaciones que se dan aquí se aplican, principalmente, al concreto fabricado en lugar de obra. Sin embargo, todos los requisitos se aplican también a los concretos mezclados.

3.2.1 Especificaciones del concreto para obras pequeñas. (Para menos de 200 yd³ ó 154 m³ de concreto.)

3.2.1.1 Materiales

El *concreto* se compondrá de cemento, arena y agregado grueso, agua, incluso de aire y cloruro de calcio cuando se requiera, el cementoso, el inclusor de aire, y los compuestos impermeabilizantes se aceptarán, con la certificación de los fabricantes de que cumplen con los requisitos de las especificaciones. El permiso para proteger un embarque con la certificación del fabricante, no releva en ninguna forma al contratista de hacer el suministro de materiales que satisfagan los requisitos de las especificaciones.

El *Agua* no debe contener cantidades perjudiciales de limo, materia orgánica, álcalis, sales u otras impurezas.

La *arena* y el *agregado grueso* debe suministrarlos el contratista de un banco aprobado. Las partículas de arena deberán ser fragmentos de roca duros, densos, durables, que no estén cubiertos de polvo, que pasen por una criba de 3/16 plg ó 1/4 plg, con aberturas cuadradas.

Al agregado grueso deberá ser de grava natural o piedra triturada, o mezcla de ambos y ser dura, densa, durable, sus fragmentos no deberán estar cubiertos, y no contendrá cantidades dañinas de fragmentos en forma de lascas, materia orgánica, ni otras sustancias dañinas. El agregado grueso debe estar razonablemente bien graduado de 3/16 plg a 1/2 plg, y deberá estar separado en dos tamaños por una criba intermedia con aberturas cuadradas de 3/4 plg. Pueden usarse cribas con otros tamaños y formas, si los resultados que se obtienen son equivalentes. Las especificaciones pueden pedir que los agregados se ajusten a las “Standard Specifications for Concrete Aggregates” de la American Society for Testing Materials.

El *inclusor* de aire se ajustará a lo estipulado en la ASTM Designation.

Las *varillas de refuerzo* deberán satisfacer las especificaciones Federales No. QQ-S-632, tipo II, grado C al G. Si es necesario doblar todas las varillas en curvas de 50 diámetros o menos deberá ser acero de lingote de grado intermedio (grado C). Las *telas metálicas* deberán ser de alambre soldado eléctricamente de acuerdo con la ASTM Designation A 185.

3.2.1.2. Transporte

Los métodos y el equipo usado para el transporte del concreto, y el tiempo que transcurre durante el transporte, deberá ser el que no produzca ninguna segregación apreciable del agregado grueso, o una reducción del revenimiento superior a una pulgada en el concreto al entregarse en la obra. No se permite el retemplado del concreto. El concreto se vibrará hasta que se haya consolidado a la mayor densidad que sea posible, que no tenga bolsas de agregado grueso suelto, y que se ajuste completamente contra todas las superficies de los moldes y materiales ahogados en él. Las superficies expuestas del concreto se conformarán en superficies uniformes y se trabajarán con las herramientas apropiadas para obtener el acabado parejo de una llana de madera o el acabado con llana de acero, de acuerdo a lo que se ordene.

3.2.1.3 Curado

El concreto se curará con agua o por medio de una membrana impermeable. Si el concreto se cura con agua, deberá mantenerse continuamente húmedo durante por lo menos 14 días después de colado, mediante rociadores u otros métodos apropiados por la autoridad contratante. El curado con membranas se obtendrá por la aplicación de un compuesto impermeable, y su aplicación será de acuerdo con los procedimientos contenidos en el Bureau of Reclamation Concrete Manual. Cualquier concreto que se encuentre dañado o defectuoso, debido a las operaciones del contratista, en cualquier tiempo antes de la recepción de la obra, se quitará y se reemplazará por el contratista con concreto aceptable sin ningún costo adicional.

Antes de colocar el refuerzo, las superficies deberán limpiarse del óxido grueso, de las escamas de laminado, de la suciedad y grasa.

3.2.2 Especificaciones para el concreto de las grandes obras

3.2.2.1 Materiales

El tamaño máximo del *agregado grueso* del concreto para cualquier parte de la obra será el mayor de los tamaños especificados, cuyo uso resulte práctico bajo el punto de vista de la buena consolidación del concreto por vibrado. Se usará un agregado de tamaño máximo de 3 *plg* (7.62 *cm*) en los muros que tengan un espesor de 15 *plg* (38.1 *cm*) o más y en las losas que tengan un espesor de 8 *plg* (20.3 *cm*) o más, excepto donde el refuerzo resulte muy tupido, en donde deberá usarse un tamaño máximo menor del agregado que resulte apropiado.

Las proporciones en las que se usan los diferentes ingredientes en las diversas partes de la obra serán las determinadas durante el avance de la obra, y conforme se vayan ejecutando pruebas de

las muestras de los agregados y de los concretos resultantes. Las proporciones de la mezcla y la relación agua-cemento apropiada, se determinarán teniendo como norma el obtener un concreto que tenga una manejabilidad adecuada, densidad, impermeabilidad, durabilidad y la resistencia necesaria, sin tener que usar una cantidad excesiva de cemento. La relación agua-cemento neta del concreto (sin tomar en cuenta el agua absorbida por los agregados) no deberá exceder de 0.60 por peso.

Las pruebas del *concreto* las hará la autoridad contratante, y las proporciones de la mezcla se ejecutarán donde sea necesario con el objeto de obtener la economía que se requiere, manejabilidad, densidad, impermeabilidad, durabilidad o resistencia. Se debe advertir al contratista que no se le harán compensaciones adicionales debido a estos ajustes.

La cantidad de *agua* usada en el concreto se variará según sea necesario, para que el concreto tenga la consistencia apropiada y para compensar cualquier variación de la humedad de los agregados cuando se introducen en la mezcladora. La adición de agua para contrarrestar el endurecimiento del concreto antes de colarlo no se permitirá. Se exigirá que la consistencia del concreto en las diferentes revolturas sea uniforme. El revenimiento del concreto después de que se ha depositado, pero antes de que se haya consolidado, no excederá de 2 *plg* (5.08 *cm*) en el concreto de los remates de muros, pilas, parapetos y guarniciones, y en las losas que son horizontales o casi horizontales; de 4 *plg* (10.2 *cm*) en el concreto de las paredes laterales y en el arco del revestimiento del túnel, y de 3 *plg* (7.62 *cm*) en el resto del concreto.

La autoridad contratante determinará la resistencia a la compresión del concreto por medio de pruebas en cilindros de 6 *plg* (15.24 *cm*) por 12 *plg* (30.5 *cm*) hechos y probados de acuerdo con el Bureau of Reclamation Concrete Manual las muestras de concreto de la que se van a colocar cilindros, las piezas de agregado grueso mayores de 1½ *plg* (3.8 *cm*) se quitarán por cribado o a mano. El contratista hará las pruebas de revenimiento .

Para evitar un envejecimiento indebido del *cemento* en sacos después de recibirlo, el contratista usará el cemento en sacos en el orden cronológico en el que se reciba en la obra. Cada envío de cemento se almacenará de manera que se pueda identificar fácilmente de los demás envíos. Los silos en los que se almacene el cemento a granel serán a prueba de intemperie. Cuando así se ordene, el contratista vaciará y limpiará los silos; sin embargo, los intervalos necesarios entre las limpiezas normalmente no serán menores de 4 meses. El cemento estará exento de terrones y no deberá estar dañado en ninguna otra forma cuando se use en el concreto. Si el cemento se envía en sacos de papel, los sacos vacíos deberán quemarse.

Si lo ordena la autoridad contratante, el cemento se muestreará y probará por el gobierno.

Para los aditivos, en este caso el acelerador, el contratista deberá usar 1% de cloruro de calcio, del peso de cemento, en todo el concreto colado cuando la temperatura media diaria en la vecindad del lugar de la obra sea inferior a 40°F (4.4°C). El cloruro de calcio no se usará en otra forma, excepto con aprobación escrita. Las solicitudes para hacerlo deberán especificar la razón para usar cloruro de calcio y el porcentaje que se pretenda usar, y el lugar en donde se encuentra situado el concreto en el que el contratista desea usar el cloruro de calcio. El cloruro de calcio no se usará en proporciones mayores de 2%, en peso del cemento. El cloruro de calcio se medirá con precisión y se añadirá a la mezcla en una porción del agua de mezcla. El uso del cloruro de calcio en el concreto

no releva en ninguna forma al contratista de la responsabilidad de cumplir con los requisitos de estas especificaciones que se refieren a la protección y curado del concreto. El cloruro de calcio no se usará en concreto que contenga cemento del tipo V. Cuando se especifique cemento del tipo V, se suprimen los requisitos para el uso del cloruro de calcio.

El contratista usará un *inclusor de aire* en todo el concreto. La cantidad de inclusor de aire usada en cada revoltura de concreto será con la que se obtenga el porcentaje de aire incluido que aparece en la Tabla 3.1, en el concreto descargado de la mezcladora:

Tamaño máximo del agregado grueso <i>plg</i>	% total de aire en volumen de concreto
3/4	6 ± 1
1½	5 ± 1
3	4½ ± 1

Tabla 3.1 Tamaño de agregado y porcentaje de aire en volumen de concreto

El inclusor en solución se mantendrá a una concentración uniforme a la revoltura en una porción del agua de mezcla. Esta solución será cuantificada por medio de un dosificador mecánico capaz de hacer medidas seguras. Cuando se usa el cloruro de calcio en el concreto, la porción del agua de mezcla que contiene el inclusor de aire se vaciará separadamente en la mezcladora.

El agua usada en el concreto, mortero y lechada, no deberá contener cantidades dañinas de limo, materia orgánica, álcali, sales y otras impurezas.

La arena para el concreto, mortero y lechada deberá ser arena natural, excepto que se use arena triturada para subsanar las deficiencias.

La calidad de la *arena* deberá consistir en fragmentos de roca que no estarán cubiertos de polvo, y serán duros, densos y durables. Los porcentajes máximos de sustancias perjudiciales en la arena, como se entregan en la mezcladora, no deben exceder de los siguientes valores:

Material	% por peso
Materiales que pasan por la criba No. 200 (designación 16)	3
Esquisito arcilloso (designación 17)	1
Carbón de piedra (designación 17)	1
Terrones de arcilla (designación 13)	1
Total de otras sustancias dañinas (como álcali, mica, granos cubiertos, partículas blandas en forma de laminillas, y migajón)	1

Tabla 3.2 Relación de materiales por porcentaje de peso.

La suma de los porcentajes de todas las sustancias perjudiciales no debe exceder del 5%, en peso. Puede rechazarse la arena que produzca un color más oscuro que el estándar en la prueba colorimétrica para impurezas orgánicas (designación 14). Puede rechazarse la arena que tenga un peso específico menor de 2.60. La arena se puede rechazar si la porción retenida en la criba No. 50

cuando se sujete a 5 ciclos en la prueba del sulfato de sodio para la inalterabilidad, dé una pérdida de peso de más del 8%, en peso.

3.2.2.2 Granulometría

La arena, al dosificarse, estará bien graduada, y cuando se pruebe por medio de las cribas estándar, quedará dentro de los siguientes límites:

Criba No.	% Individual en peso, retenido por la criba
4	0 a 5
8	5 a 15
16	10 a 25
30	10 a 30
50	15 a 35
100	12 a 20
Charola	3 a 7

Tabla 3.3 Por ciento de peso por tamaño de criba.

Agregado grueso. El término “agregado grueso” se usa para designar el agregado graduado de 3/16 plg, y los fragmentos de cualquier tamaño o variación de tamaños que queden dentro de estos límites.

El agregado grueso para el concreto debe consistir en grava natural o roca triturada, o de una mezcla de ambas. El agregado grueso, al entregarlo en la planta dosificadora, deberá tener una humedad uniforme y estable.

El agregado grueso debe consistir en fragmentos de roca que no estén cubiertos de polvo, y que sean duros, densos y durables. Los porcentajes de sustancias dañinas en un agregado de cualquier tamaño, al entregarse en la mezcladora, no deberá exceder de los siguientes valores:

Material	% por peso
Materiales que pase por la criba No. 200 (designación 16)	1
Esquisito arcilloso (designación 18)	1
Carbón de piedra (designación 18)	1
Terrones de arcilla (designación 13)	½
Otras sustancias dañinas	1

Tabla 3.4 Porcentaje de materiales dañinos permitidos en el concreto.

La suma de los porcentajes de todas las sustancias dañinas en cualquier tamaño, al entregarlo en la mezcladora, no deberá exceder del 3%, en peso. El agregado grueso puede rechazarse si deja de satisfacer los siguientes requisitos de las pruebas:

- La prueba de desgaste de Los Angeles (designación 21). Si la pérdida usando la granulometría A, excede del 10% en peso, a 100 revoluciones o 40% en peso a 500 revoluciones. La prueba de inalterabilidad del sulfato de sodio (designación 19). Si el promedio del peso de la pérdida, después de cinco ciclos, es mayor del 10%, en peso.
- Si el peso específico (del agregado saturado superficialmente seco), es menor de 2.60.

3.2.2.3 Clasificación

El agregado grueso deberá clasificarse en los tamaños nominales, y deberá estar graduado como sigue:

Designación del tamaño en pulgadas	Variación nominal de tamaños, en pulgadas	Porcentaje mínimo retenido en las cribas
3/4	3/16 a 3/4	50% en 3/8 plg.
1½	3/4 a 1½	25% en 1¼ plg.
3	1½ a 3	25% en 2½ plg.

Tabla 3.5 Clasificación en función de la graduación del agregado grueso.

El agregado grueso debe cribarse en los silos de la dosificadora sobre cribas estacionarias inclinadas con aberturas alargadas de tres dieciseisavos de pulgada en la menor dimensión. Cuando en la obra tienen que emplearse grandes cantidades de concreto, normalmente mayores de 10 000 yd³ (7,692.3 m³), las especificaciones serán, que en lugar de exigir el cribado del agregado grueso en cribas inclinadas estacionarias, exigirán que el agregado grueso se cribará en cribas vibratorias en la planta dosificadora, a opción del contratista, o montadas en el terreno adyacente a la planta dosificadora. Cuando se especifica un cribado final, las especificaciones deben estipular las cribas con el que se debe hacer, si se instalan en la planta dosificadora, deben montarse de manera que la vibración de las cribas no afecte la precisión de las básculas dosificadoras y que los productos terminados, después del cribado final, deberá pasar directamente a los silos de la planta dosificadora.

En estos casos, el porcentaje de material que pasa la criba para ver si tiene fragmentos de tamaño inferior no debe exceder del 2%, en peso.

La clasificación del agregados grueso en los tamaños especificados deberá hacerse de manera que, cuando se dosifique el agregado, se pruebe en las cribas que se proponen en la tabla 3.6, el material que pase la criba del tamaño inferior no deberá exceder del 3% en peso, y todo el material deberá pasar por la criba de tamaño superior:

<i>Tamaño del agregado, en pulgadas</i>	<i>Tamaño de las aberturas cuadradas de la criba</i>	
	<i>Para la prueba que determina la cantidad de material de tamaño menor</i>	<i>Para la prueba que determina la cantidad de material de tamaño mayor</i>
3/4	Malla número 5 (de las cribas estándar de los EE. UU.)	7/8 plg
1½	5/8 plg	1¾ plg
3	1¼ plg	3½ plg

Tabla 3.6 Tamaño de la abertura de la criba.

3.2.2.4 Dosificación

En general el contratista debe proporcionar el equipo, lo mantendrá y operará, según sea necesario, para determinar y controlar con precisión la cantidad de cada ingrediente separado que entre en el concreto. Las cantidades de cemento suelto, arena, y de cada tamaño del agregado que entre en cada mezcla de concreto se determinará por peso, y la cantidad de agua se determinará por peso o por volumen. Cuando se use cemento en sacos, el concreto se dosificará con la base de sacos enteros de cemento, a menos de que se pese el cemento.

Cuando se acarrea el cemento suelto y los agregados desde una planta dosificadora central a las mezcladoras, el cemento para cada revoltura, se puede colocar en un compartimiento individual el cual, durante el tránsito, evitará que se revuelva con los agregados disminuyendo la pérdida de cemento, o puede ir completamente revuelto y cubierto por los agregados para cada mezcla en un departamento para mezclas. Cada comportamiento debe tener suficiente capacidad para evitar las pérdidas en el tránsito, los derrames y la mezcla de elementos cuando se vacían los comportamientos. Si el cemento va junto con agregados que contengan humedad, y se producen retrasos entre el llenado y el vaciado de los compartimientos, el contratista, por su propia cuenta añadirá una cantidad de cemento extra a cada mezcla, de acuerdo con la siguiente relación:

<i>Horas de contacto entre el cemento y los agregados mojados:</i>	<i>Porcentaje adicional necesario de cemento</i>
De 0 a 2	0
De 2 a 3	5
De 3 a 4	10
De 4 a 5	15
De 5 a 6	20
Más de 6	Se rechazará la mezcla

Tabla 3.7 Relación entre tiempos de retraso y cantidad de concreto por añadir.

El equipo dosificador se construirá y operará de manera que la falta de precisión combinada en la alimentación y medida de los materiales no exceda de 1.5 % para el agua o para el cemento pesado y 2% para cada tamaño de agregado.

El cemento suelto se pesará en una tolva individual y se mantendrá separada de los agregados hasta que el conjunto de ingredientes que constituyen una mezcla se descarguen de la tolva dosificadora.

El equipo para pesar y para medir el agua estarán completamente a la vista del operador.

El contratista debe proporcionar pesas estándar y el equipo auxiliar necesario para comprobar el funcionamiento de cada báscula, o de cualquier otro aparato para pesar y hará pruebas periódicas dentro de la variación de medidas que implica las operaciones de dosificación. Las pruebas se harán en presencia de un representante de la autoridad contratante, y serán las adecuadas para probar la precisión de los aparatos de medida. A menos de que se ordene otra cosa, las pruebas del equipo en operación se harán cuando menos una vez al mes. El contratista debe hacer los ajustes, reparaciones o cambios según sea necesario para satisfacer los requisitos especificados para la presión de las medidas.

Los ingredientes del concreto deberán mezclarse de manera intermitente durante no menos de 1½ *min* después de que todos los ingredientes, excepto la cantidad total del agua esté en la mezcladora el peso unitario del mortero sin aire incluido en muestras tomadas de la primera y última porción de la revoltura, como se descarga de la mezcladora no varían más de 0.8% del promedio de los dos pesos del mortero, el promedio de variabilidad para seis revolturas no excede de 0.5%, y el peso del agregado grueso por pie cúbico no varía más de 5.0% del promedio de los dos pesos de agregado grueso.

El concreto, como se descarga de la mezcladora, deberá ser de composición y consistencia uniformes en toda la mezcla, excepto cuando son necesarios cambios en la composición o en la consistencia.

El agua se añadirá antes durante y después de cargar la mezcladora. No se permitirá un exceso de mezclado que requiera la adición de agua para conservar la consistencia requerida en el concreto. Solamente se permitirán las revolventoras montadas en caminos, cuando las mezcladoras y su operación sean tales que el concreto de una mezcla de acuerdo a la consistencia y granulometría.

Las mezcladoras no se cargarán en exceso de su capacidad de régimen, a menos de que se autorice específicamente. Cada mezcladora estará equipada con un dispositivo sincronizador y de señales, que indique y asegure la duración del periodo de mezcla necesario y que lleve el registro del número de mezclas.

3.2.2.5 Temperatura del concreto

La temperatura del concreto, cuando se cuele, no debe ser mayor de 90°F (32.5°C), en tiempo moderado, o de 50°F (10.0°C) en épocas en las que la temperatura media puede descender a menos de 40°F (4.5°C). Los ingredientes del concreto no se deben calentar a una temperatura más elevada que la necesaria para mantener la temperatura del concreto mezclado y colado sobre los 50°F (10.0°C) especificados. Los métodos que se empleen para calentar los ingredientes del concreto deberán estar sujetos a aprobación.

Cuando la temperatura del concreto, al colarse, pueda estar entre 80°F (26.7°C) y 90°F (32.5°C), el concreto se mezclará en la obra y se descargará inmediatamente después de mezclarlo. Si el concreto se cuela cuando el tiempo es tal, que la temperatura del concreto exceda la de 90°F (32.5°C), según lo ordene la autoridad contratante, el contratista deberá emplear medios efectivos, como el de enfriar antes los agregados y el agua de mezcla y colocar en la noche, según sea necesario para conservar la temperatura del concreto, cuando se cuela, debajo de 90°F (32.5°C). Debe advertirse al contratista que no se le hará ninguna compensación adicional por satisfacer los requisitos anteriores.

3.3 Cimbrado

Se usarán cimbras, donde sea necesario, para confinar y darle la forma requerida al concreto. Las cimbras deben tener la resistencia suficiente para soportar la presión resultante del colado y de la vibración del concreto, y se mantendrán firmemente en su posición. Las cimbras deben ser suficientemente cerradas para evitar que se salga el mortero del concreto. En las aristas de los moldes se colocarán tiras de madera para que en el concreto que va a quedar expuesto se formen chaflanes.

Los forros o recubrimientos de las cimbras de madera deberán ser de una calidad y clase, o estarán de tal manera tratados o recubiertos, que no se produzca deterioro o decoloración química en las superficies del concreto colado.

Al colar el concreto en las cimbras, éstos deberán estar exentos de incrustaciones de mortero, lechada, o de otras materias extrañas. Antes de colocar el concreto, se deberán aceitar las superficies de las cimbras, con un aceite comercial que evite efectivamente el que el concreto se pegue y que no manche las superficies del concreto. Para las cimbras de madera, el aceite consistirá en vaselina pura, refinada, pálida. Para las cimbras de acero, será un aceite mineral refinado, compuesto con uno o más ingredientes adecuados para este fin.

Para facilitar el avance satisfactorio con el curado específico, que permita la más pronta reparación de las imperfecciones de la superficie, las cimbras se deberán quitar tan pronto como el concreto haya endurecido suficientemente para que no se produzcan daños quitando cuidadosamente las cimbras. Las cimbras en la parte superior de los paramentos inclinados de concreto, como las cimbras del lado del agua, de las transiciones en contacto con el agua, de las transiciones alabeadas, se quitarán tan pronto como el concreto haya endurecido lo suficiente para que no se corra. Cualquier reparación o tratamiento necesario se ejecutará enseguida.

Para evitar los esfuerzos excesivos en el concreto que pueden provenir del hinchamiento de las cimbras, las cimbras de madera para las aberturas de los muros se deberán aflojar tan pronto como esto se pueda hacer, sin dañar el concreto. Las cimbras para las aberturas se construirán de manera que se puedan aflojar con facilidad. Las cimbras para los conductos y los revestimientos de los túneles no se quitarán, hasta que la resistencia del concreto sea suficiente para impedir la formación de grietas perceptibles, la ruptura de aristas o paramentos, u otros daños al concreto.

3.4 Colocación de refuerzo

El acero de refuerzo se colocará en el concreto donde lo indiquen los planos, o donde se ordene. A menos de que se indique otra cosa, las medidas para colocar las varillas será en el eje centroidal de las varillas. El refuerzo se inspeccionará para verificar si se cumple con los requisitos respecto a diámetro, forma, longitud, empalmes, posición y cantidad después de que ha sido colocado.

Antes de colocar el refuerzo, se deberán limpiar de óxido, las superficies del refuerzo y la superficie de cualquier soporte metálico, lo mismo que de escamas de laminación, suciedad, grasa, o de otras sustancias extrañas que, en opinión de la autoridad contratante, perjudiquen. Las escamas gruesas de óxido se pueden quitar tallándolas con fuerza con pedazos de yute o con un tratamiento semejante, si se considera perjudicial. Después de colocado, el refuerzo se mantendrá limpio hasta que esté completamente ahogado en el concreto.

El refuerzo se colocará con precisión y se sujetará firmemente en su sitio, de manera que no se mueva durante el colocado del concreto, y se tendrá un cuidado especial para evitar cualquier movimiento del refuerzo del concreto que ya esté colado. El contratista puede suministrar silletas metálicas soportes colgantes metálicos satisfactorios; y usarlos para soportar el refuerzo. El refuerzo en las estructuras se colocará de tal manera que habrá una distancia libre de cuando menos 1 plg entre el refuerzo y cualquier perno de anclaje o de cualquier otra pieza metálica ahogada.

3.5 Colado

No se colocará ningún concreto hasta que se hayan aprobado todas las cimbras, la instalación de las partes que van a quedar ahogadas, y la preparación de las superficies que abarca el colado. Ningún concreto se colará en agua, excepto con permiso escrito de la autoridad contratante, y el método para depositar el concreto se sujetará a su aprobación. El concreto no se colará en agua corriente y no se sujetará al efecto de la misma hasta que haya endurecido. Todas las superficies de las formas y los materiales que van a quedar ahogados, que se hayan cubierto con mortero seco o lechada de concreto colado anteriormente, se limpiarán, antes de que se cuele concreto alrededor o adyacente.

Inmediatamente antes de colar concreto, todas las superficies de la cimentación sobre o contra las cuales se vayan a colar el concreto, no deberá contener agua estancada, lodo ni basuras. Todas las superficies de la roca sobre o contra las que se vaya a colar, deberán además de los requisitos anteriores, estar limpias y libres de aceite, revestimientos perjudiciales y de fragmentos sueltos, medio despegados o alterados. La cimentación de tierra no deberá estar congelada o contener hielo cuando el concreto se cuele sobre ellas. Las superficies de las cimentaciones absorbentes contra las que se vaya a colar concreto deberán humedecerse bien, para que no vayan a absorber agua del concreto fresco.

Las superficies de concreto, sobre o contra las cuales se va a colar concreto y a las cuales se debe adherir el concreto nuevo, que se han hecho tan rígidas que el concreto nuevo no se puede incorporar integralmente con el anteriormente colocado, se definen como juntas de construcción. Las superficies de las juntas de construcción deberán estar limpias y mojadas cuando se cubran con concreto o mortero frescos. La limpieza consistirá en quitar la capa vieja del concreto, el concreto

suelto o defectuoso, recubrimientos, arena, compuestos impermeables si se usan, y otras materias extrañas.

Las superficies de las juntas de construcción deben limpiarse con un chiflón con arena y agua, y luego lavarlas cuidadosamente. El sopleado y lavado se ejecutará hasta lo último antes de colar el concreto. Las superficies de todas las juntas de construcción se lavarán cuidadosamente con chiflones de agua y aire, inmediatamente antes de colocar el concreto adyacente. Se quitarán todos los charcos de agua de las superficies de las juntas de construcción antes de colar el concreto nuevo. Las superficies de todas las juntas de construcción se limpiarán cuidadosamente del chorreamiento del concreto o de cualquier otro material extraño raspando, golpeando, o por cualquier otro medio aprobado por la autoridad contratante.

Los métodos y equipo usado para el transporte del concreto y el tiempo que transcurre durante el mismo deben ser tal, que no produzca una segregación apreciable del agregado grueso, o una pérdida de revenimiento mayor de 1 *plg*, en el concreto al entregarlo en la obra.

Después de que se han limpiado las superficies y mojado como se ha especificado, las superficies de la roca y las juntas de construcción sin cimbra se cubrirán, siempre que sea posible, con una capa de mortero de aproximadamente $\frac{3}{8}$ *plg* de gruesa. El mortero deberá tener las mismas proporciones de agua, inclusión de aire, cemento y arena que la revoltura regular de concreto, a menos de que ordene otra cosa. La relación agua-cemento del mortero en el lugar no deberá superar a la del concreto colocado encima del mismo, y la consistencia del mortero será la adecuada para el colado y para trabajarlo de la manera que se especifica. El mortero deberá extenderse uniformemente y se trabajará cuidadosamente en todas las irregularidades de la superficie. El concreto se colocará de inmediato sobre el mortero fresco.

No se permitirá el reemplado del concreto. Cualquier concreto que se haya endurecido hasta no poder asegurar su colado correcto, se desechará. En todos los casos, el concreto se depositará tan cerca como sea posible, directamente en su posición final y no se correrá, de manera que su movimiento lateral permita o cause segregación del agregado grueso, del mortero, o del agua de la masa de concreto. Los métodos y el equipo empleando para depositar el concreto en las cimbras serán los que no permitan que el agregado grueso no forme acumulaciones separadas de la masa de concreto, y en el caso de que ocurran, deberán quedar diseminadas antes de vibrar el concreto. Unos cuantos fragmentos aislados de agregado grueso que pueden incorporarse en la masa con el vibrado no tienen importancia.

El concreto del revestimiento de los túneles puede colocarse por bombeo o por cualquier otro método aprobado. El concreto de la cubeta no se colocará con el equipo usado para colar el concreto, y el método que se emplee en su operación, deberá ser el que permita la introducción del concreto en las cimbras y que descargue lentamente para que no se segregue. Después de que el concreto se ha acumulado sobre el arco, al principio de un colado, el extremo de la tubería de descarga se mantendrá introducido en el concreto durante el colado del arco y las paredes laterales, para tener la seguridad de se llenen completamente. El extremo del tubo de descarga deberá estar graduado para saber a qué profundidad está sumergido en cualquier tiempo. Debe tenerse un cuidado especial para que el concreto penetre en todas las irregularidades de la superficie de la roca y que se llene completamente el arco del túnel. Deberán operar el equipo de colado solamente personal experimentado. En el revestimiento de los túneles deben evitarse las juntas por interrupción

de las operaciones de colado, siempre que sea posible. En el caso de descompostura del equipo, o en el que se interrumpa por cualquier otra razón el colado continuo, el contratista debe consolidar con escrúpulo el concreto en esas juntas a un talud razonablemente uniforme y estable mientras el concreto está blando. El concreto de la superficie de estas juntas involuntarias de construcción debe limpiarse y mojarse, como es necesario para las juntas de construcción, cubrirlas con mortero fresco y concreto.

Excepto por las intercepciones formadas por las juntas, todo el concreto que se vaya a vaciar en moldes, excepto el revestimiento de los túneles, debe colocarse en capas continuas aproximadamente horizontales, cuyo espesor, en general, no debe exceder de 20 plg (50.8 cm). Será necesario colar capas de menor espesor, cuando las de 20 plg (50.8 cm) no se puedan colocar de acuerdo con los requisitos de estas especificaciones. Todas las intersecciones de las juntas de construcción con las superficies de concreto que queden visibles, deberán hacerse rectas y a nivel o a plomo.

3.5.1 Consolidación

El concreto deberá consolidarse a la mayor densidad que sea prácticamente posible, de manera que no contenga acumulaciones de agregado grueso ni huecos llenos de aire, y que quede apretado en contacto con todas las superficies de las cimbras y las de los materiales ahogados en él. La consolidación del concreto de las estructuras y en la cubierta de los revestimientos de los túneles se hará mediante vibradores eléctricos o neumáticos del tipo de inmersión. La consolidación del concreto de las paredes laterales y el arco del revestimiento de los túneles se hará por medio de vibradores eléctricos o neumáticos del tipo para usarse en los moldes, ayudados, cuando sea posible, por otros del tipo de inmersión. Los vibradores de concreto se operarán a velocidades de cuando menos 7000 rpm cuando sean de inmersión. Los vibradores para las cimbras, deberán estar unidos rígidamente a ellos, y deberán operar a velocidades de cuando menos 8000 rpm cuando estén vibrando concreto. Al consolidar cada capa de concreto, el vibrador debe operarse en una posición aproximadamente vertical y se debe permitir que el bulbo del vibrador penetre y vuelva a vibrar la porción superior de la capa anterior. Cada capa de concreto no se debe colocar hasta que el anterior se haya vibrado completamente como se ha especificado. Debe tenerse cuidado en que el bulbo del vibrador no quede en contacto con las superficies de las cimbras.

3.6 Juntas

La presa requiere un material homogéneo para lograr zonas de igual resistencia e impermeabilidad isotrópicas y continuas. Pero es imposible trabajar una masa tan grande sin discontinuidad, porque la jornada laboral impone, en general, unas horas y días de descanso; pero aun con trabajo en tres turnos hay interrupciones accidentales o estacionales por condiciones climáticas extremas. Pero, sobre todo, el concreto se retrae y se fisura, por lo que por necesidad funcional hay que poner juntas o dispositivos para evitarlos.

Por lo anterior se realiza una división de la presa en unidades de concreto independientes que después hay que tratar para que queden trabadas y unidas entre sí y la presa funciones estructuralmente como una masa continua.

En primer lugar, la presa se divide en áreas verticales de ancho uniforme y caras planas verticales normales al eje de la corona. En las de gravedad, tanto macizas como aligeradas, las caras verticales constituyen unas juntas permanentes que permiten que las áreas puedan seguir las oscilaciones térmicas sin coacción ni agrietamiento, e incluso otros movimientos relativos, con independencia. Evidentemente, deben ir provistas de un elemento de “estanqueidad” flexible en toda su altura que impida el paso del agua dejando libre el movimiento relativo entre las áreas adyacentes.

El ancho normal de las áreas es de 15 m, que la práctica ha dado como bueno para evitar la fisuración, pero hay una tendencia a aumentarlo en grandes obras, normalmente con un límite de 20 m.

Desde el punto de vista del concreto, y con independencia de que las juntas se sellen o no posteriormente, las juntas separan y definen grandes bloques que, a su vez, hay que trabajar por unidades parciales, pero de forma que luego se traben entre sí para constituir bloques de corta altura para facilitar el extendido del concreto fresco y su enfriamiento posterior antes de extenderse sobre el bloque horizontal siguiente.

La altura del bloque horizontal es de 2 m con enfriamiento natural o de 3 m con refrigeración artificial.

Normalmente cada bloque horizontal se trabaja por capas sucesivas y superpuestas de 40 a 75 cm de espesor; cada capa se extiende de aguas abajo hacia aguas arriba y se vibra sobre la anterior. El concreto de cada capa no debe comenzar a fraguar hasta que la capa siguiente haya sido completamente extendida y vibrada, para que la adherencia entre ambas sea completa; de otra forma quedaría una junta imperfecta, de menos resistencia y con riesgo de facilitar la filtración desde el embalse.

3.6.1 Tratamiento de las juntas horizontales de concreto

Al terminar de vaciar el concreto de un bloque horizontal hay que someter su superficie a un tratamiento para dejarla en condiciones de que traben con el siguiente bloque, que se echará unos días más tarde; y por otra parte, a un proceso de curado, para mantener el debido grado de humedad.

El tratamiento de la superficie recién trabajada se basa en que el aglomerante se adhiere a los agregados limpios, pero traba mal con los que no lo están; por eso, para que una mezcla fresca se una a otra ya endurecida es preciso que esta última esté libre de la capa superficial; librada de ella, la adherencia es similar a la que se obtiene con agregado limpio. Por supuesto, dos masas frescas de concreto traban bien entre sí, como sucede con dos capas del mismo bloque, siempre que se cumpla la condición de fraguado. El tratamiento superficial solo se refiere a la superficie final de bloque, por que estará ya endurecida cuando fragüe sobre ella el siguiente bloque.

La buena unión entre el concreto de distintas edades de dos bloques sucesivos exige, que el más antiguo esté totalmente limpio y desprovisto de la capa superficial mal fraguada que refluye del vibrado. Conseguir todo esto es el objeto de los tratamientos que, expuestos en grado creciente de intensidad y costos son:

- Chorro de agua y aire a presión.
- Chorro de arena.
- Cepillado o picado.
- Chorro de agua a muy alta presión.

El primero, muy económico y muy eficaz, es universalmente usado para el tratamiento rutinario de juntas horizontales. El segundo mas costoso, se utiliza en circunstancias especiales y los otros dos como complemento de los anteriores, localmente o en situaciones específicas.

El chorro de agua y aire se lanza sobre la superficie del concreto con una presión mínima de cuatro a cinco kg/cm^2 , lo que proporciona un buen grado de erosión.

Este tratamiento es el más económico y fácil de emplear, pues los materiales que usa son elementales, y más en un río, en donde se dispone de agua. El desgaste de las boquillas lanzadoras es también mínimo. Su gran virtud consiste en que tiene el suficiente poder erosivo para remover lo que sobra que es lo más débil, pero insuficiente para moverlo conservable.

3.6.2 Concreto de la cimentación

Al cimentar un bloque hay que tomar ciertas precauciones, ya que no se trata de trabajar sobre una superficie lisa horizontal, sino sobre roca irregular rugosa y más o menos inclinada.

El bloque de arranque se hace con menor altura para acoplar mejor el bloque a la irregularidad del terreno, acelerar su enfriamiento y servir de transición al concreto normal, es recomendable que en el arranque se quite la fracción más alta del material grueso. Si dada la inclinación o la irregularidad de la roca el bloque de espesor reducido no llegara a cubrir toda la base del bloque, los bloques siguientes se harán de igual forma, hasta cubrir totalmente el cimientado del bloque con ese espesor mínimo, a partir del cual se continua con los bloques normales.

3.6.3 Tratamiento de las juntas endurecidas

En esos casos se acude al chorro de arena. Este es más enérgico, pues el material es abrasivo y tiene más masa y energía cinética. Además, al producir impactos puntuales, el efecto erosivo se concentra y es más eficaz. Por ello el chorro de arena puede levantar y quitar la película ya fraguada.

Para asegurar la unión de dos concretos de distinta edad se acude con frecuencia a las resinas epóxicas, cuyas características hay que estudiar para que se ajusten a las del concreto. En las juntas horizontales de larga interrupción es aconsejable poner además, una banda transversal (vertical) de PVC para impedir la filtración de agua desde el embalse.

3.6.4 Juntas de larga interrupción de concreto

Las interrupciones de concreto programadas o previsibles, sea por causas climáticas o estructurales, se proyectan de forma que la superficie provisional tenga una forma adecuada para facilitar el enlace con el concreto posterior y el trabajo estructural conjunto: se cuenta con que su tratamiento producirá una aceptable adherencia con el concreto posterior, pero previendo posibles defectos se diseñan de forma que los esfuerzos en las caras sean de compresión, y en lo posible dentro del ángulo de fricción, para no tener que contar con la cohesión.

Las juntas producidas por interrupciones inesperadas no pueden, evidentemente, dejarse con la forma idónea y sólo cabe tratarlas después adecuadamente, reforzando su adherencia con resinas epóxicas o incluso con armaduras, si fueran necesarias. En casos intermedios, de sucesos previsibles, pero indeterminados (por ejemplo, avenidas en época próxima), cabe preparar mas o menos la superficie con una forma adecuada.

3.6.5 Juntas verticales en las presas de arco

Las presas en arco también se pueden construir por bloques, como las de gravedad. En cañones estrechos se suelen construir arcos enteros en la parte baja hasta que el ancho sea del orden de 20 a 30 m, a partir del cual se va dividiendo en ménsulas.

El menor espesor de las presas bóveda permite, en general, prescindir de las juntas de construcción longitudinales paralelas a la corona y los bloques de concreto abarcan de uno a otro paramento, sin división.

Las juntas transversales de las presas arco son radiales; pero no pueden permitir el juego de dilataciones y contracciones que ocurren por efecto de los cambios de temperatura, porque la presa arco debe funcionar como tal, y eso obliga a que sus secciones horizontales obviamente no puedan tener discontinuidad radial.

Antiguamente se usaban juntas abiertas, con secciones horizontales similares para garantizar la unión de la junta. Pero el problema es esencialmente distinto en una presa arco que en una de gravedad: en ésta ya se ha dicho que los esfuerzos tangenciales en una junta vertical son importantes respecto a los normales, por lo que la cohesión es imprescindible; por el contrario, en las juntas radiales verticales de una presa arco los esfuerzos normales son notables, y la resultante no suele estar, muy inclinada respecto a la normal, por lo que el rozamiento absorbe todo el esfuerzo tangencial o menos, la mayor parte. Por ello, la adherencia en la junta conveniente, no es tan imperativa como en una de gravedad.

Para mayor garantía de impermeabilidad es aconsejable colocar cerca del parámetro mojado una banda trasversal de impermeabilización en toda la altura de la junta.

Las juntas verticales de las presas arco se convierten en inclinadas con frecuencia, en las proximidades del cimientto para buscar una incidencia normal a esto, acercándose a la transmisión de los esfuerzos, y para evitar las fisuras que, de no hacerlo, tendería a producirse en esta dirección.

3.6.6 Observaciones sobre la inyección de juntas

La inyección de las juntas persigue los siguientes objetivos:

- Rellenar los huecos que puedan quedar entre dos bloques.
- Dar cohesión entre las dos superficies.
- Proporcionar una compresión inicial (solo en juntas radiales).

Para conseguir una buena penetración en la junta que llegue a todos los puntos de ella la inyección debe tener una cierta fluidez. Para conseguir un buen fraguado que asegure la calidad y cohesión la mezcla debe tener, por el contrario, una adecuada y baja proporción agua/cemento.

Ambas exigencias contrapuestas pueden hacerse compatibles por medio de un tratamiento operativo en dos fases.

Se inyecta una mezcla suficientemente fluida para que pueda penetrar por toda la superficie a inyectar. El área total de ésta se fracciona en áreas parciales para facilitar la penetración y el control de la operación.

Alcanzada por la inyección toda la superficie a inyectar, el mantenimiento de la presión hace que el agua sobrante, dañina para el fraguado, vaya fluyendo hacia el exterior a través de unos filtros instalados en el contorno, que dejan pasar el agua, pero no el cemento. De esta forma la mezcla se va enriqueciendo progresivamente hasta lograr la dosificación deseable.

A veces conviene adelantar el cierre de las juntas a una época poca adecuada (con la presa aún no enfriada suficientemente), para adelantar la explotación parcial del embalse o por que se prevé su puesta en carga accidental e inevitable por una avenida que supere la capacidad del túnel de desvío. En este caso, de no hacer el sellado de las juntas, existe el riesgo de que el empuje hidrostático se aplique sólo sobre las áreas separadas (al no estar aún formados los arcos) y éstas pueden no ser capaces por si solas de resistirlo, aunque la altura de agua sea parcial. Se puede hacer un primer sellado suficiente para trabar los arcos (aunque sea imperfecto en cuanto a permeabilidad), y mas tarde, con la presa fría y contraída se hace una segunda inyección para completar la primera y compensar la contracción que, entre tanto, habrá sufrido la presa.

Según la importancia de la obra, los medios disponibles y la tecnología del constructor el proceso de inyección puede presentar variantes. En las presas menores se suele preferir una inyección por sectores individualizados, con lo que se logra un mayor control. En presas grandes se suelen inyectar varias superficies simultáneamente por medio de una red controlada, y luego se reinyectan las partes que hayan quedado defectuosas.

Las juntas de contracción permitirá la libre dilatación y contracción longitudinal de la presa. Para ello se hacen de forma que los hormigones adyacentes no peguen, y se añade un dispositivo para que no pueda penetrar el agua del embalse.

Este dispositivo se sitúa aguas arriba, a poca distancia del parámetro (1 a 2 m), y consta de una o dos bandas de cloruro de polivinilo o de neopreno paralelas y transversales a la junta y empotradas

unos 25 a 40 cm en los hormigones de cada lado, figura 3.1. La banda es flexible, y eso le permite seguir los movimientos térmicos relativos de los bloques. La flexibilidad se refuerza con un bulbo central de la banda. Para dificultar que el agua pueda contornear la banda mermando su eficacia, esta provista de unas salientes. Las dos bandas duplican su efecto y hacen que la segunda pueda detener la filtración que pudiera pasar por la primera y hacen que la segunda pueda detener la filtración que pudiera pasar por la primera.

Una inyección entre ambas completa la impermeabilidad. Rara vez se colocan tres bandas, con lo que la garantía es aún mayor. Aguas abajo del conjunto debe ponerse un dren vertical que enlace con las galerías de control.

Al hormigonar, la banda se suele doblar en ángulo recto, con la mitad sujeta al encofrado o cimbra y la otra normal, para quedar embutida en el concreto. Una vez endurecido el bloque y quitada la cimbra, la mitad plegada recupera su forma y queda preparada para hacer englobada por el concreto adyacente. También es frecuente que el cimbrado albergue la banda en una junta para evitar su doblado. Las bandas de polivinilo se usan también como elementos impermeabilizantes en juntas de construcción en contacto con el embalse aunque no estén sometidas a movimientos térmicos.

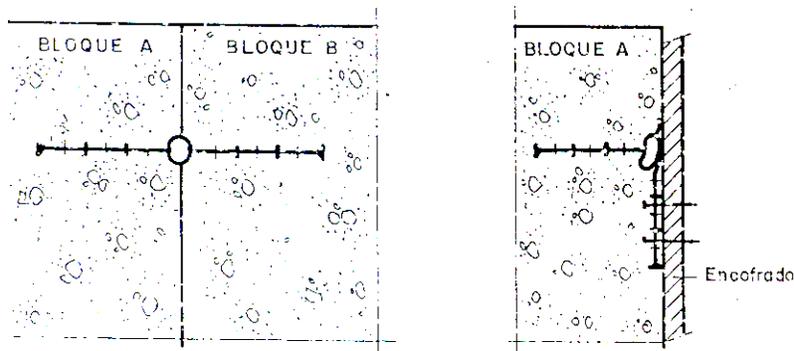


Figura 3.1 Esquema de la posición de las bandas de polivinilo o neopreno

3.7 Acabados de la superficie de concreto

Las clases y los requisitos para los acabados de las superficies de concreto deben ser las que se especifican. Las superficies de concreto las debe revisar un representante de la autoridad contratante, cuando sea necesario determinar si las irregularidades de la superficie quedan dentro de los límites especificados.

3.7.1 Superficies Cimbradas

Las desviaciones causadas por movimientos de las cimbras o por defectos de colocación de los forros o revestimiento de las cimbras, o por nudos sueltos de las cimbras o madera defectuosa de los mismos, se considerarán como irregularidades abruptas y se probarán por medio de medidas directas. Todas las demás irregularidades se considerarán como graduales, y se probarán por medio

de plantillas con una regla o un instrumento equivalente en las superficies curvas. La longitud de la plantilla será de 5 ft (1.524 m) para probar las superficies curvas y de 10 ft (3.05 m) para probar las superficies formadas sin cimbras.

Las clases de acabados en las superficies de las cimbras se designan por el uso de los símbolos *F1* y *F2* las cuales se describirán mas adelante. No es necesario frotar con sacos ni sopletear con arena las superficies moldeadas. No se hará otro raspado a las superficies moldeadas que el necesario para reparar las imperfecciones de las superficies. A menos que se especifique otra cosa.

Acabado *F1*

El acabado *F1* se aplica a las superficies moldeadas sobre o contra de las cuales se va a colocar un material de relleno o concreto, y a la porción del paramento mojado de una presa de concreto que estará cubierta por agua durante la mayor parte de la vida de la presa. Las superficies no requieren tratamiento después de quitar las cimbras, excepto para reparar el concreto defectuoso y llenar los agujeros que dejan los sujetadores de los extremos de los tirantes, y el curado especificado. La corrección de las irregularidades de la superficie será necesario hacerla en las depresiones únicamente, y solamente cuando éstas excedan de 1 *plg*.

Acabado *F2*

El acabado *F2* se aplica a todas las superficies moldeadas que no quedan ocultas permanentemente por material de relleno o por concreto, o que no requieran recibir el acabado *F1*, como las superficies interiores de los revestimientos de los túneles; muchas de las estructuras auxiliares de las presas de tierra, incluyendo las superficies de las obras de toma y las de los vertedores de demasías abiertos; las galerías y túneles de las presas; y las presas de concreto. Las irregularidades de la superficie no deberán exceder de 1/4 *plg* en las irregularidades abruptas, y de 1/2 *plg* para las irregularidades graduales. Si la obra en cuestión incluye superficies de estructura que se consideren de importancia especial como las que queden muy expuestas a la vista del público, o superficies en las que la precisión del alineamiento y lo parejo de su superficie se consideren de importancia capital, desde el punto de vista de la eliminación de los efectos destructores del agua, las irregularidades admisibles deben reducirse. Además, cuando las velocidades aguas abajo de las compuertas de una obra de toma mayores de 40 ft/seg (12.19 m/s), las irregularidades abruptas dentro de las superficies de las cimbras aguas abajo de las compuertas que no son paralelas a la dirección de la corriente y están desviadas dentro del cauce, deberán eliminarse completamente por raspado en una distancia aproximada de 15 ft (4.57 m) aguas abajo de la compuerta, como una pendiente de 1:20, y todas las demás irregularidades abruptas deben reducirse para que no pasen de 1/4 *plg*, en las irregularidades paralelas a la dirección de la corriente, y de 1/8 *plg* en las irregularidades que no sean paralelas a ella.

3.7.2 Superficies sin cimbra

Las clases de acabados para las superficies sin cimbra se designan por los símbolos *U1* y *U2*. Las superficies interiores deberán tener un talud para drenaje cuando así aparezca en los planos o se ordene. Las superficies que van a quedar expuestas a la intemperie y que normalmente quedarían a nivel, se inclinarán para drenaje. A menos de que se ordene lo contrario el uso de otros taludes o de superficies a nivel o que estén indicados, a las superficies angostas, como los coronamientos de los muros, se les dará un talud aproximado de $3/8$ plg/pie de ancho; a las superficies más anchas, como las plataformas y cubiertas, se les dará un talud aproximado de $1/4$ plg/pie. A menos que se especifique otra cosa, estas clases de acabados se aplicarán como se describe a continuación.

Acabado *U1*

El acabado *U1* (acabado a regla) se aplica a las superficies que no se moldean que van a ir cubiertas por material de relleno o por concreto. El acabado *U1* se usa también como primera etapa del acabado *U2*. Las operaciones de acabado deberán consistir en nivelar y usar la regla para producir superficies parejas, uniformes. Las irregularidades de la superficie no deberán exceder de $3/8$ plg.

Acabado *U2*

El Acabado *U2* (acabado con la llana) se aplica a las superficies que no se moldean, que no quedan permanentemente ocultas por material de relleno o concreto, como las cubetas de los túneles; los pisos de los vertedores, las obras de toma y tanques amortiguadores; pisos de servicio de los túneles, y conductos provisionales de derivación; y los coronamientos de los muros. El aplanado puede ejecutarse por medio de equipo de mano o mecánico. El aplanado puede comenzarse tan pronto como la superficie trabajada con la regla ha endurecido lo suficiente, y será el mínimo necesario para producir una superficie exenta de marcas de la regla y de textura uniforme. Las irregularidades de la superficie no deberá exceder de $1/4$ plg.

Si es necesario alisar una superficie con la llana de acero, los acabados *U1* y *U2* se ejecutarán como las primeras etapas para el acabado con la llana de acero, el alisado con la llana de acero se ejecutará inmediatamente después de que la superficie haya endurecido lo suficiente para evitar que salga a la superficie un exceso de material fino; el alisado con la llana debe ejecutarse con presión firme, para que empareje la textura arenosa de la superficie alisada y produzca una superficie uniforme, densa, exenta de los defectos y marcas de la llana. Cuando las velocidades aguas abajo de las compuertas de una obra de toma vayan a ser mucho mayores de 40 ft/seg (12.192 m/seg), las irregularidades en las superficies interiores que no son moldeadas en una distancia de aproximadamente 15 ft (4.57 m) aguas abajo de las compuertas, que no son paralelas a la dirección de la corriente y que sobresalen al interior de la misma, como puede suceder en las juntas de construcción, o en cualquier otra parte, deben eliminarse completamente por raspado con un talud de 1:20.

3.8 Reparación del concreto

La reparación del concreto deberá ejecutarse por trabajadores especializados. El contratista debe corregir todas las imperfecciones de la superficie del concreto, según sea necesario para producir superficies que se ajusten a los requisitos especificados para los acabados y la forma de hacerlos. A menos de que se apruebe lo contrario, la reparación de las imperfecciones formadas en el concreto deberán completarse dentro de las 24 hr después de haber quitado las cimbras. Las escamas y costras deberán quitarse perfectamente de las superficies para las que se haya especificado un acabado *F2*, y las costras deberán quitarse de las superficies en las que se haya especificado un acabado *U2*.

El concreto que se haya dañado por cualquier causa, el concreto que resulte con estructura alveolar, fracturado, o con cualquiera otro defecto, y el concreto que, debido a las grandes depresiones en su superficie, debe excavar y volverse a construir, para que su superficie quede a las líneas prescritas, se quitará y se reemplazará con rellenos de mortero compactado, mortero, o concreto. Si al quitar los extremos de los tirantes de las cimbras, quedan agujeros de más de $\frac{1}{4}$ plg de diámetro o en menor dimensión, los agujeros deberán llenarse con mortero retacado, el relleno de los agujeros de las superficies que van a recibir el acabado *F1* se requiera solamente cuando es necesario revestirlas con impermeabilizantes, y cuando los agujeros tienen una profundidad mayor de 1 plg (2.54 cm), en muros con un espesor menor de 12 plg (30.5 cm).

Cuando los salientes e irregulares abruptas sobresalen fuera de los límites especificados para acabados, y de los acabados, hechos en superficies moldeadas en las que se va a hacer un acabado *F2*, los límites deberán reducirse rebajándolos, para que las superficies queden dentro de los límites especificados. Los rellenos de mortero compactado se usarán para llenar agujeros que tengan cuando menos una dimensión pequeña en la superficie, si tienen alguna mayor que la profundidad del agujero; en las grietas angostas hay que cortarlas para repararlas; los agujeros de los tubos para las inyecciones; y los que dejan los extremos de los tirantes de las cimbras también. Los rellenos de mortero no se deberán usar atrás de las varillas de refuerzo, ni para llenar agujeros que atraviesen la sección de concreto. Los rellenos de mortero, colocados por impacto usando un soplete para mortero, se pueden usar para reparar defectos en las superficies designadas para recibir acabados *F1* y *F2*, en las que los defectos son muy anchos para hacer rellenos de mortero retacado y que no tienen una profundidad mayor que la del costado más alejado del refuerzo más próximo a la superficie.

Los rellenos de concreto se usarán en los agujeros que atraviesan todas las secciones de concreto; en los agujeros en los que no se encuentre refuerzo y que tengan un área mayor de $1ft^2$, y una profundidad mayor de 4 plg (10.2 cm); y en los agujeros del concreto reforzado que tengan una área mayor de $\frac{1}{2} ft^2$ y que se extiendan más allá del refuerzo. Todos los materiales usados en la reparación del concreto, deberán estar de acuerdo con los requisitos de estas especificaciones, y las reparaciones se harán de acuerdo con los procedimientos del Bureau of Reclamation Concrets Manual. Todos los rellenos se ajustarán apretados a las superficies de los agujeros, serán de buena calidad, y no tendrán grietas de contracción ni áreas que al golpearse suenen como si estuvieran huecas, después de que los rellenos se hayan curado y secado.

El contratista debe proteger todo el concreto contra daños hasta la recepción final por la autoridad contratante. Inmediatamente después de la primera helada, el contratista debe prepararse para

proteger todo el concreto contra las heladas. Después de la primera helada, y hasta que la temperatura media diaria en la vecindad de la obra baje de 40°F (4.48°C) por más de un día, el concreto se protegerá contra las temperaturas de congelación durante no menos de 48 *hr* después de colado. Después de que la temperatura media diaria en la vecindad del sitio de la obra descienda abajo de 40°F (4.48°C) durante más de un día, el concreto se mantendrá a una temperatura no inferior de 50°F (10°C) por 72 *hr* por lo menos después de colado.

El concreto curado con membranas impermeables no requerirá protección adicional de la helada, si la protección a 50°F (10°C) durante 72 *hr* se obtiene por medio del aislamiento aprobado en contacto con las cimbras o con las superficies del concreto; en caso negativo, el concreto deberá protegerse contra las temperaturas de congelación durante 72 *hr*, inmediatamente después de las 72 *hr* de la protección a 50°F (10°C). El concreto curado al agua deberá protegerse contra las temperaturas de congelación durante los 3 días siguientes a las 72 *hr* de la protección a 50°F (10°C).

La interrupción de la protección contra las temperaturas de congelación deberá ser en tal forma que el descenso de temperatura en cualquier porción del concreto sea gradual, y que no exceda de 40°F (4.48°C) en 24 *hr*. Cuando la temperatura media diaria sube arriba de los 40°F (4.48°C) durante más de tres días sucesivos, la protección especificada de 72 *hr* a una temperatura no inferior de 50°F (10°C) puede interrumpirse mientras la temperatura media diaria permanezca arriba de 40°F (4.48°C). Se deberá proteger el concreto contra las temperaturas de congelación durante no menos de 48 *hr* después de colado. Cuando se emplee calor artificial, debe tenerse cuidado en evitar que el concreto se seque.

3.9 Curado

El concreto debe curarse con agua, de acuerdo a lo planteado anteriormente, excepto que se ordene lo contrario. Las superficies de los remates sin moldear de muros y pilas deben humedecerse cubriéndolas con materiales saturados con agua, o por otros medios efectivos, tan pronto como el concreto haya endurecido lo suficiente para evitar que el agua lo perjudique. Las superficies muy inclinadas, y las cimbras verticales, deben mantenerse completa y continuamente húmedas, antes y durante la remoción de las cimbras, con agua aplicada en las superficies superiores que no se han moldeado, que se deja escurrir entre los moldes y las superficies moldeadas del concreto.

El concreto *curado con agua* debe mantenerse mojado durante 14 días por lo menos, inmediatamente después de haber colado el concreto o hasta que se cubra con concreto fresco. El curado del concreto se pueda reducir a 6 días durante los periodos en los que la temperatura media diaria, en la vecindad de la obra, sea menor de 40°F (4.48°C). Durante el periodo prescrito del curado con agua, cuando las temperaturas sean tan bajas que las superficies del concreto se pueden llegar a congelar, se suspenderá temporalmente el curado con agua. El concreto se mantendrá mojado cubriéndolo con materiales saturados con agua, o con un sistema de tubos perforados, rociadores mecánicos, manguera porosa, o por cualquier otro medio aprobado con el que se mantengan todas las superficies que se van a curar continuamente (no periódicamente) mojadas. El agua para el curado deberá satisfacer los requisitos de estas especificaciones para el agua usada en la mezcla del concreto.

El *curado con membranas* se obtendrá con la aplicación de un compuesto impermeable que forme una membrana que retenga el agua en las superficies del concreto. El compuesto impermeable llevará un pigmento blanco y se ajustará a las "Tentative Specifications for Liquid Membrane Forming Compounds for Curing Concrete", ASTM Designation C 309-58. El compuesto tendrá una consistencia y calidad uniformes dentro de cada envase y en los diferentes embarques.

Los compuestos impermeables se aplicarán a las superficies del concreto por riego en una capa para producir una membrana continua y uniforme sobre todas las áreas. El cubrimiento no excederá de 150 *ft²/gal*, y en las superficies ásperas el cubrimiento se reducirá lo necesario para obtener la membrana continua necesaria. La reparación de las imperfecciones de la superficie no se hará hasta después de haber aplicado el compuesto impermeable.

Cuando se utilice el compuesto impermeable en las superficies que no se han moldeado, la aplicación del compuesto comenzará inmediatamente después de que se hayan terminado las operaciones de acabado. Cuando se vaya a utilizar el compuesto impermeable en las superficies de concreto moldeadas, las superficies se mojarán con un riego ligero de agua inmediatamente después de que se hayan quitado las cimbras y se mantendrán mojadas hasta que las superficies no absorban más agua. Tan pronto como desaparezcan la película superficial de agua, pero cuando todavía tenga una apariencia húmeda, se aplicará el compuesto impermeable. Deberá tenerse un cuidado especial de que quedan bien cubiertas con el compuesto, las aristas, esquinas, y los lugares irregulares de las superficies moldeadas. Después de que la aplicación del compuesto impermeable se haya terminado, y de que el recubrimiento esté seco al tacto, se ejecutará cualquier reparación necesaria a las superficies del concreto. Cada reparación, después de terminarla, se mojará y se cubrirá con el compuesto impermeable, de acuerdo con los requisitos anteriores.

El equipo para aplicar el compuesto impermeable y el método de aplicación, deberá ser de acuerdo con las indicaciones del Bureau of Reclamation Concrete Manual. El tránsito y otras operaciones del contratista deberán ser de tal forma que se eviten daños a los recubrimientos impermeables en un periodo no menor de 28 días. Cuando es imposible, debido a las operaciones de la construcción, evitar el tránsito sobre las superficies cubiertas con el compuesto impermeable, la membrana debe protegerse con una capa de arena o tierra con un espesor no menor de 1 *plg* o por otros medios efectivos. La capa de protección no se colocará hasta que la membrana impermeable esté completamente seca. Antes de la recepción final de la obra, el contratista deberá quitar toda la arena o tierra de protección en la forma aprobada. Cualquier membrana impermeable que se rompa o se pele de las superficies de concreto dentro de los 28 días después de su aplicación, deberá ser reparada sin demora, y en la forma aprobada.

3.10 Métodos de enfriamiento

3.10.1 Enfriamiento superficial

Al fraguar el cemento, el concreto sufre una fuerte elevación de temperatura que, de no tomar precauciones (aditivos) puede alcanzar unos 30°C. Aparte de las cenizas, se verá la influencia de otras medidas, como el mantenimiento de los agregados en la sombra, su enfriamiento con agua o la mezcla de hielo en el agua de mezclado, todo lo cual conduce a disminuir la temperatura máxima alcanzada. Se trata ahora del proceso de enfriamiento natural, pues la solución definitiva es la refrigeración artificial, sólo aplicable en grandes obras, por más costosa.

La ecuación diferencial que define la transmisión de temperatura θ desde la superficie a un punto de profundidad z en un tiempo t es:

$$m^2 \frac{d^2\theta}{dz^2} = \frac{d\theta}{dt} \quad 3.1$$

$$m^2 = \frac{k}{c\gamma} \quad 3.2$$

Para el concreto, los valores medios de las constantes suelen ser:

k coeficiente de conductibilidad térmica = 1.5 cal/m/hora/°C.

c calor específico = 0.25 cal/kg/°C.

γ peso específico = 2,400 kg/m³

La solución general de la ecuación diferencial es

$$\phi = A \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int e^{-\alpha^2} d\alpha + B \quad 3.3$$

$$\alpha = \frac{z}{2m\sqrt{t}} \quad 3.4$$

Que es la función de error de Gauss.

Para el caso de las presas se supone inicialmente ($t=0$) una temperatura interior uniforme T_0 y una temperatura exterior de 0°, con un salto brusco inicial de T_0 en la superficie del bloque. Planteando estas condiciones se obtienen las constantes A y B , y resulta la siguiente ley de temperaturas en el interior del bloque por la acción del enfriamiento exterior.

$$\theta = T_0[\phi(\alpha) - 1] \quad 3.5$$

A esta ley hay que añadirle la elevación de la temperatura debida al fraguado, pero como ésta es mucho más rápida (unas 48 horas) puede suponerse que en el instante inicial se tiene la temperatura máxima T_0 debida al fraguado.

En la superficie exterior la transmisión de temperatura no es inmediata, sino que se produce un salto térmico entre el concreto y el aire que equivale a unos 12.5 cm más de espesor de concreto. Por ello, para aplicar correctamente la fórmula deberá operarse incrementando la profundidad real z en 0.125 m.

3.10.2 Métodos de refrigeración artificial

Para acelerar el enfriamiento del concreto se usan procedimientos que en mayor o menor grado prevén el efecto de la reacción del fraguado o contrarrestan el calor producido en el interior de los bloques. Algunos de los procedimientos empleados:

- Enfriamiento del agua de la mezcla.
- Enfriamiento o protección de los materiales agregados.
- Concreto nocturno.
- Cementos fríos, puzolanas o cenizas volantes.
- Refrigeración interna de los bloques por circulación de agua fría.

Los tres primeros actúan de forma preventiva sobre la temperatura de los componentes o del ambiente, el cuarto reduciendo el calor de fraguado y el último con un control directo de la temperatura durante el proceso.

3.10.2.1 Enfriamiento del agua de mezclado

El efecto que produce es relativamente limitado, pues el agua representa una baja proporción de la masa. El contenido en agua varía entre 70 y 140 l/m^3 , de la que debe descontarse, el contenido de los materiales pétreos, quedando para la actuación de un posible enfriamiento unos 36 a 100 l/m^3 .

El agua se enfría en un circuito de evaporación de amoníaco hasta unos 4°C y suele llegar a la instalación del concreto a unos 5°C, con lo que el descenso de la temperatura producido en el concreto es solo de 1°C.

En el enfriamiento por hielo el calor de fusión del mismo es de 80 cal/g , con lo que se puede reducir la temperatura del concreto fresco en 1°C por cada 7.5 kg de hielo. Con proporciones de 35 a 100 kg de hielo por metro cúbico de concreto la temperatura de éste es de 6 a 16°C, que es ya un efecto sensible.

3.10.2.2 Enfriamiento y protección de los materiales agregados

El primer tipo de tratamiento es el pasivo, de protección contra el sol; para evitar el sobrecalentamiento de los materiales deben situarse en zona de sombra predominante o protegerlos con coberturas aislantes si están al aire, y pintar de blanco los silos.

Otro paso más definitivo es enfriarlos artificialmente. En primer lugar, se sabe que hay de 3 a 3.5 veces más peso de materiales gruesos que de arena, por lo que es en los primeros en los que será mayor el rendimiento térmico. Por otra parte, la arena tiene poca inercia térmica y recupera la temperatura con relativa rapidez en cuanto cesa el tratamiento. Por ello, éste se ciñe a los elementos gruesos.

El enfriamiento de éstos se consigue por tres procedimientos aislados o combinados:

- Evaporación del agua superficial
- Inmersión en agua o aspersión
- Aire frío

El primero es el más simple y apto sobre todo en climas cálidos y secos: los agregados se van colocando en capas, que se rocían parcialmente con agua y se deja evaporar antes de colocar y tratar el siguiente bloque. El tratamiento con agua fría puede hacerse según los dos sistemas enunciados: inmersión o aspersión. En el primero, los agregados se colocan en un tanque por el que circula el agua a unos 5°C y se mantiene en ella durante unos 25 minutos. En el segundo, pasan en una cinta móvil por un túnel y se mojan por medio de un aspersor con agua a 2.5°C; la travesía suele durar de 4 a 5 minutos y la temperatura de los materiales se reduce en unos 9°C. Estos dos sistemas son los más empleados.

Si aún se desea un mayor enfriamiento, se hace circular aire frío sobre el material mayor de 20 mm (para evitar que los menores puedan helarse y formar bloques). El aire entra a 17°C en el silo y sale a unos 3°C y la temperatura de los agregados puede llegar a ser de -2°C a -7°C, al final de la operación.

Con todos estos tratamientos se puede conseguir un resultado conjunto de un descenso en unos 10°C en la temperatura del concreto al fraguar, que es una reducción sensible.

3.10.2.3 Refrigeración artificial interna de los bloques

En este sistema se hace circular agua por una red de tubos previamente introducida en la masa del concreto, con lo que se produce un intercambio térmico: el agua enfría el concreto, y el calor que ha recibido de éste es llevado por el agua al exterior, ya sea reintegrándola al río o llevándola a un órgano de enfriamiento, retornando al concreto en circuito cerrado.

Los tubos se colocan directamente sobre la superficie horizontal del concreto endurecido, en forma concéntrica o de parrilla, con los elementos tubulares rectos unidos por codos simples o en T, y una equidistancia entre ellos igual o ligeramente superior al espesor de los bloques. Así, la capa superior se hormigona sin estorbo alguno, pues los tubos quedan debajo, en el contacto entre bloques. Cada

bloques queda, pues, enfriado desde sus dos superficies horizontales, salvo la que se está hormigonando, que sólo los tiene en la cara inferior.

La intensidad del enfriamiento depende de la temperatura del agua, su caudal y la separación de los tubos, es decir, el caudal específico, que suele ser, como máximo, de $0.5 \text{ cm}^3/\text{s}$ por metro cúbico del bloque. El efecto marginal obtenido por encima de esta cifra es pequeño, por lo que no tiene interés en superarla. El diámetro de los tubos no influye prácticamente, por lo que se adopta un mínimo posible que dé una pérdida de carga hidráulica aceptable: normalmente suele ser de 1" a 1 1/2". Los tubos son de acero normal de 1 mm de espesor; los aceros especiales no son necesarios, y encarecen.

Para conseguir la mejor distribución del agua y del enfriamiento la longitud total de cada circuito de tubos se limita a unos 300 m.

Para garantizar la uniformidad del enfriamiento, cada cierto tiempo se invierte el sentido de circulación del agua. Cada 24 ó 48 horas debe hacerse un control de temperatura del concreto, para lo que se interrumpe la circulación de agua hasta que ésta adquiera una temperatura estable, que es la del concreto.

Las tuberías externas de alimentación deben ir convenientemente aisladas para evitar el calentamiento prematuro del agua. Pueden ir por las galerías de la presa apoyadas en los paramentos.

Con este sistema se logra una gran eficacia y un control completo de la temperatura interna en el volumen total de la presa y durante todo el tiempo que sea necesario. Con esto el proceso de la obra queda liberado de las limitaciones de enfriamiento natural pues:

- No solo se enfría desde la superficie libre del bloque, sino también, desde abajo de ella.
- El enfriamiento puede prolongarse indefinidamente y en pocos días.
- Puede controlarse a voluntad su intensidad, actuando sobre la temperatura y caudal del agua, mientras que el enfriamiento natural depende de la temperatura ambiente.
- En consecuencia, los bloques pueden ser más altos y el intervalo de concreto entre ellos puede ser menor, liberando el plan de trabajo de la obra de una de sus limitaciones más críticas.

En contrapartida, la instalación y su mantenimiento son costosos y solo aplicables en presas cuyo gran volumen prácticamente lo exige o económicamente lo justifica por la disminución de plazo.

La temperatura del agua debe ser tal que no produzca una excesiva caída térmica en el concreto susceptible de producir fisuras. Por ello, durante las primeras 3 ó 4 semanas después de colado el concreto la caída de temperatura no debe ser superior 0.5°C por día, para lo que suele bastar el agua natural, sin enfriar. El enfriamiento del concreto es más lento, pero más eficaz pues además de las fisuras se evitan defectos de fraguado en la inmediación de los tubos.

El momento del comienzo del enfriamiento artificial es asunto discutido. Es normal empezar alrededor de 24 horas después del comienzo de la colocación del concreto con lo que se consigue reducir temperatura de 5 a 10°C. La fase de enfriamiento con agua natural suele durar de 2 a 3 meses, según la estación del año y la temperatura exterior.

En la segunda fase se emplea agua enfriada a una temperatura de 2.5°C. Esta fase suele comenzar cuando el concreto está a unos 25°C pero la decisión depende de lo que sea más económico, dentro lo deseable. Esta parte del tratamiento suele durar 3 meses.

3.10.3 Precauciones en tiempo de frío o lluvioso

Las bajas temperaturas retardan el proceso de fraguado y puede llegar a paralizarlo, por lo que hay que adoptar procedimientos adecuados para evitarlos.

El costo del concreto con temperaturas ambientes por debajo de 0°C es alrededor del doble que el de colocación y protección en tiempo cálido, se deduce que el frío extremo es más costoso que el caliente. Por ello la primera decisión es si se interrumpe o no la obra, cuando se llega a ese límite, la decisión depende de la duración previsible de ese régimen térmico extremo y de la envergadura y condiciones de la obra, así como de la influencia económica, de una demora en su terminación.

Algunas precauciones son similares a las apuntadas contra el calor; cubrir los materiales agregados y las bandas transportadoras, incluso calentarlos con agua y vapor, aislar las conducciones de agua etc. Otras precauciones específicas son calentar el agua de mezclado a una temperatura de 40°C, acelerar los transportes evitando paradas, cubrir los bloques para que conserven el calor de fraguado y se beneficien del bloque inferior, dejar las cimbras para preservar los bloques lateralmente y comenzar el vibrado en seguida de colocar el concreto.

Se usan también generadores de vapor individuales para eliminar el hielo que pueda formarse en la roca, concreto o cimbrado. Al terminar un bloque debe cubrirse con materiales aislantes y colocarse termómetros en diferentes profundidades para controlar la temperatura de fraguado. Y a veces se usan tubos de agua caliente o vapor adheridos a las cimbras para calentarlos.

Como el frío retarda el fraguado, se usan a veces aceleradores. En climas templados lo normal es interrumpir la obra en la época más fría; las superficies deben protegerse con mantas de poliuretano, y algunos casos se han utilizado mantas eléctricas. El objetivo debe ser mantener la temperatura superficial alrededor de 10°C durante la parte más cruda del invierno.

3.11 Concreto compactado

El mayor costo del concreto procede del cemento y de la puesta en obra a lo que se añade el costo de los elementos complementarios: cimbrado, enfriamiento, tratamiento de juntas, juntas de contracción etc. La presa de materiales sueltos es de ejecución mas simple y permite emplear cualquier material disponible en el entorno para la mayor parte del volumen de la presa, con solo una

selección también relativamente simple para un 10 ó 20% de éste y solo un vertido, extendido y compactado con grandes maquinas con gran simplicidad y rapidez.

Por eso la idea central de los nuevos métodos de concreto sea ha inspirado en, utilizando en lo posible los grandes medios de puesta en obra de los materiales sueltos, junto con una simplificación de los componentes y procesos de hormigonado.

El concepto de Roll Compacted Concrete, o rollcrete o por sus siglas RRC, de momento, no hay mas traducción directa que la de concreto compactado con rodillo (HCR) o mas usual y brevemente concreto compactado (HC). Su idea básica es fabricar un concreto con muy bajo contenido de cemento, complementado con cenizas, que se extiende y compactan como las tierras, de forma continua, sin preparación en bloques o con juntas verticales muy distantes que a veces se hacen a posteriori. La reducción del cemento se traduce directamente en el costo, pues el elemento es mas caro, añadiéndose otra reducción aún más importante por la facilidad operativa, además, se aminoran considerablemente los problemas creados por el calor de fraguado.

La primera presa de concreto compactado fue la de Simagigowa (Japón) en 1980. Durante esa década fue extendiéndose ésta técnica, principalmente en USA y Japón con tecnologías algo diferentes: la japonesa, llamada RCD (rolled compacted dam) se dirige a obtener la misma calidad que un concreto normal reduciendo la dosificación y simplificando la puesta en obra; el RCC americano centra la atención en simplificar la obra y en el uso de conglomerantes de bajo calor de fraguado. A su vez, dentro de la tecnología americana hay dos tendencias: la primera emplea un bajo contenido conjunto de cemento y cenizas aún a costa de la calidad y resistencia; la segunda utiliza mezclas más ricas en pasta con fuerte proporción de cenizas volantes frente al cemento, y esta es la tendencia mas generalizada en la actualidad.

3.11.1 Condiciones y propiedades del HC

En principio el HC requiere mayor atención que el ordinario, precisamente porque su ejecución es más simple y se disminuye radicalmente el cemento.

El concreto fresco se extiende con bulldozers, formando una capa de 30 a 35 *cm* para que pueda ser compactada con rodillo vibrante. Después de compactada una capa debe echarse otra encima y compactarse sin interrupción entre ambas, hasta tres o cuatro, es decir, hasta un espesor máximo de aproximadamente 1*m*.

Ese conjunto de capas (que en el RCD puede ser una) constituye un bloque, como se ve, mas baja que la del concreto ordinario; la superficie del bloque es la que suele someterse a tratamientos similares al de una de concreto normal para que pegue a la parte superior después del periodo de enfriamiento. Las capas, como sea dicho, solo son elementos de compactación, pero no de enfriamiento ni tratamiento.

Entre dos capas consecutivas no debe transcurrir un tiempo superior a la de la iniciación del fraguado para que el sellado sea correcto sin necesidad de ningún tratamiento.

Este lapso es de unas 12 hrs para cementos hipocalóricos con altos contenido de cenizas. Si por cualquier circunstancia se superara, la junta entre capas deberá tratarse como una junta fría entre bloques. Las cifras son indicativas, ya que, dada la novedad de esta tecnología, hay una gran variación en los métodos.

Una forma de medir la densidad del concreto compacto es medir el espesor del bloque antes y después de la operación. También se emplea la medición en los isótopos. Las probetas extraídas de las capas compactadas permiten, además de medir la densidad conocer la resistencia.

Las juntas verticales longitudinales paralelas a la corona no existen por esencia en el HC, pues son innecesarias y estorbarían la ejecución.

Las únicas juntas verticales que se dejan son las transversales, para prevenir la oscilación térmica o por las condiciones del terreno. Estas juntas son de dos tipos: las más separadas que vienen definidas por la longitud del bloque, hormigonado, y se hacen en sus extremos con cimbrado convencional; su impermeabilización se hacen con una banda de PVC o de neopreno, como una presa normal, como estas juntas dependen de la capacidad de los equipos, que es la que define la longitud del bloque, pueden estar muy distantes: entre 50 y 200 m. Esta distancia puede ser excesiva para la movilidad térmica aunque esta es menor en estas presas o por las condiciones del terreno, por lo que se suelen complementar con otras a distancia de 20 a 50 m que se abren a posteriori, hincando en el concreto fresco, antes de la compactación, una chapa metálica de una altura igual a los 2/3 de espesor de la capa, que se abandona. Esta técnica de corte con hincamiento a sustituido al corte con sierra, que fue la usada en Alpe Gera y otras presas. Las juntas cortadas se impermeabilizan igual que las otras.

El curado y la protección de las superficies libres contra la lluvia y la nieve son como en el concreto ordinario. El HC puede colocarse bajo lluvia ligera con tal de que la mezcla no se vea alterada tanto en su calidad como resistencia

3.12 Valores de Tolerancia en Presas y Obras Auxiliares.

a) En todas las estructuras

Variación en el contorno lineal construido de puntos establecidos en la planta.	En 6.9 m.1.3 cm. En 12.2 m.....1.9 cm.
Variación de dimensiones en detalles individuales de las estructuras en relación a puntos establecidos.	En 24.4 m. o mas1.2 cm En construcción enterradas, el doble de las cantidades anteriores.
Variación con respecto a la plomada, de un escarpe especificando, o de las superficies curvas de todas las estructuras, incluyendo las líneas y las superficies de las columnas, muros pilas, estribos, secciones de arcos, ranuras para las juntas verticales, y cantos visibles Variación del nivel o de las rasantes indicadas en los dibujos, en losas, vigas, intradós, ranuras de las juntas horizontales y cantos visibles.	En 24.4 m.....1.3 cm En 6.9 m.....1.9 cm En 12.2 m o mas ...3.2 cm En construcción enterradas, el doble de las cantidades anteriores En 3.0 m.....1.3 cm. En 9.1 m o mas.....1.3 cm En construcción enterradas, el doble de las cantidades anteriores
Variación en las dimensiones de la sección transversal de columnas, vigas, estribos, pilas y miembros semejantes.	En menos.....0.6 cm En mas.....1.3 cm
Variación en espesor de losas, muros, secciones de arcos y miembros semejantes.	En menos.....0.6 cm En mas.....1.3 cm

b) En zapatas para columnas, pilas, muros, contrafuertes y miembros semejantes.

Variación de dimensiones en planta	En menos.....1.3 cm En mas.....5.1 cm
Error en excentricidad	2% de la anchura de la zapata en la dirección del error pero no mayor de 5.1 cm
Reducción en espesor	5% del espesor especificado

c) Umbrales y muros laterales para compuertas radiales y Juntas estancias semejantes

Variación de la plomada y del nivel	No mayor de 0.32 cm en 3.0 m.
-------------------------------------	-------------------------------

d) Valores de tolerancia para los revestimientos de concreto de los Túneles y conductos monolíticos

Desviación del alineamiento establecido o de la rasantes establecida	Túneles y conductos de circulación libre 2.54 cm Túneles y conductos de alta velocidad 1.3 cm. Túneles de ferrocarril2.54 cm.
Variación de espesor en cualquier punto	En el revestimiento de: Túneles En menos 0 Conductos En menos 21% ó 0.6 cm el que resulte mayor. Conductos En más 5% o 1.3 cm, el que sea mayor
Variación en las dimensiones interiores	½ de 1 %

e) Valores de Tolerancias en la colocación del acero de refuerzo

Variación del recubrimiento	En los recubrimientos de 5.1 cm.....0.6 cm En los recubrimientos de 7.6 cm... 1.3 cm
Variación en la separación indicada	2.54 cm

3.13 Guía para el control del proceso constructivo de una Presa.

A. F. Johnson en la publicación, Diseño de Presas pequeñas (1985) sugiere la siguiente presentación:

NOMBRE DEL PROYECTO

VIABILIDAD (O ESPECIFICACIONES) DE PROYECTO Y PRESUPUESTO PARA LA PRESA ...

A. Ubicación y finalidad:

1. Sección, distancia, meridiano principal, condado, estado, municipio, ciudad más cercana.
2. Localización con respecto a otros detalles.
3. Accesibilidad.
4. Objeto:
 - a) Volumen de almacenamiento – activo, muerto.
 - b) Tipo de almacenamiento – para riego, para avenidas, fuerza motriz, servicios domésticos, etc.

c) Elevaciones de la superficie del agua.

5. Posibles alternativas, si las hay.

B. Compendio del proyecto:

1. Capacidad de almacenamiento	volumen
2. Capacidad del vertedor	m ³ /s a la elevación del agua de
3. Capacidad de la obra de toma	m ³ /s a la elevación del agua de
4. Capacidad de la obra de toma para fuerza motriz	m ³ /s a la elevación del agua de
5. Corona de la presa	Elevación
6. Superficie normal del agua	Elevación
7. Máximo nivel del agua	Elevación
8. Nivel mínimo del agua	Elevación
9. Bordo libre arriba del nivel máximo	m
10. Altura máxima de la presa arriba del lecho del río	m
11. Costo estimado de la presa (o de la presa y el vaso)	\$
12. Costo estimado por m ³	\$
13. Presupuesto total, del proyecto	\$
14. Planos generales y secciones	Dibujo No.

C. Datos del proyecto

1. Topografía:
 - a. Escala
 - b. Intervalo entre curvas de nivel.
 - c. Números de las hojas de plancheta.
 - d. Levantados por.
 - e. Fecha de levantamiento.
2. Informe geológico – Autor y título-
3. Registros de los pozos de prueba y de los sondeos.
4. Datos hidráulicos, capacidades , requisitos y quién lo estableció:
 - a. Almacenamiento, riego, avenidas y fuerza motriz.
 - b. Obra de excedencia.
 - c. Obra de toma.

- d. Obras de derivación.
 - e. Curvas de almacenamiento para varias elevaciones del nivel de la superficie de agua.
5. Datos hidrológicos:
- a. Hidrogramas.
 - b. Avenida máxima registrada.
 - c. Avenida del proyecto.
 - d. Escurrimiento medio anual de la cuenca.
 - e. Curva del agua de descarga.
 - f. Secciones transversales de la corriente
 - g. Valores del proyecto.
 - h. Condiciones climáticas.
6. Localización de bancos de préstamo y de los depósitos de agregados, servicios de transporte disponibles.
7. Datos sobre el derecho de vía.
8. Fotografías

D. Datos del vaso:

- 1. Capacidades propuestas con las correspondientes elevaciones de la superficie del agua.
- 2. Dimensiones generales.
- 3. Estructura existentes afectadas.
- 4. Naturaleza de los terrenos inundados y desmonte necesario.
- 5. Cambios de localización: ferrocarriles, carreteras, líneas telefónicas, oleoductos y líneas de transmisión.
- 6. Limitaciones a la línea de embalse.
- 7. Geología:
 - A. Formaciones generales.
 - B. Factores relativos a las pérdidas en los vasos.
 - C. Manantiales tributarios.
 - D. Depósitos perjudiciales minerales y salinos.
- 8. Derecho de vía.

E. Datos sobre el emplazamiento de la presa:

1. Detalles geológicos
 - a. Naturaleza del lecho del río y de las riberas.
2. Interpretación de los pozos de prueba y de los sondeos.
3. Pruebas de filtración, agua subterránea.

F. Proyecto de la presa:

1. Número y tipo de los presupuestos preparados.
2. Detalles que controlan el proyecto.
3. Número de dibujos.
4. Elevación de la superficie del agua, capacidad de almacenamiento, bordo libre.
5. Dimensiones generales:
 - a. Ancho de la corona.
 - b. Descripción de la sección – taludes, altura, zonas etc.
 - c. Longitud de la corona; camino en la corona.
 - d. Longitud de la base en la sección máxima.
6. Factor de filtración; factor de deslizamiento.
7. Cepa para el dentellón y dimensiones del muro para el mismo.
8. Necesidad de inyecciones de cemento.
9. Drenes del pie del talud de aguas abajo.
10. Parapeto y guarniciones.
11. Galerías.
12. Escaleras para peces, pasos para troncos, etc.

G. Proyecto de las obras de toma:

1. Requisitos:
 - a. Curvas de descarga.
 - b. Capacidades de derivación y elevaciones de la superficie del agua.
2. Factores que afectan la localización.
3. Dimensiones del túnel – Material encontrado; placas de revestimiento.
4. Dimensiones del conducto.
5. Cámaras de compuertas:
 - a. Dimensiones.
 - b. Localización.
 - c. Accesibilidad
6. Compuertas, válvulas y tubos:
 - a. Dimensiones.
 - b. Elevaciones.
7. Accesos, lumbreras, socavones, taponos.
8. Localización de los controles.
9. Rejillas.
10. Estanques amortiguadores.

H. Proyecto de vertedores de demasías:

1. Requisitos.
2. Factores que gobiernan el proyecto y su ubicación.
3. Tipo y descripción:
 - a. Controlados y sin control.
 - b. Revestimiento.
 - c. Dimensiones.
 - d. Elevaciones.
4. Compuertas, estructuras de las compuertas:
 - a. Dimensiones.
 - b. Operación.
5. Tanque amortiguador:
 - a. Descripción general.
 - b. Dimensiones.
6. Canales de acceso y de descarga.

I. Servicios auxiliares para la construcción:

1. Tiempo estimado para terminar la obra.
2. Potencia disponible.
3. Ferrocarril para la construcción.
4. Campamento de Construcción.
5. Condiciones locales.

J. Materiales y precios unitarios

1. Localización de los prestamos, acarreos.
2. Depósitos de agregados, acarreos.
3. Cemento, fábrica más cercana, acarreos.
4. Ferrocarriles, terminales.
5. Bases para los precios unitarios.