CONCRETO ESTRUCTURAL

ARTÍCULO 630 – 13

630.1 DESCRIPCIÓN

Este trabajo consiste en el suministro de materiales, fabricación, transporte, colocación, vibrado, curado y acabado de los concretos de cemento hidráulico, utilizados para la construcción de puentes, estructuras de drenaje, muros de contención y estructuras en general, de acuerdo con los planos y demás documentos del proyecto y las instrucciones del Interventor.

No se consideran los pavimentos de concreto hidráulico, los cuales se encuentran contemplados en el Artículo 500 de estas especificaciones.

630.2 MATERIALES

630.2.1 Cemento

El cemento utilizado será hidráulico, de marca aprobada oficialmente, el cual deberá cumplir lo indicado en el Artículo 501 de estas especificaciones. Si los documentos del proyecto o una especificación particular no señalan algo diferente, se empleará cemento hidráulico de uso general.

El Constructor deberá presentar los resultados de todos los ensayos físicos y químicos relacionados con el cemento, como parte del diseño de la mezcla.

Si por alguna razón el cemento ha fraguado parcialmente o contiene terrones del producto endurecido, no podrá ser utilizado. Tampoco se permitirá el empleo de cemento extraído de bolsas usadas en jornadas anteriores.

630.2.2 Agregados

630.2.2.1 Agregado fino

Se considera como tal, a la fracción que pase el tamiz de 4.75 mm (No.4). Provendrá de arenas naturales o de la trituración de rocas, gravas, escorias siderúrgicas u otro producto que resulte adecuado a juicio del Interventor. El porcentaje de

arena de trituración no podrá constituir más del treinta por ciento (30%) del agregado fino.

El agregado fino deberá cumplir con los requisitos que se indican en la Tabla 630.1 y su gradación se deberá ajustar a la indicada en la Tabla 630.2.

En ningún caso, el agregado fino podrá tener más de cuarenta y cinco por ciento (45%) de material retenido entre dos tamices consecutivos.

Durante el período de construcción no se permitirán variaciones mayores de dos décimas (0.2) en el módulo de finura, con respecto al valor correspondiente a la curva adoptada para la fórmula de trabajo.

Tabla 630 – 1.Requisitos del agregado fino para concreto estructural

Ensayo	NORMA DE ENSAYO INV	REQUISITO
Durabilidad		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo(%) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	 10 15
Limpieza		
Límite líquido, máximo (%)	E-125	-
Índice de plasticidad (%)	E-126	No plástico
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	60
Valor de azul de metileno, máximo	E-235	5
Terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	E-211	1
Partículas livianas, máximo (%)	E-221	0.5
Material que pasa el tamiz de 75 mm (No.200), % máximo	E-214	5
Contenido de materia orgánica		
Color más oscuro permisible	INV E-212	Igual a Muestra patrón
Características químicas		
Contenido de sulfatos, expresado como SO_4, máximo (%)	INV E-233	1.2
Absorción		
Absorción de agua, máximo (%)	E-222	4

Tabla 630 – 2. Granulometría del agregado fino para concreto estructural

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm / U.S. Standard)						
	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15
	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No.50	No.100
	% PASA						
UNICA	100	95-100	80-100	50-85	25-60	10-30	2-10

630.2.2.2 Agregado grueso

Para el objeto del presente Artículo, se denominará agregado grueso la porción del agregado retenida en el tamiz 4.75 mm (No.4). Dicho agregado deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan afectar adversamente la calidad de la mezcla. No se permitirá la utilización de agregado grueso proveniente de escorias de alto horno.

El agregado grueso deberá cumplir con los requisitos que se indican en la Tabla 630.3 y su gradación deberá ajustarse a alguna de las indicadas en la Tabla 630.4. La gradación por utilizar será la especificada en los documentos del proyecto para cada clase de concreto, cuyo tamaño máximo dependerá de la estructura de que se trate, la separación del refuerzo y la clase de concreto especificado.

La curva granulométrica obtenida al mezclar los agregados grueso y fino en el diseño y construcción del concreto, deberá ser continua y asemejarse a las teóricas obtenidas al aplicar las fórmulas de Fuller o Bolomey.

Tabla 630 – 3.Requisitos del agregado grueso para concreto estructural

Ensayo	NORMA DE ENSAYO INV	REQUISITO
Dureza		
Desgaste en la máquina de los Ángeles, máximo (%) - En seco, 500 revoluciones, máximo (%) - En seco, 100 revoluciones, máximo (%	E-218	 40 8
Durabilidad		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) (Nota 1) - Sulfato de Sodio - Sulfato de magnesio	E-220	 12 18
Limpieza		
Terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	E-211	0.25
Partículas livianas, máximo (%)	E-221	1.0
Geometría de las Partículas		
Índice de alargamiento, máximo (%)	E-230	25
Índice de aplanamiento, máximo (%)	E-230	25
Características químicas		
Contenido de sulfatos, expresado como SO_4, máximo (%)	E-233	1.0

Nota :1 En caso de no cumplirse esta condición, el agregado se podrá aceptar siempre que habiendo sido empleado para preparar concretos de características similares, expuestos a condiciones ambientales parecidas durante largo tiempo, haya dado pruebas de comportamiento satisfactorio.

Tabla 630-4.Bandas granulométricas de agregado grueso para concreto estructural

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm / U.S. Standard)								
	63	50	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.36
	2,5 "	2"	1 1/2 "	1 "	3/4 "	1/2 "	3/8 "	No.4	No.8
	% PASA								
AG-1	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5
AG-2	-	-	-	100	95-100	-	20-55	0-10	0.5
AG-3	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0.5
AG-4	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0.5	-
AG-5	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0.5	-
AG-6	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0.5	-	-
AG-7	100	95-100	35-70	0-15	-	0.5	-	-	-

630.2.2.3 Reactividad

Para evaluar el potencial de que se presenten expansiones perjudiciales en el concreto debido a la reactividad de los agregados con los álcalis del cemento (reactividad álcali-sílice o álcali-carbonatos), se deberán seguir los lineamientos de las normas ASTM C33 y NTC 174.

630.2.2.3.1 Evaluación de estructuras en servicio comparables

Para calificar la reactividad potencial, deberá prevalecer, en la mayoría de los casos, la evaluación de estructuras en servicio que sean comparables; las estructuras deben haber sido construidas empleando los mismos agregados y el mismo cemento, y deben tener en general al menos 10 años de servicio bajo condiciones de exposición suficientemente similares a las de la nueva estructura que se va a construir.

Para estructuras que estén diseñadas para períodos de diseño especialmente largos, o si los resultados de ensayos de laboratorio muestran que los agregados pueden ser perjudicialmente reactivos. Las estructuras en servicio que sean comparables deberán tener más de 10 años.

630.2.2.3.2 Inspección petrográfica

La inspección petrográfica para determinar si los agregados contienen sustancias que potencialmente pueden ser perjudicialmente reactivas y en qué cantidades están presentes , se deberá realizar siguiendo las normas ASTM C195 y NTC 3773.

630.2.2.3.3 Reactividad álcali-sílice

Los agregados fino y grueso no deberán presentar reactividad potencial del sílice presente en ellos con los álcalis del cemento. Se considera que el agregado es potencialmente reactivo, si al determinar su concentración de SiO_2 y la reducción

de alcalinidad R, mediante la norma INV E-234, se obtienen los siguientes resultados:

SiO_2 > R cuando R ≥ 70

SiO_2 > 35 + 0.5 R cuando R < 70

Si en la mezcla se emplean arenas provenientes de escorias siderúrgicas, se comprobará que no contengan silicatos inestables ni compuestos ferrosos.

Si el agregado califica como potencialmente reactivo con base en los criterios anteriores, no debe ser utilizado en la producción de concretos, a no ser que se demuestre que no es nocivo para el concreto con base en evaluaciones complementarias, como las indicadas en el apéndice de la especificación ASTM C33, en especial las que hacen referencia a las normas ASTM C 227 y C 1260.

630.2.2.3.4 Reactividad álcali-carbonatos

Los agregados fino y grueso no deberán presentar reactividad potencial de los carbonatos presentes en ellos con los álcalis del cemento. Aunque los agregados que pueden desarrollar potenciales reacciones perjudiciales álcali-carbonatos son poco frecuentes y rara vez hacen parte de los agregados con los cuales se elabora el concreto, si hay sospecha de su existencia se recurrirá a las normas de ensayo ASTM C586 o ASTM C1105 para calificar su potencial reactivo.

630.2.2.4 Agregado ciclópeo

El agregado ciclópeo será roca triturada o canto rodado de buena calidad. El agregado será preferiblemente angular y su forma tenderá a ser cúbica. La relación entre las dimensiones mayor y menor de cada piedra no será mayor que dos a uno (2:1).

El tamaño máximo admisible del agregado ciclópeo dependerá del espesor y volumen de la estructura de la cual formará parte. En cabezales, aletas y obras similares con espesor no mayor de ochenta centímetros (80 cm), se admitirán agregados ciclópeos con dimensión máxima de treinta centímetros (30 cm). En estructuras de mayor espesor se podrán emplear agregados de mayor volumen, previa autorización del Interventor y con las limitaciones establecidas en el numeral 630.4.08 del presente Artículo.

El material constitutivo del agregado ciclópeo no podrá presentar un desgaste mayor de cincuenta por ciento (50%), al ser sometido a la prueba de Los Ángeles, gradación E, según la norma de ensayo INV E-219.

630.2.3 Agua

El agua que se emplee para las mezclas de concreto hidráulico deberá ser limpia y libre de aceites, ácidos, azúcar, materia orgánica y cualquier otra sustancia perjudicial al pavimento terminado. En general, se considera adecuada el agua potable y ella se podrá emplear sin necesidad de realizar ensayos de calificación.

Cuando se empleen otras fuentes o cuando se mezcle agua de dos o más procedencias, el agua deberá ser calificada mediante ensayos. Los requisitos primarios para esta calificación serán los incluidos en la Tabla 630.5.

Tabla 630 -5.Requisitos para el agua de mezcla

PROPIEDAD	NORMA DE ENSAYO	LÍMITES
pH	ASTM D 1293	5.5 – 8.5
Resistencia a compresión, % mínimo en control a 7 días	ASTM C 39	90
Tiempo de fraguado, desviación respecto del tiempo de control (h:min)	ASTM C 403	de 1:00 inicial a 1:30 final

El requisito de resistencia a compresión se refiere al porcentaje mínimo de resistencia a compresión a veintiocho (28) días de una mezcla de concreto con el agua que se desea emplear, respecto de otra elaborada con los mismos agregados y cemento, en las mismas proporciones, pero

empleando un agua calificada, pudiéndose emplear agua destilada para este fin.

En relación con el requisito sobre tiempo de fraguado, las medidas se realizarán mediante la resistencia a penetración de morteros extraídos de muestras de concreto, elaboradas como se describió en el párrafo anterior.

Los requisitos que se muestran en la Tabla 630.6 se consideran opcionales y sirven solamente para que el productor de la mezcla mantenga documentada la química y el contenido del agua de mezclado, salvo que los documentos del proyecto o una especificación particular invoquen el cumplimiento de uno o más de ellos.

Tabla 630 – 6.Límites químicos opcionales para el agua de mezclado

CONTAMINANTE	NORMA DE ENSAYO	LÍMITE MÁXIMO (ppm) (Nota 2)
Ión Cloro (Cl^-)	ASTM C 114	1000
Sulfatos ($SO4^=$)	ASTM C 114	3000
Álcalis como ($Na_2O + 0.658\ K_2O$)	ASTM C 114	600
Sólidos totales por masa	ASTM C 1603	5000

Nota 1: Se pueden emplear también las normas ASTM D 4191 y ASTM D 4192
Nota 2: ppm corresponde a partes por millón

630.2.4 Aditivos

Se podrán usar aditivos de reconocida calidad, para modificar las propiedades del concreto, con el fin de que sea más adecuado para las condiciones particulares de la estructura por construir. Su empleo se deberá definir por medio de ensayos efectuados con antelación a la obra, con dosificaciones que garanticen el efecto deseado, sin perturbar las propiedades restantes de la mezcla.

Los aditivos y adiciones deberán estar libres de sustancias que, por su naturaleza o cantidad, afecten la resistencia o la durabilidad del hormigón, armaduras, aceros de alta resistencia u otros elementos insertados.

Especialmente se deberá cuidar de utilizar aditivos, que por su alto contenido de cloruros, pudieran acelerar la corrosión del acero de alta resistencia para el concreto pre-tensado o post-tensado.

Los aditivos reductores de agua y para control de fraguado deberán cumplir los requisitos de la norma ASTM C-494; los inclusores de aire cumplirán las exigencias de la norma ASTM C-260 y los puzolánicos habrán de satisfacer las exigencias de la norma ASTM C-618.

El uso del aditivo será responsabilidad directa del Constructor, así haya sido aprobado por el Interventor.

630.2.5 Productos para el curado del concreto

El curado del concreto podrá llevarse a cabo por medio de:

- Humedad.
- Cubrimiento con películas líquidas.
- Cubrimiento con membranas.

630.2.5.1 Curado por humedad

Si el curado se realiza mediante humedad, el agua utilizada deberá cumplir los requisitos del numeral Se considera adecuada el agua que cumpla los requisitos establecidos en el numeral 630.2.03 del Artículo 630. El material de cobertura podrá ser tela de fique o algodón, arena u otro producto de alta retención de humedad.

630.2.5.2 Cubrimiento con películas líquidas

Para el recubrimiento con películas líquidas, se empleará un producto de reconocida calidad que, aplicado mediante aspersión sobre la superficie de la estructura, genere una película que garantice el correcto curado de ésta. Deberá ser de un color claro para reflejar la luz y deberá permitir la verificación de la homogeneidad del vaciado de la mezcla.

La efectividad de los productos de curado se debe demostrar mediante experiencias previas exitosas o ensayos al inicio de

la colocación del concreto. Deberán cumplir con la especificación ASTM C 309, tipo 2 clase B, o clase A sólo si la base es de parafina.

630.2.5.3 Cubrimiento con membranas.

Las láminas de curado pueden ser de polietileno blanco o de papel de curado, que cumplan con la especificación ASTM C 171.

630.2.6 Clases de concreto

Los documentos del proyecto definirán las diferentes clases del concreto. Cada clase de concreto deberá estar caracterizada, como mínimo, con los siguientes parámetros:

- Tipo de uso: concreto pretensado, postensado, reforzado, simple o ciclópeo.
- Tipo de colocación especial, si aplica. Por ejemplo: para instalar con bomba, para instalar bajo agua (tremie)
- Categoría y clase de exposición: se deberá definir de acuerdo con la norma NSR-10, título A, capítulo C.4, REQUISITOS DE DURABILIDAD, o la norma que la actualice o sustituya.
- Requisitos asociados a la clase de exposición, según la misma norma: relación agua/material cementante, resistencia mínima a la compresión, contenido de aire y tipos de material cementante, entre otros.
- Tipo de cemento hidráulico, el cual debe ser definido en función de las condiciones particulares de cada estructura, teniendo en cuenta los
- Aditivos, si se requieren
- Tamaño máximo y tipo de gradación del agregado grueso
- Relación agua/cemento, valor máximo
- Resistencia a la compresión inconfinada (norma de ensayo INV E-410) para una edad específica, valor mínimo.

- Asentamiento (norma de ensayo INV E-404), intervalo de valores.
- Contenido de aire (norma de ensayo INV E-406), intervalo de valores.

630.3 EQUIPO

Los principales equipos y herramientas requeridos para la elaboración de concretos y la construcción de estructuras con este material, son los siguientes:

630.3.1 Equipo para la elaboración de agregados

Para la elaboración de los agregados pétreos se requieren equipos para su explotación, cargue, transporte y proceso. La unidad de proceso consistirá en una unidad clasificadora y una planta de trituración provista de trituradoras primaria, secundaria y terciaria siempre que esta última se requiera, así como un equipo de lavado. La planta deberá estar provista de los filtros y demás accesorios necesarios para controlar la contaminación ambiental, de acuerdo con la reglamentación vigente.

630.3.2 Central de fabricación de la mezcla

El concreto se fabricará en centrales de mezcla discontinua, capaces de manejar simultáneamente el número de fracciones de agregados que exija la fórmula de trabajo adoptada.

Las tolvas para agregados deberán tener paredes resistentes y estancas, bocas de anchura suficiente para que su alimentación se efectúe correctamente, y estarán provistas de dispositivos para evitar intercontaminaciones; su número mínimo será función del número de fracciones de agregado pétreo que exija la fórmula de trabajo adoptada.

Para el cemento a granel se utilizará una báscula independiente de la utilizada para los agregados. El mecanismo de carga deberá estar protegido contra un eventual cierre antes de que la tolva de pesada estuviera adecuadamente cargada. El de descarga, contra una eventual apertura antes que la carga del cemento en la tolva de pesada hubiera finalizado, y que la masa del cemento en ella difiera en menos del uno por ciento (± 1%) de la especificada; además, estará diseñado de forma que permita la regulación de la salida del cemento sobre los agregados.

La dosificación de los agregados se podrá efectuar por pesadas acumuladas en una (1) sola tolva o individualmente con una (1) tolva de