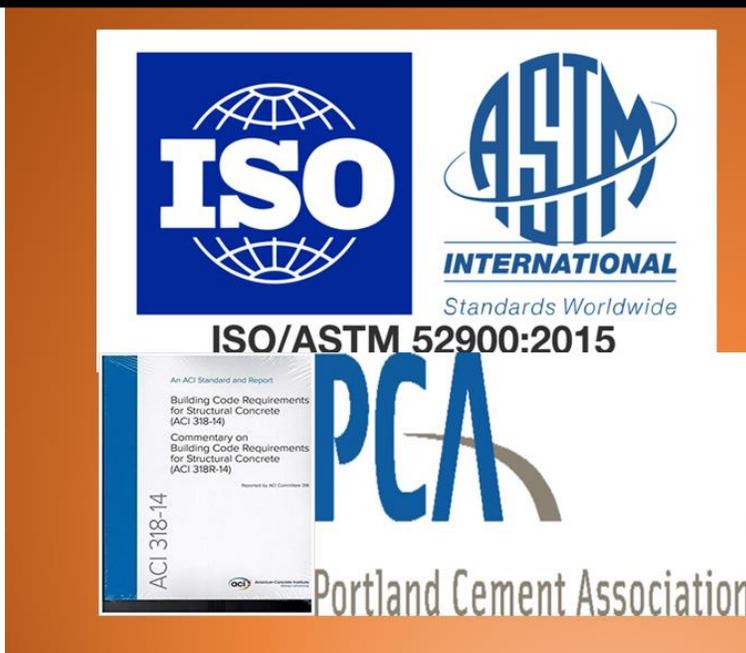


2022

Folleto Materiales de Construcción y Normas de Ensayo: Análisis de las Normas aplicables al concreto



Dra. Alda C. de Sánchez

Primera edición 2022

Volumen 1

No. 1

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**FOLLETO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y NORMAS DE
ENSAYO: *ANÁLISIS DE LAS NORMAS APLICABLES AL CONCRETO***

Dra. ALDA C. DE SÁNCHEZ

Este Folleto está diseñado como complemento a docentes que dictan el curso de Materiales de construcción y Normas de Ensayo y al estudiante que lo recibe.

Índice General Analítico

Índice de Figuras.....	iv
Índice de Tablas.....	vi
Introducción.....	vii
Capítulo 1.....	0
1. Marco Conceptual.....	0
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes o Estado del Arte.....	1
1.3 Planteamiento del Problema.....	2
1.4 Justificación.....	2
1.5 Objetivo.....	2
1.6 Beneficio del Folleto.....	2
1.7 Alcance.....	3
1.8 Delimitación del Folleto.....	3
2. Filosofía y explicación del contenido de las normas.....	4
2.1 Contenido.....	5
2.2 Lectura de las normas.....	6
2.3 Normas de Referencias Aplicables al concreto.....	8
2.4 Retroalimentación No.1.....	9
Capítulo III.....	11
3.1 Análisis de algunas Normas usadas en las obras de concreto.....	11
3.1 Contenido.....	12
3.2 Revisión de algunas Normas.....	12
3.2.1 ACI 116R: Terminología del cemento y del concreto.....	12
3.2.2 ACI 117: Especificaciones y Tolerancias para Materiales y Construcciones de Concreto.....	13
3.2.3 Designación ASTM: E 329: Especificación estándar para las agencias encargadas de los ensayos y/o inspección de materiales usados en la construcción.....	19
3.2.4 Designación ASTM C 172: Práctica estándar para el muestreo del concreto recién mezclado.....	22
3.2.5 Designación ASTM: C1064: Método de prueba normalizada para la medición de la temperatura del concreto recién colado.....	22

3.2.6 Designación ASTM C 143: Método de ensayo estándar para la determinación del revenimiento en el concreto a base de cemento hidráulico	24
3.2.7 Designación ASTM C29: método normalizado para determinar la densidad aparente o peso unitario e índice de huecos en los áridos o agregados.	27
3.2.8 La Designación ASTM C94: Especificación normalizada para el hormigón premezclado	32
3.2.9 (PCA) Diseño y Control de Mezclas de Concreto por Asociación de Cemento Portland	41
3.2.10 ACI 305: Elaboración, colocación y Protección del Concreto en Clima Caluroso	86
3.2.11 Retroalimentación 2:	105
BIBLIOGRAFIA	115

Índice de Figuras

Figura No. 1 Ejemplo de Informe	21
Figura No. 2. Termómetro para concreto fresco	24
Figura No. 3 Equipo de medición de la consistencia	25
Figura No. 4 Toma de muestra para asentamiento	25
Figura No. 5 Llenado del cono de Abrams	26
Figura No. 6 Medición del Revenimiento o asentamiento	27
Figura No. 7 Horno calibrado	28
Figura No. 8 Equipo para el ensayo de peso unitario	29
Figura No. 9 Control de la humedad de los agregados.....	31
Figura No. 10 Planta concretera	32
Figura No. 11 Camión revolvedor de concreto.....	33
Figura No. 12 Limpieza de camiones revolvedores	35
Figura No. 13 Dosificadores de agua en el camión de mezcla.....	35
Figura No. 14 Porcentaje de áridos en el concreto.....	42
Figura No. 15 Prueba de Revenimiento	44
Figura No. 16 Aparato de Vicat.....	45
Figura No. 17 Cilindros estándar para ensayo de compresión	46
Figura No. 18 Equipo para la prueba de resistencia a la compresión.....	46
Figura No. 19 Ensayo de compresión de concreto	47
Figura No. 20 Cilindros ensayados	47
Figura No. 21 Fractura en los cilindros	48
Figura No. 22 Deterioro superficial en concreto (reacción álcalis-agregado)	51
Figura No. 23 Ejemplo de carbonatación.....	52
Figura No. 24 Determinación de cloruros en concreto.....	52

Figura No. 25 Etringita formada en matriz de concreto	54
Figura No. 26 Método de cuarteo.....	57
Figura No. 27 Balanza y cedazo (tamiz) para granulometría de agregados	58
Figura No. 28 Granulometría de agregado fino	59
Figura No. 29 Forma y tamaño de agregados gruesos	60
Figura No. 30 Textura de agregado grueso.....	61
Figura No. 31 Condiciones de humedad de los áridos.....	63
Figura No. 32 Condición de humedad SSS de los agregados gruesos.....	63
Figura No. 33 Dosificadores de aditivos en la planta concretera	65
Figura No. 34 Estructuras marinas en zona de salpicadura	67
Figura No. 35 Aditivo colorante	68
Figura No. 36 Contracción plástica en el concreto	90
Figura No. 37 Sifón para el suministro de agua fresca	91
Figura No. 38 Estibación del cemento	92
Figura No. 39 Temperatura del agregado en condiciones a cielo abierto y protegido	95
Figura No. 40 Dosificación del Concreto y protección.....	97
Figura No. 41 Curado por membrana	102
Figura No. 42 Curado de concreto dentro de la cimbra	102
Figura No. 43 Curado de cilindros sumergidos en agua con cal	104

Índice de Tablas

Tabla 1. Algunas normas usadas en el proceso de construcción en concreto:	8
Tabla 2 Densidad del Agua vs Temperatura	29
Tabla 3 Tipos de cemento Portland	55
Tabla 4. tamices utilizados en la granulometría de agregados finos.....	58
Tabla 5 Volumen de agregado grueso	61
Tabla 6 Relación agua material cementante máxima y Resistencia a la compresión mínima - condición de exposición.....	69
Tabla 7 Resistencia a compresión media requerida cuando no hay datos disponibles para establecer la desviación estándar.....	70
Tabla 8 Dependencia entre la relación agua-material cementante y la resistencia a compresión del concreto	71
Tabla 9 Requisitos para el concreto expuesto a los sulfatos del suelo y agua	72
Tabla 10 Revenimientos recomendados para diferentes tipos de construcción	72
Tabla 11 Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominados de agregado.....	73
Tabla 12 Requisitos mínimos de material cementante para concreto usado en superficies planas	74
Tabla 13 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.....	74
Tabla 14 Material para un metro cúbico de concreto	84
Tabla 15 Resumen de material para un metro cúbico de concreto	85

Introducción

El concreto es uno de los materiales de construcción utilizado en la mayoría de las edificaciones para resolver problemas de vivienda, acceso mediante carreteras, conexión de comunidades por puentes, almacenamiento de agua con la utilización de represas entre otros. Éste se puede fabricar con componentes de fácil consecución, es moldeable, resistente y duradero.

Para obtener un concreto con el perfil anteriormente expuesto, es necesario llevar un control de calidad desde la obtención de cada uno de sus componentes individualmente hablando, así como su fabricación y todos los procesos involucrados hasta su endurecimiento.

El control de calidad al que nos referimos involucra una serie de procedimientos ampliamente ensayados y certificados por normas como el ASTM y ACI. El propósito de este folleto consiste en brindar al lector información relativa al proceso de lectura de algunas especificaciones que se aplican al concreto desde su diseño y proporcionamiento hasta su curado y protección. El conocimiento brindado es fundamental para alcanzar los objetivos propuesto en cada proyecto constructivo, así como satisfacer todas las partes involucradas en la actividad.

Por lo antes dicho, el folleto inicia suministrando las partes de una norma, seguida de cada capítulo o apartado.

La metodología utilizada fue la de exponer en primera instancia las generalidades de cada norma seguida de una revisión bibliográfica de ellas para exponerlas para uso didáctico en este folleto.

El capítulo I presenta el marco teórico y la razón de porqué dedicar este documento a los docentes y estudiantes de materiales de construcción y normas de ensayo al igual que del curso de Inspección de obras de concreto.

En el capítulo II, se plantean las generalidades como los autores responsables de ellas. Las normas o especificaciones abordadas en este folleto son 10, las cuales se plantean en el capítulo 3, éstas son:

ACI 116R: Terminología del cemento y del concreto

ACI 117: Especificaciones y Tolerancias para Materiales y Construcciones de Concreto

Designación ASTM: E 329: Especificación estándar para las agencias encargadas de los ensayos y/o inspección de materiales usados en la construcción.

Designación ASTM C 172: Práctica estándar para el muestreo del concreto recién mezclado

Designación ASTM: C1064: Método de prueba normalizada para la medición de la temperatura del concreto recién colado

Designación ASTM C 143: Método de ensayo estándar para la determinación del revenimiento en el concreto a base de cemento hidráulico

Designación ASTM C29: método normalizado para determinar la densidad aparente o peso unitario e índice de huecos en los áridos o agregados.

La Designación ASTM C94: Especificación normalizada para el hormigón premezclado

(PCA) Diseño y Control de Mezclas de Concreto por Asociación de Cemento Portland

ACI 305: Elaboración, colocación y Protección del Concreto en Clima Caluroso

El objetivo de este escrito es el de presentar la filosofía de las normas, como leerlas, cómo interpretarlas o compararlas para tomar la mejor decisión al establecerlas como requisitos en las especificaciones de un proyecto de construcción en concreto.

Estamos seguros de que la información presentada aquí será de entero apoyo a los docentes, estudiantes y profesionales involucrados en obras de concreto.

Capítulo 1

1. Marco Conceptual

1.1 Introducción

Este folleto resultó del estudio de algunas normas relativas a los trabajos relacionados con concreto desde su diseño hasta su curado. Consientes de el poco tiempo que se le puede dedicar al conocimiento de las especificaciones relacionadas a este material de construcción y que se presenta muy por encima o en breve tiempo a los estudiantes.

Por ello, el material presentado es un resumen del contenido de algunas normas que por lo general no son mencionadas en un curso regular de materiales de construcción o inspección de obras.

1.2 Antecedentes o Estado del Arte

En nuestro país (Patiño y Méndez, 2010) exploran “Control de Calidad del Concreto: Normas, pruebas y Cartas de Control” como herramientas científicas para el control de calidad del concreto.

Un estudio sobre la patología del concreto arquitectónico, (Figuroa, T y Palacio R. 2008) habla de las tolerancias permisibles para concretos expuestos de acuerdo con el grado de exposición, el tamaño del defecto y el porcentaje del área afectada referida a la total. Sin embargo, no hace mención a las normas establecidas para tal fin.

Espinosa, R., (2018), toma en cuenta las tolerancias en las medidas de piezas, pero no hace referencia al origen de la información.

En lo relativo a las normas hay muy poca información que guíe al lector sobre la concepción de cada una de ellas.

1.3 Planteamiento del Problema

Al enfrentarse al campo profesional los ingenieros no conocen las normas, su filosofía y cómo ubicarlas para hacerlas efectivas en el diseño, construcción y supervisión de obras de concreto.

1.4 Justificación

La duración de un periodo semestral normal es de 16 semanas en las cuales hay que desarrollar el temario de la asignatura. Sin embargo, no existe el suficiente tiempo para adentrarse al uso correcto y al conocimiento de las normas relativas a las obras de concreto de cemento hidráulico Portland.

1.5 Objetivo

Brindar al lector información relativa a la filosofía y al proceso de lectura e interpretación de algunas especificaciones que se aplican al concreto para su diseño y proporcionamiento.

Al finalizar los usuarios de este folleto podrán construir su propio conocimiento y aplicarlo en su vida profesional futura.

1.6 Beneficio del Folleto

Este escrito le recordará al docente el conocimiento de las normas sobre concreto ya que se ha estructurado siguiendo las especificaciones para ello. Y los

estudiantes tendrán un resumen por el cual dirigirse para profundizar luego algún tema el cual necesite esclarecer, principalmente, al inicio de su profesión.

1.7 Alcance

Este folleto está diseñado complemento al docente que dicta curso de Materiales de construcción y normas de ensayo, Inspección de obras de concreto y otros profesionales relacionados a edificaciones de concreto.

Hace una revisión bibliográfica de ciertas especificaciones aplicadas a la construcción con concreto relativas a las tolerancias involucradas, supervisión de obras de concreto, el concreto premezclado, diseño y proporcionamiento de mezclas, uso del concreto en clima cálido, entre otros.

1.8 Delimitación del Folleto

Los conocimientos vertidos son de uso académico. Surgidos como resumen de 10 normas y especificaciones ACI y ASTM.

Capítulo II

2. Filosofía y explicación del contenido de las normas

2.1 Contenido

El concreto es un material de construcción artificial compuesto por grava, arena y agua. El mismo es ampliamente usado en todo el mundo por su versatilidad, siguiendo ciertas normas, el producto resultante, en su estado fresco, es manejable, de consistencia apropiada, plástico, fácilmente moldeable y que al endurecer se torna impermeable, durable y resistente a las inclemencias del ambiente que le rodea.

Las normas involucradas tienen el propósito de establecer los requisitos mínimos que se deben cumplir al momento de su fabricación.

Los procedimientos para seleccionar los materiales y la dosificación de mezclas de hormigón, la fabricación, transporte, vaciado, curado y protección están establecidas en el Comité ACI-318 y otros Comité ACI. Mientras que el diseño está contemplado en el Comité 211 y los ensayos de laboratorio se pueden observar en las Normas ASTM. El Reglamento Estructural Panameño (REP) adopta estas normas en el territorio nacional (Patiño y Méndez,2010).

Generalmente, éstas son objeto de revisión cada cinco (5) años, si no hay cambios sustanciales entonces, se re - aprueba cada una de ellas. Cada norma se emite bajo la designación fija C, por ejemplo: "Designación ASTM C143-05", en este caso el número que sigue a la designación se refiere al año que fue adoptada originalmente, o el año de la última revisión si se trata de re - aprobación. Si aparece una épsilon como superíndice (^ε) significa que hay algún cambio editorial dese la última vez que se revisó. Las normas mínimas para estructuras de concreto son de tres niveles. La gran mayoría son guías, algunas son

especificaciones y otras se encuentran a nivel de códigos. Tal es el caso del Código ACI.

La mayor parte de los documentos del ACI son traducidos en México. Por ello, frente a cualquier duda hay que referirse a las guía, especificaciones y códigos originalmente escritos en inglés. Es de suma importancia saber que, ninguna de las partes de las normas puede ser reproducida en ninguna forma y bajo ninguna excusa posible.

2.2 Lectura de las normas

Al introducirnos en cada norma, ésta presenta en su inicio el “**Informe del Comité ACI #**” en la cual se presenta el listado de los integrantes involucrados en la confección o revisión de dicha norma desde el presidente, presidente del subcomité editorial y demás miembros.

Seguidamente, se encuentra el **Prólogo** en el que se enuncian las intenciones del documento. En esta sección también se encuentra la lista de verificación de la especificación en cuestión que pueden ser obligatorias u opcionales para las especificaciones del proyecto. La lista de verificación se presenta mediante una tabla de dos columnas en las que, la primera columna detalla las secciones, partes y artículos de las especificaciones a las que hay que prestarle atención y la segunda columna sugiere al ingeniero, arquitecto, constructor o inspector la acción que se requiere tomar como prioritaria en la actividad.

Posteriormente, se detalla el **Índice** de la especificación en cuestión. Existen varias especificaciones y puede ser que en dos especificaciones se encuentre un

detalle en particular en el cual exista una diferencia del detalle en ambos documentos, entonces, se escoge uno de ellos y se coloca la fuente si existe dualidad esta dualidad.

Para subsanar cualquier duda por el profesional que hace uso de la norma, en la “Sección 1” de cada una de ellas aparecen las “Generalidades”, cuya composición es: el alcance, los requisitos y las definiciones.

De la sección 2 de cada norma en adelante, se desarrolla el tema en particular.

Por último, cada especificación finaliza con “Referencias” que se compone de las “Referencias recomendadas” y las “Referencias citadas” (APACRETO, 2010).

2.3 Normas de Referencias Aplicables al concreto

Algunas de las normas usadas en el proceso de construcción en concreto son:

Tabla 1. Algunas normas usadas en el proceso de construcción en concreto:

ACI 116R	Terminología del cemento y del concreto
ACI 117	Especificaciones y Tolerancias para materiales y construcciones de concreto
ACI 318S	Requisitos y Reglamento para concreto estructural y comentario
ACI 304.5R	Dosificación, mezclado y control del concreto ligero
ACI 304	Guía para la medición, mezclado, transporte y colocación del concreto
ACI 304.2R	Bombeo del concreto
PCA	Diseño y control de mezclas de concreto
ACI 301	Especificaciones para el concreto estructural
ACI 302 – 1R	Construcción de losas y pisos de concreto
ACI 305	Elaboración, colocación y protección del concreto en clima caluroso
ACI 306	Elaboración, colocación y producción del concreto en clima frío
ACI 309R	Compactación del concreto
ACI C29	Método de prueba normalizado para determinar la densidad en masa (peso unitario) e índice de huecos en los agregados
ASTM C 94	Especificaciones estándar para el concreto premezclado
ACI 308	Práctica estándar para el curado del concreto
CRSI	Manual para habilitar acero de refuerzo para el concreto
ACI 347	Guía para el diseño y la construcción de cimbras

Tomada de: APACRETO, 2010

2.4 Retroalimentación No.1

1. ¿Cuál es el tiempo mínimo de revisión de las normas?
 - a. 5 años
2. ¿Cuál es el nivel de las normas?
 - a. Guías
 - b. Especificaciones
 - c. Códigos
3. La información sobre las tolerancias o variabilidades que encuentra un inspector de concreto, ¿dónde puede encontrarlas?
 - a. ACI 117
4. La mayor parte de los documentos del ACI son traducidos en:
 - a. México
5. ¿Cuál es la función del informe del Comité ACI?
 - a. Presentar a todo el personal involucrado en la realización de las normas como el secretario, el presidente y los demás miembros del comité
6. ¿Cómo se clasifican las listas de verificación?
 - a. Obligatorias
 - b. opcionales
7. ¿A qué se refieren las verificaciones obligatorias y las opcionales?
 - a. Hay detalles que dicen que no están en las reglamentaciones, pero, si deben aparecer en las especificaciones. Mientras que, las opcionales dicen algo del detalle de las especificaciones y como colocarlo en las especificaciones del proyecto.

8. Si existe dualidad o discrepancia en dos normas sobre un mismo detalle,
¿cómo debe proceder el técnico para tomar la mejor decisión en el proyecto
de obras de concreto?
 - a. Debe escoger uno de los dos y documentar la fuente

9. Si al revisar la norma no existen cambios sustanciales a la misma, ¿cuál es el
proceder del Comité?
 - a. Entonces se Re – aprueba la norma

10. ¿Qué contemplan las generalidades de las normas?
 - a. Los alcances
 - b. Objetivos
 - c. Referencias bibliográficas

Capítulo III

3.1 Análisis de algunas Normas usadas en las obras de concreto

3.1 Contenido

En el capítulo anterior fue esbozado la filosofía y el contenido general de las especificaciones, ahora es propicio dedicar las próximas líneas a la introducción de algunas de ellas aplicables al concreto. El propósito de este capítulo es el de dirigir al lector al conocimiento del contenido de ciertas normas usadas en obras de concreto.

3.2 Revisión de algunas Normas

3.2.1 ACI 116R: Terminología del cemento y del concreto

Antes de iniciar una obra de concreto es recomendable homologar los términos a utilizar porque éstas pueden ser multidisciplinarias, costosas, complicadas e involucran un sinnúmero de materiales. Entonces, esta designación es conveniente para tal labor, tal es el caso de la definición de:

Aditivo: (admixture) material que no sea agua, agregado, cemento hidráulico ni refuerzo a base de fibras que se usa como ingrediente de una mezcla cementante para modificar su estado fresco, mezclado, fraguado o propiedades de endurecimiento y se agrega a la mezcla inmediatamente antes o durante su dosificación.

Agregado bien graduado: (well-graded aggregate) agregado con una distribución granulométrica tal que produce el peso volumétrico máximo, es decir, el mínimo volumen de vacíos.

Cemento: (hydraulic cement) cemento que fragua y endurece por interacción química con el agua y es capaz de hacerlo aún bajo el agua.

CIMBRA: (formwork) sistema total para soporte del concreto fresco recién colado que incluye el molde o la tablazón en contacto con el concreto, así como todos los elementos de apoyo, herrajes y atiesadores necesarios.

Concreto: (concrete) material compuesto formado básicamente por un medio aglutinante dentro del cual quedan ahogadas partículas o fragmentos de agregados, generalmente formados por una combinación de agregado fino con agregado grueso; en concreto a base de cemento portland, el aglutinante es una mezcla de cemento portland y agua, con o sin aditivo.

Definiciones tomadas de “Terminología del Cemento y del Concreto”, ACI 116R-00.

3.2.2 ACI 117: Especificaciones y Tolerancias para Materiales y Construcciones de Concreto

Tanto los materiales de construcción, líquidos o sólidos, como los elementos de concreto pueden presentar diferencias en las dimensiones o cantidades a usar. Estas pueden traer controversias a todos los actores en la construcción debido a la duda de aceptar o no el material o el trabajo terminado de concreto. Debe existir un valor o rango de valores que permita concebirlo como bueno o aceptable y así utilizar al material, dosificarlo en la mezcla o recibir conforme el trabajo en

concreto. Es entonces, cuando el profesional de la construcción puede apoyarse en las **Especificaciones Y Tolerancias Para Materiales Y Construcciones De Concreto Contempladas en La Norma ACI 117**. Como lo dice su nombre, ésta brinda las tolerancias en la diferencia de valores en materiales y dimensiones de construcciones de concreto. Cabe destacar que cuando se especifica un rango no existe tolerancia.

3.2.2.1 Configuración de la Especificación Estándar ACI 117

A demás de los puntos generales con que cuenta una norma explicados en el capítulo 1, ésta brinda en **14 secciones** las tolerancias a considerar para diferentes elementos y los **Comentarios** que permiten esclarecer en detalle algunos puntos de duda o en conflicto sobre algún aspecto constructivo o de materiales usados en la obra. Cabe destacar que, las tolerancias están inmersas en las otras normas como por ejemplo el porcentaje de aire \pm su tolerancia y rango de revenimiento permitido.

a. Sección 1:

Se dedica a las generalidades de las especificaciones como las mencionadas en el capítulo 1 de este folleto.

b. Sección 2

Está lo referente la variación en los **materiales**. En ellas se encuentra la habilitación y colocación del acero de refuerzo. Se presenta las especificaciones

para varillas del No.3 al No.11 y del No.14 al No. 18, la reducción permitida en el recubrimiento, la distancia a las cimbras laterales y a las superficies de concreto resultante. También se refiere a la distancia entre refuerzo, varillas en paquetes y su distancia entre paquetes de varillas. Es de especial interés la información suministrada respecto a todo lo referente a concreto no presforzado y su colocación en ductos.

En esta sección se presentan dos tablas estándar de fabricación de varillas en la que las distancias están dadas en centímetros. Estas tablas exponen los símbolos de tolerancia los cuales es de suma importancia tenerlos en cuenta. Por otro lado, cuando se amarran las varillas ocupan un volumen dentro del concreto y se debe tener el control para que el conjunto concreto – acero trabaje bien.

La colocación de elementos ahogados, la dosificación del concreto y las propiedades del concreto como el revenimiento y el contenido de aire están incluidas en esta sección. En lo relativo al revenimiento y materiales cementantes no hay tolerancia especificada. En su defecto, se especifica un rango (0% - 4%). Recordemos que, cuando se especifica un rango no existe tolerancia.

c. Sección 3

Se encuentra lo relativo a tolerancias en **cimientos** que brinda los valores permitidos en la alineación vertical, lateral, horizontal, dimensiones de la sección transversal y el alineamiento relativo. En esta sección podemos encontrar lo concerniente a pilas y zapatas. También informan sobre pilas coladas in situ y las pendientes que puedan tener las zapatas respecto al plano especificado. Para el

profesional de ingeniería y arquitectura que tiene que ver con este aspecto, es importante tener en cuenta toda la sección 3.

d. Sección 4

El **concreto vaciado en obra** se puede consultar en la **sección 4**. Es bueno conocer las tolerancias que pueden existir en la altura del colado del concreto por el tema de la segregación y lo referente a las tolerancias existentes en columnas esquineras exteriores expuestas y las juntas de control. Esta sección trata lo permitido en el alineamiento vertical, lateral, horizontal, dimensiones de la sección transversal y el alineamiento relativo que especifica en cuanto a escaleras, ranuras, superficies cimbradas, vértices exteriores de columnas esquineras expuestas, juntas de control, desnivel de piezas adyacentes de cimbras, tolerancias de acabado de pisos y por último aberturas a través de los elementos de acuerdo al tamaño de la sección transversal y su localización de la línea central de la abertura. En ocasiones puede existir dualidad de pensamiento e interpretación. Es por ello por lo que, con especial interés hay que revisar los Comentarios de la Especificación.

e. Sección 5

La **sección 5** muestra al **concreto precolado** respecto a su fabricación y montaje. Incluye las tolerancias de fabricación en elementos lineales desde su longitud, dimensiones de la sección transversal, alineamiento lateral, variación de la contraflecha, irregularidades de la superficie y desviación respecto a una regla de

10 pies. Es de especial interés la información suministrada a las tolerancias de fabricación de pilotes que consisten en datos sobre la longitud, dimensiones de la sección transversal (oquedades internas, cabezas de pilotes, irregularidades de la superficie). Otro punto que se verifica en esta sección es la tolerancia de fabricación de elementos planos que entre otros datos comunes a verificar se encuentran aberturas en paneles, alineación lateral de elementos empotrados: ranuras para empaques de pernos, camisas de tubos, placas soldadas e insertos, arqueo y alabeo en el momento del montaje y las tolerancias propiamente dichas en el montaje de cada pieza prefabricada.

f. Otros capítulos

Los otros capítulos de esta especificación son menos comunes, pero se plantean a continuación:

La información de tolerancias en **mampostería** se encuentra en la **Sección 6**. En la mampostería es imprescindible verificar el alineamiento vertical, lateral y horizontal.

La **Sección 7** contempla los **elementos colados verticalmente con cimbras** preponderante en la modalidad de construcción actual. Mientras que, las tolerancias en la fabricación del **concreto masivo** (estructuras de más de 1 m en cualquiera de sus dimensiones) es visto en la **Sección 8**, ya sea en superficies visibles u ocultas y las pendientes que conlleva en cada caso. Cabe destacar que lo especificado en esta sección no aplica para vigas o columnas.

Las tolerancias en los **revestimientos de canales** se encuentran en la **Sección 9**. Aquí está expuesto el alineamiento lateral incluyendo tangentes, curvas, ancho de sección a cualquier altura. En el alineamiento horizontal se observa el nivel de perfil, de plantilla y talud lateral, umbrales para compuertas radiales y las pendientes involucradas en superficies cimbradas.

Las tolerancias en los *sifones y alcantarillas monolíticas* se encuentran en la **Sección 10**, mientras que, las tolerancias en la fabricación de **puentes vaciados en la obra** se pueden encontrar en la **Sección 11**. Que además de otras cosas, nos informa sobre la tolerancia de los elementos componentes de puentes como pavimentos, rampas, aceras e intersecciones.

Las tolerancias e los **pavimentos y aceras** son presentados como tal en la **Sección 12**.

En las **Secciones 13 y 14** se encuentran las tolerancias para elementos de concreto especiales como las **Chimeneas, torres de enfriamiento y tubos no reforzados colados en obra**.

Con esta información presentada inmediatamente arriba, “Especificaciones y Tolerancias para Materiales y Construcciones de Concreto”. Como diseñadores, inspectores o constructores en concreto debemos saber que existe variabilidad o diferencia en dimensiones u otra medida en el producto final del elemento tratado en concreto y sus detalles en los planos o especificaciones de obra. En ese momento se presenta la encrucijada de aceptar o no el trabajo en concreto. La decisión puede ser tomada en base a las tolerancias admitidas o especificadas en cada caso si el ingeniero o arquitecto se dirige a la especificación ACI 117.

3.2.3 Designación ASTM: E 329: Especificación estándar para las agencias encargadas de los ensayos y/o inspección de materiales usados en la construcción.

La misma aplica a las agencias de ensayo, los requerimientos mínimos que han de cumplir los equipos y procedimientos empleados en los ensayos y en la inspección de materiales usados en la construcción. A demás de lo esencial de toda norma, puede encontrar en ella lo siguiente:

a. El personal: debe ser suficiente, con educación, entrenamiento, conocimientos técnicos, certificación y experiencia de 5 años para realizar las funciones asignadas en el laboratorio.

b. Equipo: responsabiliza a la agencia de suministrar todo el equipo y materiales necesarios para la ejecución de los ensayos y la inspección en obras de concreto.

Cada equipo y material deberá ser etiquetado conforme a su estado de calibración y mantener su registro.

c. Sistema de calidad del laboratorio, auditoria y revisión

La agencia debe contar con un sistema de calidad de acuerdo con el volumen, tipo y rango de actividades que realiza. Deberá a su vez, documentar las políticas y objetivos para dichos servicios. También deberá mantener un manual de calidad

y toda la documentación relacionada a las actividades que ejercen en el laboratorio. Este sistema deberá ser revisado por el jefe al menos una vez al año.

d. Métodos de ensayo e inspección

La agencia deberá mantener documentadas y al día las instrucciones de inspección, calibración, preparación de muestras y ensaye de acuerdo con las normas nacionales e internacionales publicadas por organismos responsables o de textos y revistas científicas.

e. Registros

Los registros deberán custodiarse al menos 3 años por confianza y seguridad al cliente a menos que la ley u otra autoridad exija lo contrario.

f. Informe

La agencia elaborará un informe o certificado recuperable, dando a conocer de manera clara, precisa y objetiva los resultados de la inspección o los ensayos.

Figura No. 1 Ejemplo de Informe

Logo DYMED: Calibración y Metrología. Slogan: "Precisión y confianza, garantizados".

Laboratorio de Metrología
Certificado de Calibración

21 de abril de 2022
Página 1 de 3

Certificado N° 03-01-0155-2022
Solicitado por: Laboratorio de ensayos
Dirección: Distrito de Capira
Teléfono: 244-5586

Número de solicitud interna: 03-032-2021
Fecha de solicitud: 2022-03-12
Fecha de la calibración: 2022-04-21
Lugar de calibración: Sala de metrología dimensional_JAB-03

Identificación del equipo a calibrar: regla plástica

Marca: N/A	Serie: N/A
Rango: 0 mm - 1000 mm	División de escala: 1 mm
Modelo: N/A	Identificación: RM-EM-LABEL

Identificación del equipo patrón: regla metálica

Marca: Faber Castell	Modelo: CD-12PC
Rango: 0 mm - 300 mm	Identificación: 564 28"
División mínima: 0.01 mm	Certificado: 03-51-0456-2019

Nota: Este certificado expresa fehacientemente el resultado de las mediciones realizadas. Por lo tanto no debe ser reproducido parcialmente excepto cuando se lo pida expresamente.

Fuente propia. Confeccionada por Dayana Medina, Mat. De Const. Y Normas de Ensayo 2022.

g. Inspección Y Ensayo Del Hormigón

La inspección y ensayo del hormigón incluyen todos o algunos de los puntos siguientes: muestreo y ensayo de los componentes del concreto, diseño de mezclas, verificación del equipo de producción de concreto, procedimiento e inspección del concreto, curado, ensayo de laboratorio del concreto endurecido.

Los ensayos ejecutados son contemplados en otro folleto.

3.2.4 Designación ASTM C 172: Práctica estándar para el muestreo del concreto recién mezclado

Esta designación corresponde a la práctica estándar para el muestreo del concreto recién mezclado o para obtener muestras representativas del concreto recién mezclado de los diferentes contenedores utilizados en la producción y transporte del concreto y que se utilizarán en diferentes ensayos. El tamaño mínimo de la muestra para un ensayo de resistencia es de 1 pie³. Este apartado contempla la toma de muestra de equipos como mezcladoras estacionarias, mezcladoras pavimentadoras, camiones revolvedores con tambores mezcladores o agitadores, mezcladores con tapa abierta, agitadores, equipo no agitador y otros contenedores de tapa abierta. El procedimiento de la toma de muestra de concreto fresco en este apartado se refiere a mezclas cuyo agregado máximo es de 3 pulgadas. Si el tamaño nominal del agregado es mayor la especificación lo informa inmediatamente en una sección aparte.

3.2.5 Designación ASTM: C1064: Método de prueba normalizada para la medición de la temperatura del concreto recién colado

El control de la temperatura del concreto fresco es de suma importancia porque influye en la calidad de este, el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto. Si la temperatura inicial del concreto es baja a la hora del vaciado y se le somete a curado la resistencia del concreto evolucionará lentamente hasta alcanzar valores altos con el tiempo y el mismo será durable. Hay que resaltar que la

temperatura del concreto afectará el comportamiento de algunos aditivos. Este ensayo es uno de los primeros en realizarse a la mezcla de concreto fresco.

La designación ASTM C1064 describe el método de ensayo estándar para la medición de temperatura del concreto hidráulico recién mezclado. Esta norma se usa para verificar el cumplimiento de los requerimientos exigidos en las especificaciones del proyecto. El equipo utilizado consiste en un recipiente cuyas dimensiones cubran al menos 3 pulgadas (75 mm) de concreto al aparato medidor de la temperatura. El aparato medidor de temperatura será aquel que pueda medir la temperatura del concreto con una **tolerancia de ± 1 °F (± 0.5 °C)** en un rango de 30 a 120 °F (0 a 50 °C) y debe sumergirse en la mezcla por 3 pulg (75 mm) o más, durante la operación. La precisión y calibración del aparato medidor de la temperatura deberá verificarse cada doce meses o cuando se dude la lectura. Las muestras de concreto para el ensayo de la temperatura deben hacerse siguiendo la norma ASTM C172 y humedeciendo el recipiente con agua antes de la prueba. El procedimiento de la toma de temperatura consiste en introducir por dos (2) minutos y con cierta inclinación, 3 pulgadas (75 mm) el medidor de temperatura en la mezcla de concreto, presionar la zona de contacto del medidor y el concreto para evitar la afectación por el medio ambiente. Todo este procedimiento o la toma de la temperatura debe durar aproximadamente 5 minutos desde la toma de la muestra de concreto fresco utilizando agregados máximos de 3 pulgadas (75mm). El informe consistirá en registrar la temperatura del concreto fresco con una precisión de 1°F (0.5 °C).

Figura No. 2. Termómetro para concreto fresco



Fuente propia, autorizada por LABAICA.

3.2.6 Designación ASTM C 143: Método de ensayo estándar para la determinación del revenimiento en el concreto a base de cemento hidráulico

La consistencia del concreto es una medida de la fluidez de este en estado fresco se determina en forma indirecta mediante el ensayo de revenimiento, asentamiento o slump. La norma ASTM C 143 contempla el método estándar para la determinación del revenimiento en el concreto a base de cemento hidráulico y es aplicable al concreto fabricado en el laboratorio o en el campo con agregado máximo de hasta 1 ½ pulgada (37 mm) de tamaño.

a. Equipo

El equipo de prueba consiste en un cono truncado metálico de base de 8 pulgadas y 4 pulgadas en la parte superior, una varilla de puntas redondeadas y un plato base que pueda contener el desplazamiento del concreto.

Figura No. 3 Equipo de medición de la consistencia



Fuente propia. *Equipo suministrado por CEI para los ensayos de Materiales de Construcción y Normas de Ensayo*

b. Muestreo

La muestra de concreto debe ser tomada según la designación ASTM C 172.

Figura No. 4 Toma de muestra para asentamiento



Fuente propia. Estudiantes del curso de Materiales de Construcción y Normas de Ensayo, en la toma de muestras

c. Procedimiento

El procedimiento general consiste en humedecer el molde y llenarlo en tres capas compactadas con la varilla de puntas redondeadas mediante 25 golpes. Los golpes deben ser distribuidos en toda la sección transversal de cada capa de concreto. En la capa inferior es necesario suministrar los golpes en el perímetro del área e inclinar la varilla de apisonamiento y no tocar el fondo. En las siguientes capas es importante apisonar cada capa en todo el espesor de cada una sin tocar la capa anterior. Hay que observar si la última capa o capa de la superficie está rellena de material de mezcla. Si no lo está, entonces, se rellena con concreto la parte faltante y se recurre al apisonamiento para posteriormente retirar el exceso mediante el uso de la varilla de puntas redondeada.

Figura No. 5 Llenado del cono de Abrams



Fuente propia. *Estudiantes del curso de Materiales de Construcción y Normas de Ensayo, en el llenado del cono de Abrams*

Cabe resaltar que en todo momento el técnico debe mantener presionado el molde utilizando su propio peso mediante la colocación de sus pies en cada una de las agarraderas del molde como se observa en la figura 5. Una vez culminado el proceso de llenado del molde, éste debe retirarse en forma vertical a una altura de 12 pulgadas en 5 ± 2 segundos. La realización de este ensayo desde el procedimiento de llenado hasta el retiro del molde debe ser de 2.5 minutos.

Figura No. 6 Medición del Revenimiento o asentamiento



Fuente propia. Estudiantes del curso de Materiales de Construcción y Normas de Ensayo, en la medición del asentamiento especificado.

3.2.7 Designación ASTM C29: método normalizado para determinar la densidad aparente o peso unitario e índice de huecos en los áridos o agregados.

Como se ha mencionado antes, presenta el alcance que se aplica a la determinación del peso unitario de un árido compactado o suelto y el cálculo de

los huecos en áridos finos, gruesos o su combinación cuyo tamaño máximo nominal es menor de 5 pulgadas. Entre otros puntos, esta norma enfatiza en el muestreo en concordancia con la norma ASTM C 702, tipo y tamaño de muestra de 125 a 200% de la cantidad requerida y secada al horno hasta obtener un volumen constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

Figura No. 7 Horno calibrado



Fuente propia. Cortesía de *Hormigón Express, Vacamonte*

El equipo utilizado en este ensayo consiste en una balanza con precisión de 0.1% de la carga de ensayo, un pisón o vara de acero de 5/8 pulgada de diámetro y 24 pulgadas de longitud, un recipiente con capacidad mayor de 1 pie³, una pala cuchara para llenar el recipiente.

Figura No. 8 Equipo para el ensayo de peso unitario



Fuente propia. Cortesía de Hormigón Express, Vacamonte

El recipiente debe ser calibrado llenándolo con agua a temperatura ambiente y cubriéndolo con una placa de vidrio, es imprescindible eliminar las burbujas y el exceso de agua. Posteriormente, el procedimiento para determinar la masa del agua en el recipiente consiste en pesar en la balanza el recipiente con agua. Seguidamente, la temperatura debe ser medida y compararla con la tabla siguiente:

Tabla 2 Densidad del Agua vs Temperatura

Temperatura		Lb/pie3	Kg/m3
°F	°C		
60	15,6	62,366	999,01
65	18,3	62,336	998,54
70	21,1	62,301	997,97
73.4	23,0	62,274	997,54
75	23,9	62,261	997,32
80	26,7	62,216	996,59
85	29,4	62,166	995,83

Adaptada de ASTM C 29. Punto 8.3

El procedimiento de ensayo puede hacerse mediante los siguientes métodos:

- a. Para agregados cuyo tamaño máximo nominal sea igual o menor de 1 ½ pulgadas se usará el procedimiento de apisonado que consiste en llenar un tercio del recipiente, nivelar la superficie con los dedos. Luego apisonar los agregados suministrándoles 25 golpes con la varilla de punta redonda distribuidos en toda la superficie. Terminada esta etapa, llenar el segundo tercio del recipiente y repetir el procedimiento antes descrito. Para culminar, llenar el tercer tercio hasta rebozar la superficie. Por último, nivele la superficie con los dedos o con la varilla o una regla de manera que las partículas se arreglen en el recipiente.
- b. Utilizando la balanza, determine la masa del recipiente con los agregados, posteriormente determine la masa del recipiente o tara vacía.
- c. Los cálculos de la densidad aparente seca al horno como sigue:

$$M = (G - T)/V$$

Donde:

M = densidad aparente de los áridos, lb/pie³ (Kg/m³)

G = masa de los áridos más el recipiente, lb (kg)

T = masa del recipiente, lb (kg)

V = volumen del recipiente, pie³ (m³)

- d. Los cálculos para la densidad aparente en condición saturada superficialmente seca (SSS):

$$M_{SSS} = M \left[1 + \left(\frac{A}{100} \right) \right]$$

Donde:

M_{SSS} = densidad aparente en condición SSS, lb/pie³ (kg/m³)

A = % de absorción

e. Cálculo para el contenido de huecos

$$\%huecos = 100[(SXW) - M]/(SXW)$$

Donde:

M = densidad aparente de los áridos

S = peso específico (seco)

W = densidad del agua a 62.3 lb/pie³ (998 Kg/m³)

Figura No. 9 Control de la humedad de los agregados

FECHA	LUGAR	Agregado	Frecuencia (Días/Sem)	Hora	S. HUM.	OBSERVACIONES
21/02/2020		Arena	1	10:30	1.2	
21/02/2020		Grava	1	10:30	1.2	
22/02/2020		Arena	1	10:30	1.2	
22/02/2020		Grava	1	10:30	1.2	

Fuente propia. Cortesía de Hormigón Express. Control de humedad

3.2.8 La Designación ASTM C94: Especificación normalizada para el hormigón premezclado

su rango de alcance tiene que ver con el hormigón premezclado o el concreto que llega a obra en camiones mezcladores. En otras palabras, con el nacimiento de la industria del concreto pre - mezclado. Es importante mencionar que la unidad básica para la compra del concreto fresco es la yarda o el metro cúbicos.

Figura No. 10 Planta concretera



Fuente propia. Cortesía de Hormigón Express. Planta concretera

a. Muestreo

Para el muestreo del concreto, cada muestra de concreto deberá pertenecer a la parte media de tres camiones distintos como se describe en la Práctica ASTM C172. En esta especificación se definen a los actores en concreto premezclado: el fabricante que puede ser contratista, subcontratista, proveedor o productor que

entrega el concreto premezclado y al comprador que puede ser el propietario de la obra o su representante.

b. Equipos

También se describen las características de los equipos y medios de transportes o camiones del concreto tales como: mezcladores y agitadores para concreto premezclado. Las mezcladoras pueden ser estacionarias o de camión volquetes el cual se utiliza para pavimentadoras. Los agitadores pueden ser camiones mezcladores o camiones agitadores. Los camiones mezcladores cuyo volumen debe ser menor a 12 m³, deben poseer una placa que evidencie la velocidad de mezclado del tambor o de las paletas y el volumen o capacidad máxima y un medidor de tiempo para controlar el tiempo de descarga (en caso de no poseer la placa se debe hablar con la empresa suplidora y no aceptar esta situación), contadores de revolución (es un equipo del camión que es susceptible a daño.

Figura No. 11 Camión revoledor de concreto



Fuente propia. Cortesía de Hormigón Express, Vacamonte

Hay que enfatizar que, en cuanto a los camiones revolvedores o agitadores, también deben contener una placa que compruebe la capacidad máxima o volumen del tambor y la velocidad máxima del tambor, se debe tener una medida para conocer el número de vueltas (70 a 100) y verificar si el concreto premezclado es aceptable, es por ello por lo que, el contador de revoluciones debe permanecer sin daños para poder verificar esta situación. En cuanto a la velocidad del agitador, esta debe ser tal que el concreto no se endurezca, con un aproximado de 3 a 7 revoluciones/minutos. La velocidad del mezclador o tambor de mezclado puede ser de 11 a 18 revoluciones/min. Generalmente las 70 vueltas del tambor de camión de concreto se cumplen de 5 a 6 minutos. Sin embargo, el tambor no debe dar más de 300 revoluciones. Si llega a 300 revoluciones, y el concreto aún se observa en buen estado, el inspector puede usar el concreto, esto se frecuentemente en concretos con retardadores. Es de suma importancia mencionar que, el volumen del concreto mezclado no debe exceder el 63% del volumen del tambor.

Para obtener el concreto deseado es preciso conservar en buen estado los camiones mezcladores, haciéndole su correcto lavado, de manera que, el concreto no se adhiera a las espas. Por otro lado, por conservación ambiental, las aguas de lavado se le deben aplicar tratamiento previo antes de verterlas a su punto de deposición final.

Figura No. 12 Limpieza de camiones revolvedores



Fuente propia. Cortesía de Hormigón Express, Vacamonte

c. Agua de mezcla de concreto

Otro componente importante en la mezcla de concreto es el agua. El suministro del agua se verifica en el tubo dosificador que lee la diferencia del agua suministrada. Si el camión carece de este equipo el inspector puede rechazar el camión de concreto.

Figura No. 13 Dosificadores de agua en el camión de mezcla



Fuente propia. Cortesía de Hormigón Express, Vacamonte

d. Consideraciones relativas a la planta de concreto

En lo que se trata de las plantas de concreto se debe verificar que se tengan todos los productos por separado (piedra, arena y cemento separados). También debemos verificar que el cemento se pese aparte de los agregados. Sin embargo, la arena y la piedra pueden pesarse juntas. Los aditivos se pesan por separados y los que son líquidos se dosifican por separado.

Las balanzas y los equipos deben estar calibrados y dentro de **las tolerancias** normalizadas para entregar al cliente la mezcla de concreto que él solicitó. En el mismo sentido de las tolerancias permitidas, éstas van de acuerdo con la importancia del material que se tiene en la mezcla, generalmente el peso del agua y el cemento admiten tolerancias de $\pm 1\%$ de error en la balanza, la piedra y arena puede tener una tolerancia de $\pm 2\%$ (por ejemplo: si se debe pesar 100 libras entonces, puede ser aceptado un peso de 98 lb o 102 lb. En ese mismo sentido los aditivos pueden presentar una tolerancia de 3%.

En las obras importantes se debe inspeccionar con equipos de última generación o computarizados para garantizar el control de calidad de los materiales utilizados.

e. Solicitud del Concreto Premezclado

Para solicitar el concreto se tienen tres alternativas: A, B o C.

Generalmente, se utiliza la **alternativa A** en la que el proveedor tiene la responsabilidad del diseño del concreto (anteriormente definido), queda en manos del comprador especificar al fabricante, la resistencia del concreto a los 28 días y el fabricante debe suministrar al comprador un informe en donde indique la dosificación, la masa en seco del cemento, la masa del agregado fino y la del

agregado grueso en condiciones (SSS), los tipos y cantidades de aditivos utilizados y la cantidad de agua por yarda cúbica o metro cúbico utilizada. .

Mientras que la **alternativa B**, se refiere a cuando el comprador posee el diseño de mezcla, entonces, la responsabilidad recae en él y debe suministrar al fabricante la cantidad de todos los materiales que serán utilizados en el concreto.

En este caso, el fabricante debe entregarle al comprador la fuente de los materiales a utilizar, análisis granulométrico de los agregados y las masas unitarias de los áridos finos y gruesos en condiciones SSS, la cantidad de agua en yarda o metro cúbicos a utilizar y el tipo y cantidad de aditivo solicitado por el comprador. Cabe destacar que, si el fabricante requiere hacer un cambio en la cantidad o tipo de aditivo, debe solicitárselo al comprador por escrito.

Por último, la **alternativa C**, el comprador requiere una cantidad mínima de cemento y se la transmite al fabricante para que asuma la responsabilidad por la dosificación de la mezcla. En este caso, se condiciona otro parámetro como por ejemplo la longitud a flexión del elemento. Hay situaciones en las que es recomendable el diálogo entre el productor y el cliente con el propósito de obtener resultados satisfactorios para todas las partes en la construcción. Por ejemplo, en el caso de concreto bombeado en el que se pueda requerir agregado fino y/o aire incluido para que no se tranque la bomba en algún punto.

En todo caso, alternativa A, B, o C, la resistencia del hormigón debe ser verificada en el punto de entrega o descarga. Y el fabricante entregue **copias** de todos los informes de los ensayos realizados en la muestra de concreto solicitado.

f. Requisitos del concreto premezclado necesarios para su solicitud en planta

Para solicitar el concreto a la planta es necesario suministrar ciertos datos. Estos pueden ser:

- a. Tamaño del agregado grueso
- b. Asentamiento del concreto en el punto de entrega
- c. El contenido de aire en el punto de entrega si se solicitó concreto con aire incorporado
- d. La alternativa A, B o C, y
- e. Si se solicita concreto liviano hay que dar los datos sobre la masa por volumen unitario: masa húmeda, masa seca al aire, masa seca al horno.

g. Materiales usados en el concreto premezclado

Los componentes del concreto deben cumplir al menos lo siguiente: el **cemento** debe cumplir con la Especificación C150, los **áridos o agregados** con la Especificación C 33, el **agua de amasado** debe ser potable. En la norma ASTM C94 se presentan los criterios de aceptación del agua para amasado. En lo que se refiere al **contenido de aire**, éste es de uso notorio en clima frío, dependiendo del clima (suave, moderado, severo); estas burbujas actúan como un colchón para que el concreto se expanda y contraiga. En climas cálidos la introducción de aire mejora la trabajabilidad del concreto. Las tolerancias en este aspecto oscilan en ± 1.5 %. Relativo al **revenimiento**, el asentamiento del concreto debe caer dentro del rango permitido del descenso del cono durante los 30 minutos de su llegada a la obra y el contenido de aire para concretos con aires incorporados puede

obtenerse de la norma ASTM C94. Esta norma habla sobre la medición de los materiales y sus tolerancias, por ejemplo: tanto el cemento como los áridos se deben medir en masa. El agua debe medirse en volumen o en peso con una precisión de 1% de agua total requerida para el amasado.

h. Mezclado y entrega

Es importante acotar que el concreto a suministrar por el fabricante debe ser entregado en el lugar, las condiciones y en el tiempo acordado con el comprador.

Este puede ser en tres modalidades:

- a. Mezclado en mezcladora estacionaria: el tiempo de mezcla se contabiliza a partir de la unión de todos los materiales sólidos están juntos en la mezcladora estacionaria. En lo que se refiere al agua de amasado, una parte debe estar antes de colocar los materiales sólidos y antes del $\frac{1}{4}$ del tiempo de amasado debes estar todo el resto del agua dentro de la mezcladora. Si la capacidad de la mezcladora es menor o igual a 1 yarda cúbica (0.76 m³), el tiempo de mezcla debe ser menor a 1 minuto. Para mezcladoras de mayor capacidad se debe incrementar 15 segundos por cada yarda cúbica o fracción de capacidad adicional.
- b. mezclado en dos fases: este corresponde al concreto mezclado primeramente en una mezcladora estacionaria y la otra en un camión mezclador
- c. mezclado en camión: Para obtener un concreto bien mezclado, el número de revoluciones debe estar en un rango de 70 a 100

La toma de muestras de un camión mezclador debe hacerse con muestras independientes, cuyo volumen sea aproximadamente de 2 pie³ (0.1 m³). Nunca se muestrea del primer material que sale del camión, sino después de haber descargado el 15% de volumen total del tambor y el 85% del total con la salvedad de que el muestreo debe hacerse en un tiempo menor de 15 minutos. En este proceso, el recipiente que albergará al concreto debe llenarse de un chorro completo de descarga del tambor del camión y el contenido debe mezclarse en una carretilla para llenar los cilindros estándares para que la muestra sea representativa. A este punto, la responsabilidad del fabricante deja de existir porque el concreto es manipulado en campo por otra persona ajena a la planta. La descarga total del camión debe haberse hecho a 1 ½ hora o antes que el tambor haya dado 300 revoluciones, la menor de las dos condiciones.

Es importante decir que, en climas cálidos el concreto debe entregarse a la temperatura más baja que se pueda. En otras palabras, a una temperatura menor de 32°C (90°F) según ACI 305 R.

La toma de muestras y los ensayos en el concreto fresco deben ser realizados por un técnico idóneo. Un ensayo por cada 150 yardas³ (115 m³) es la frecuencia de los ensayos de resistencia, consistencia o revenimiento, temperatura y contenido de aire que deben realizarse al concreto fresco. Por ejemplo, si tengo 1000 m³, el muestreo debe ser $1000\text{m}^3/115\text{m}^3 = 8.69$ muestras o 9 muestras debo tomar. En estructuras importantes, se puede muestrear cada 50m³.

En la aceptación del concreto por resistencia las probetas de cilindros deben prepararse de acuerdo con la norma ASTM C31. En el ensayo de resistencia se

deben preparar al menos 2 cilindros de una mezcla compuesta y se saca el promedio, las respuestas de ambos cilindros deben ser muy parecidas a la resistencia especificada indicando que los resultados están bien. Si los resultados dan con diferencia indica que existe algún problema en el muestreo. Si una probeta no cumple con lo especificado se rechaza.

Esta norma contempla la desviación estándar en los resultados de resistencia que inducen al “**sobre diseño**”, lo que se refiere a que se va a tener variaciones en las resistencias (de cada 100 pruebas, posiblemente 1 no da los resultados esperados). Entonces, entre más grande es la desviación estándar más grande es el sobre diseño. Por ejemplo, si se desea un concreto de $f'c = 3000 \text{ lb/pulg}^2$, se diseña para uno de 3, 400 lb/pulg², porque alguno de los resultados dará 300 lb/pulg².

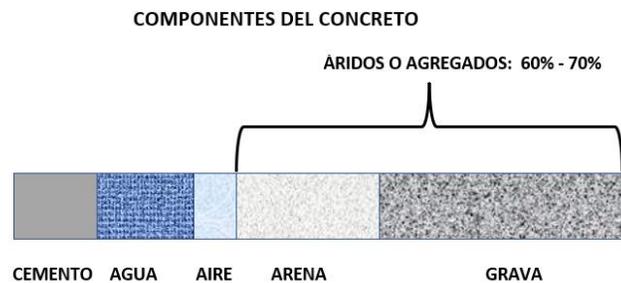
3.2.9 (PCA) Diseño y Control de Mezclas de Concreto por Asociación de Cemento Portland

Es un libro cuyas referencias pertenecen a Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese y Jussara Tanesi, en donde se presentan las características del concreto y sus componentes usados en la construcción. Es prácticamente un resumen de las normas ASTM, ACI, COVENIN y otras. Posee 18 capítulos. Es preciso aclarar que no se verán todos los capítulos.

3.2.9.1 Fundamentos del Concreto

La calidad del concreto depende de las condiciones de la pasta y de los áridos y su unión. Debemos tener en claro que en Panamá se usa agregado natural: arena de ríos y playas. En otros países este material se extrae de la trituración de otros materiales por las prohibiciones.

Figura No. 14 Porcentaje de áridos en el concreto



Fuente propia.

En la figura 14 se observa que la cantidad de agregados utilizados en el concreto va del 60 al 70% de la masa total. Es por eso por lo que, hay que tomar especial cuidado en la elección y manejo de los agregados o áridos para el concreto para obtener un concreto trabajable y durable.

1 Durabilidad

La durabilidad del concreto endurecido depende de la cantidad de agua utilizada en la mezcla, por eso es de suma importancia controlar el agua para gozar de las ventajas que nos brinda este concepto, como lo son:

- a. Aumento en la resistencia a la compresión y flexión

- b. Disminución de la absorción de líquidos, aumento de estanqueidad, aumento de permeabilidad
- c. Concreto durable o aumento de resistencia ante la intemperie
- d. Mejora la unión entre el concreto y el acero
- e. Disminución de contracción o retracción del concreto
- f. Disminución del cambio de volumen en el concreto endurecido

2 Relación agua cemento (a/c)

La relación agua cemento (w/c) puede estar en un rango de 0.25 a 0.70 y hay que tener consideración que entre más fino es el agregado fino, más cantidad de agua necesitará la mezcla.

3 Trabajabilidad de la mezcla

La trabajabilidad del concreto se refiere al manejo de la mezcla al momento de mezclar el hormigón (colar, vaciar), y acabado final el hormigón. Ésta depende de la consistencia del concreto, del material cementante, tamaño, forma y textura superficial de los áridos, cantidad de agua, aire incluido, aditivos, y la temperatura del hormigón y del aire circundante. Respecto a este último factor se puede decir que un concreto que mantiene su temperatura es más fácil de trabajar que otro en el que la temperatura aumenta durante el amasado.

Asociadas a la trabajabilidad hay ciertas propiedades como la consistencia que se mide mediante el revenimiento por el cono de Abrams, la movilidad, la bombeabilidad que es tan importante cuando se desea llevar el concreto a lugares

elevados o inaccesibles, el sangrado o exudación que es la formación de una película de agua en la superficie del concreto recién colado que se debe al exceso de agua o al vibrado incorrecto que conlleva a la formación de cavidades en el concreto endurecido y la facilidad de acabado.

Figura No. 15 Prueba de Revenimiento

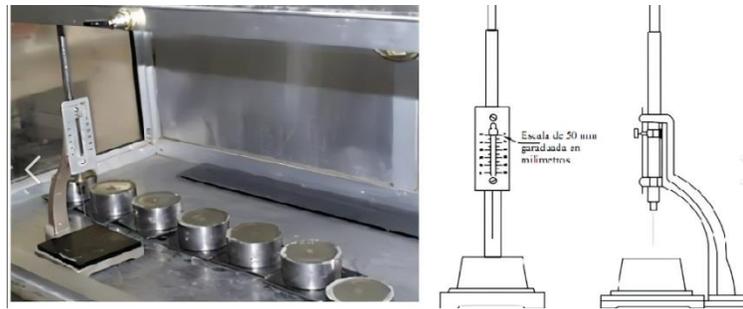


Fuente propia. Cortesía de Hormigón Express, Vacamonte

En lo que se refiere a la **hidratación, tiempo de fraguado y endurecimiento del concreto**, el conocimiento de estos conceptos es importante para planificar la construcción. Por ejemplo, en el amasado del concreto se genera alta temperatura por la reacción química de los componentes denominada calor de hidratación, en invierno la temperatura circundante y las condiciones ambientales juegan un papel de protección al concreto recién colado. En el peor de los casos, con curados del concreto a temperaturas de 10°C a 32 °C el tiempo de fraguado o endurecimiento del concreto oscila alrededor de 7 horas. Uno de los métodos para determinarlos

es mediante el aparato de Vicat por el cual se toma el tiempo inicial de fraguado y el fraguado final cuando la aguja penetra una mezcla de consistencia normal hasta el tiempo especificado (ver la figura 16).

Figura No. 16 Aparato de Vicat



Tomada de: Apuntes de Ingeniería Civil: Propiedades mecánica del cemento

4 Resistencia a compresión y Resistencia a tensión del concreto

La resistencia a compresión del concreto se mide a través de cilindros estándar de concreto de 15 cm (6 pulgadas) de diámetro por 30 cm (12 pulgadas) de alto sometidos a carga axial (ver figura 17).

Figura No. 17 Cilindros estándar para ensayo de compresión



Fuente propia. Cortesía de Hormigón Express, Vacamonte

El esfuerzo de compresión del hormigón será medida por la intensidad de carga por unidad de área a la edad de 28 días y se simboliza por f'_c , cuyas unidades son MPa (N/mm²) (Kg/cm²) (lb/pulg²). El proceso se muestra en las figuras 18, 19, 20 y 21.

Figura No. 18 Equipo para la prueba de resistencia a la compresión



Fuente propia. Cortesía de Hormigón Express, Vacamonte

La resistencia a compresión de concretos de uso general muestra valores desde 200 a 400 kg/cm² (20 a 40 MPa) (3000 a 6000 lb/pulg²). Las edificaciones altas

o de gran importancia describen concretos con resistencia a la compresión superiores a las antes mencionadas.

Figura No. 19 Ensayo de compresión de concreto



Fuente propia. Autorizada por LABAICA

Figura No. 20 Cilindros ensayados



Fuente propia. Cortesía de Hormigón Express, Vacamonte.

La resistencia a la flexión del hormigón es utilizada mayormente en vigas, losas o placas sobre el terreno y en pavimentos. Esta oscila entre 0.7 y 0.8 MPa.

Figura No. 21 Fractura en los cilindros



Fuente propia. Cortesía de Hormigón Express, Vacamonte

5 Masa volumétrica (masa unitaria o densidad)

La masa volumétrica del hormigón usada en construcciones comunes como puentes, edificios, pavimentos va en un rango de 2200 a 2400 kg/m³ (137 a 150 lb/pie³) y depende de la densidad de los agregados. Para el diseño de concreto armado generalmente, se toma como masa volumétrica del conjunto hormigón – acero de refuerzo como 2400 kg/cm² (150 lb/pie³).

6 Estanqueidad y permeabilidad del hormigón

La estanqueidad se refiere a la característica del concreto de retener agua, mientras que la permeabilidad es la cantidad de agua que atraviesa un volumen de hormigón endurecido. Ambas propiedades son indirectas, entre más estanco es un concreto menos permeable es.

7 Resistencia a la abrasión

La abrasión la podemos definir como el desgaste. Este concepto guarda relación con la resistencia a la compresión, la relación agua/cemento, el curado y la terminación o acabado de la superficie juegan un papel preponderante en esta propiedad.

Un tema de cuidado cuando usamos concreto es controlar el volumen y la fisuración o agrietamiento de este.

8 Estabilidad del volumen y control de fisuración

El concreto experimenta en el rango húmedo una expansión y en estado seco una retracción. Este proceso ocasiona en el hormigón fisuras, las cuales se deben mayormente a la aplicación de cargas. Cuando el concreto experimenta algún tipo de restricción se fomentan las tensiones por secado o cambios de temperatura. Las grietas por secado se manifiestan en la superficie del concreto. Para controlar la fisuración, uno de los métodos utilizados es la aplicación de juntas en losas, pavimentos y muros.

Las juntas se pueden clasificar como:

- a. Juntas de contracción: permiten el movimiento en el plano de la losa o muro. Deben tener una profundidad de hasta $\frac{1}{4}$ del espesor del concreto a colar. Éstas se pueden usar en pavimento, acera, calzada, veredas, etc.
- b. Juntas de aislamiento: se utilizan cuando hay restricción de superficie, por ejemplo, en la unión de pisos con muros, con columnas y bases, el propósito de su uso es el de separar la estructura del concreto colado

permitiendo el movimiento horizontal y vertical de las partes involucradas.

Su profundidad es en todo el espesor del concreto o relleno y para su mantenimiento deben ser rellenadas con material de junta.

- c. Juntas de Construcción: éstas ocurren cuando el trabajo de colado de concreto no se completa en una jornada y tiene que continuarse en otra. Cuando se prevé esta situación, es posible alinear las juntas de construcción con las de aislamiento. Es primordial verificar la necesidad de acero de transferencia o pasadores para la transmisión de cargas.

En los casos b y c las juntas pueden ser calculadas o creadas. En algunos edificios para disipar energía se dibujan cocadas en las columnas. Otra forma de dejar juntas a propósito puede ser el vaciado alterno del concreto (se vacía una parte, luego se va a otra sección y posteriormente, se vuelve a continuar el vaciado inicial)

9 Reacción álcali – agregado

Esta reacción se da entre los álcalis del cemento (Na_2O y K_2O) y las impurezas reactivas de los agregados que provocan desintegración del concreto y afectan la velocidad de generación de resistencia en el concreto. Tiene dos formas de manifestarse, una de ellas, la más común y la más preocupante es cuando ocurre entre los álcalis del cemento y la sílice de los agregados (RAS) porque produce expansión en la matriz de concreto causando daño severo. En este caso se sugiere realizar el ensayo de

reactividad alcalina. La otra forma es la reacción álcali – carbonato o RAC (ver figura 22).

Figura No. 22 Deterioro superficial en concreto (reacción álcalis-agregado)

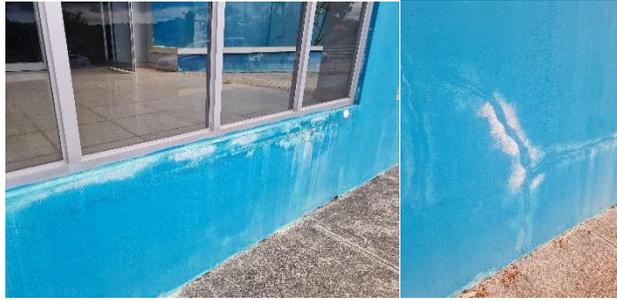


Fuente propia. Autorizada por LABAICA

10 Carbonatación

Ocurre cuando el dióxido de carbono del aire entra al concreto y reacciona con los hidróxidos de calcio para formar los carbonatos. Uno de ellos es el carbonato de calcio, el cual puede afectar la durabilidad de la superficie del concreto al bajarle el pH y poner en peligro al acero embebido en el hormigón. Generalmente el pH del concreto saludable está en 13 y permanecerá así, si se procedió con el curado adecuado, alta resistencia, baja relación agua/cemento y buen recubrimiento de la armadura (ver figura 23).

Figura No. 23 Ejemplo de carbonatación



Fuente propia.

11 Resistencia a los cloruros y sulfatos

Es recomendable dar mantenimiento preventivo a la estructura de concreto y mantener al concreto con pH mayor al 12.5 para producir sobre el acero embebido una capa pasiva protectora de óxido. Pero, el cloruro proveniente del agua de mar en el ambiente marino puede penetrar a la matriz de concreto y acabar con esta capa protectora cuando la cantidad de cloruros solubles en agua es de 0.15 % por peso del cemento. En los casos en donde el ambiente marino es de primordial interés conviene utilizar cemento resistente al ataque por sulfatos o cuya composición contenga aluminato tricálcico (C3A) del 4 % al 10%.

Figura No. 24 Determinación de cloruros en concreto



Fuente propia. Autorizada por LABAICA

3.2.9.2 Producción de cemento Portland y los productos de hidratación

La producción comienza con dos productos básicos, que son material calcáreo (óxido de calcio): piedra caliza, yeso, conchas de ostras y material arcilloso (es una combinación de silíceo y aluminio): arcillas, esquistos, y escoria de altos hornos.

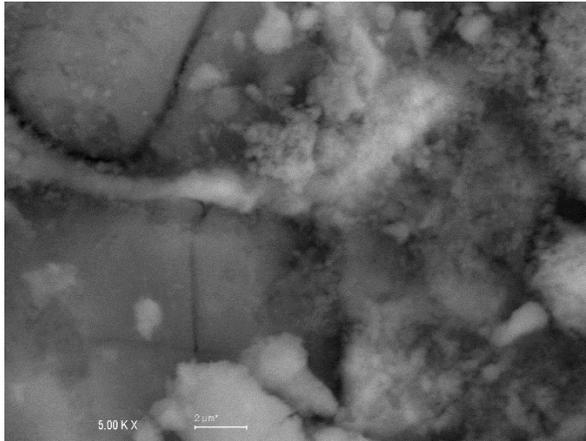
Posteriormente, la cal, la sílice y el óxido de aluminio son llevados al horno para formar compuestos químicos complejos que al calcinarse cambian la composición molecular produciendo los cuatro componentes principales del cemento y que corresponden al 90% (en realidad la masa del cemento es una mezcla de diversos compuestos, pero solo cuatro ocupan el 90% del total: silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y ferroatlunitato tetracálcico). De todos ellos, es de especial cuidado el producto C3A, sulfato o yeso cuya función es la de cumplir como moderador en el proceso de **clinkerización**. Sin embargo, al reaccionar con agua forma la **etringita** (ver figura 25) que se expande en la matriz de concreto, causando fisura en el mismo y procurando su eventual daño

Compuesto	Fórmula química	Fórmula común*	Rango usual en peso (%)
Silicato tricálcico	$3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S	45–60
Silicato dicálcico	$2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S	15–30
Aluminato tricálcico	$3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	6–12
Aluminoferrita tetracálcica	$4 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	6–8

* La industria cementera suele utilizar una notación abreviada para las fórmulas químicas: C = óxido de calcio, S = dióxido de silicio, A = óxido de aluminio y F = óxido de hierro.

Tomado de: ACI, como se menciona en PCA, pg. 25

Figura No. 25 Etringita formada en matriz de concreto



Fuente propia. Autorizada por LABAICA

A este producto calcinado se le denomina **Clinker**, el mismo se muele, se le añade yeso de 4% a 6% y se verifica su finura midiendo el área superficial con el aparato de medición de la permeabilidad al aire Blaine (ASTM C204) o midiendo el porcentaje de partículas de polvo que pasan la criba No. 325 o 0.045 mm. Cuando el Clinker es molido y cumple los requisitos de finura, podemos decir que el producto obtenido es el cemento Portland.

A. Cementos bajo la Especificación ASTM C150

Dependiendo del tipo de construcción y las condiciones de exposición ambiental se requiere cementos con diferentes propiedades. En esa dirección, esta norma designa ocho tipos de cementos (ver Tabla 3), como sigue:

Tabla 3 Tipos de cemento Portland

Tipo	Descripción del cemento
Tipo I	Normal o de uso general (GU)
Tipo IA	Normal con aire incluido
Tipo II	Moderada resistencia a los sulfatos
Tipo IIA	Moderada resistencia a los sulfatos con aire incluido
Tipo III	Alta resistencia inicial o temprana
Tipo IIIA	Alta resistencia inicial o temprana con aire incluido
TIPO IV	Bajo calor de hidratación
TIPO V	Alta resistencia a los sulfatos

Es importante acotar que, una concentración mayor de 1500 ppm de sulfatos (SO₄) solubles en agua es perjudicial para estructuras enterradas como las zapatas o fundaciones. Entonces, convendría utilizar un cemento tipo V.

El cemento blanco es un tipo de cemento con valores muy bajos de hierro y magnesio, básicamente es el mismo que el cemento gris.

El capítulo 3 se basa en Cenizas volante, escorias, humo de sílice y puzolanas naturales. Como no es material del curso en estos momentos se abordará el capítulo 4.

3.2.9.3 Agua de mezcla para el concreto

El agua que no contenga sabor y olor puede ser usada para amasado o mezcla de hormigón. Si es potable hay que verificar el porcentaje de cloro que posee porque puede afectar la durabilidad del concreto. Hay elementos que contaminan

el agua de amasado tales como arcilla y azúcar. A estos elementos se les denominan impurezas y pueden tener un efecto negativo en la resistencia y el tiempo de fraguado del hormigón. Una cantidad pequeña de sacarosa del 0.03% al 0.15% en peso del cemento puede retardar el fraguado de la mezcla. En lo relativo al pH, las aguas ácidas con pH menor de 3, se deben evitar totalmente en la mezcla. Para concretos sólidos, que no contienen acero embebido, puede usarse agua de mar en concentraciones de hasta 35,000 ppm. Por otro lado, el sulfato causa expansión en la matriz de concreto expuesto al agua, por ello, se debe evitar utilizar aguas con contenidos de sulfatos mayor a 10,000 ppm. El efecto de los carbonatos de sodio y potasio afectan el tiempo de fraguado, generalmente acelerándolo. Al respecto, cuando la cantidad de estas sales es mayor a 1000 ppm se ve afectada la resistencia y el tiempo de fraguado del concreto. Otro factor que es de cuidado en la composición del agua de amasado es el aceite mineral que en concentraciones mayores de 2,5% del peso del cemento reduce la resistencia del concreto en más del 20%.

3.2.9.4 Agregados para Concreto

Los áridos (gravas y arenas) ocupan del 60% al 75% del volumen del hormigón e influyen en las propiedades y la economía del concreto. Estos se dividen en agregados finos (partículas menores a 5mm) y los agregados gruesos que pueden ser gravas o piedras trituradas (partículas entre 5mm a 37.5 mm). Las propiedades con las que deben cumplir los agregados están: ser limpios, partículas duras y resistentes al intemperismo, sin productos químicos absorbidos o impurezas. Si no existe estadística de datos sobre agregados o registros, entonces, se le deben

hacer ensayos antes de ser usados en la mezcla de concreto. Antes de usar los agregados en la mezcla de hormigón deben ser enfriados al aire. El concreto al usar agregados con buenas características resulta ser un concreto de peso normal con masa unitaria de 2400 kg/m³ o 150 lb/pie³. Si se utiliza agregados livianos como piedra pómez, escorias y esquistos resulta un concreto liviano de masa unitaria de 1350 a 1850 kg/m³.

Uno de los ensayos practicados a los agregados es el ensayo de granulometría a los áridos en el cual se determina la distribución de los tamaños de los agregados que se proyecta usar en la mezcla de concreto y que afecta directamente la uniformidad del hormigón, el mismo está referido en la norma ASTM C136. La muestra de agregados debe hacerse mediante el método del cuarteo (ver figura 26).

Figura No. 26 Método de cuarteo



Fuente propia. *Ensayo realizado por los estudiantes de Materiales de Construcción y Normas de Ensayo en el Centro Regional de Panamá Oeste*

En este sentido, es prudente determinar el tamaño máximo del agregado pues afectan la demanda de agua y cemento, la durabilidad, la trabajabilidad, la bombeabilidad, la economía, la porosidad y la contracción del concreto. Los

resultados de granulometría son expresados en porcentaje del material que pasa cada tamiz, cedazo o criba utilizado, tal es el caso del módulo de finura de la arena (M.F.) como se observa en la figura 27.

Figura No. 27 Balanza y cedazo (tamiz) para granulometría de agregados



Fuente propia. Ensayo realizado por los estudiantes de Materiales de Construcción y Normas de Ensayo en el Centro Regional de Panamá Oeste

La granulometría del agregado fino se contempla en la norma ASTM C33. Los tamices que se utilizan en este ensayo son presentados en la siguiente tabla 4.

Tabla 4. tamices utilizados en la granulometría de agregados finos

Tamiz (mm)(pulg)	Porcentaje que pasa
9.50 (3/8)	100
4.75 (No. 4)	95-100
2.36 (No. 8)	80 - 100
1.18 (No.16)	50 a 85
0.600 (No. 30)	25 a 60
0.300 (No. 50)	10 a 30
0.150 (No.100)	2 a 10

El módulo de finura (M.F.) de la arena y de la grava se determina mediante la norma ASTM C125, al sumar y dividir entre 100, el porcentaje retenido acumulado en los tamices: No. 100, 50, 30, 16, 8, 4 y 3/8. El M.F. nos indica el grado de finura del árido, entre más alto este es, el M.F. los granos del árido son más gruesos. El M.F. de la arena nos permite encontrar el volumen de agregado que se utilizará. Un rango óptimo de M.F. para la arena oscila entre 2.6 a 2.7. Ver el proceso en la figura 28.

Figura No. 28 Granulometría de agregado fino



Fuente propia. *Ensayo realizado por los estudiantes de Materiales de Construcción y Normas de Ensayo en el Centro Regional de Panamá Oeste*

Si hablamos de la granulometría del agregado grueso, podemos decir que el tamaño máximo del agregado grueso influye en la economía porque la demanda de cemento disminuye a medida que el tamaño del agregado aumenta. En la figura 29 se presentan diferentes tamaños de gravas.

Figura No. 29 Forma y tamaño de agregados gruesos



Fuente propia. *Ensayo realizado por los estudiantes de Materiales de Construcción y Normas de Ensayo en Hormigón Express, Vacamonte*

Otro aspecto que revisar en los agregados es su forma y textura el cual influye en la trabajabilidad del concreto fresco. Un concreto que posea partículas angulares, con textura áspera se le deberá aplicar más cantidad de agua y cemento para revolverlos y mantener la misma relación de agua/cemento. El límite de las partículas largas o elongadas es del 15% de la masa total del agregado debido a que los vacíos entre las partículas de agregados aumentan con la angularidad de los áridos (ver figura 30).

Figura No. 30 Textura de agregado grueso



Fuente propia. *Ensayo realizado por los estudiantes de Materiales de Construcción y Normas de Ensayo en Hormigón Express, Vacamonte*

En la granulometría del agregado fino el módulo de finura es de importancia notoria porque de él depende la cantidad de agregado grueso a utilizar.

Tabla 5 Volumen de agregado grueso

Tamaño máximo nominal del agregado mm (pulg)	Volumen del agregado grueso varillado (compactado) en seco por volumen unitario de concreto para diferentes M.F. de agregado fino			
	2.4	2.6	2.8	3.0
9.50 (3/8)	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
19 (3/ 4)	0.66	0.64	0.62	0.60
25.00 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1/2)	0.75	0.73	0.71	0.69
50(2)	0.78	0.76	0.74	0.72
75(3)	0.82	0.80	0.78	0.76
150(6)	0.87	0.85	0.83	0.81

Adaptada del ACI 211.1

Para proporcionar un concreto con todas las características deseables por los profesionales de ingeniería se necesitan ciertos parámetros como los mencionados a continuación:

La masa volumétrica (unitaria), la cantidad de vacíos están contempladas en la norma ASTM C29. La masa específica relativa o densidad relativa o gravedad específica se pueden obtener de los métodos establecidos por la especificación ASTM C 127. Es importante establecer el porcentaje de absorción y la humedad superficial de los agregados los cuales se obtienen de la norma ASTM C70. De acuerdo con la estructura interna de los agregados, estos están compuestos de materia sólida y vacío en los que el agua puede penetrar. Estos contenidos de humedad de los agregados varían de 0.2% al 2% para los agregados finos y de 0.2% al 0.4% para los agregados gruesos. Se distinguen cuatro variantes:

- a. Secado al horno: totalmente absorbente
- b. Secado al aire: con superficie seca. Sin embargo, el interior aún contiene agua. Puede absorber agua.
- c. Saturado con superficie seca (SSS): condición de equilibrio, no absorbe y ceden agua al concreto (ver figuras 31 y 32)
- d. Húmedos: su superficie contiene agua (llamada agua libre)

Figura No. 31 Condiciones de humedad de los áridos



Tomada de *PCA*, pg. 115. *Absorción y humedad superficial de agregados*

Figura No. 32 Condición de humedad SSS de los agregados gruesos



Fuente propia. *Ensayo realizado por los estudiantes de Materiales de Construcción y Normas de Ensayo en el Centro Regional de Panamá Oeste*

3.2.9.5 Aditivos para concreto

A demás de la arena, piedra y cemento, el concreto puede mejorar sus propiedades si se le incorporan algunas sustancias líquidas o sólidas antes o durante el mezclado denominadas aditivos. Si se desea economizar el costo de las construcciones, obtener un concreto de calidad y durabilidad o simplemente

operar en condiciones de holgura durante el proceso de transporte y vaciado entonces, es recomendable usar los aditivos. Los aditivos según sus funciones se clasifican en:

- Aditivos incorporadores de aire (inclusores de aire)
- Aditivos reductores de agua
- Plastificantes (fluidificantes)
- Aditivos aceleradores (acelerantes)
- Aditivos retardadores (retardantes)
- Aditivos de control de hidratación
- Inhibidores de corrosión
- Reductores de retracción
- Inhibidores de reacción álcali-agregado
- Aditivos colorantes
- Aditivos diversos (mejorar la trabajabilidad, la adherencia, a prueba de humedad, impermeabilizantes, para lechadas, formadores de gas, anti-deslave, espumante y auxiliares de bombeo)

La efectividad de un aditivo depende de varios factores, tales como: tiempo de mezclado, distribución y forma de los agregados, tipo, marca y cantidad del material cementante, contenido de agua y temperatura del concreto.

El uso de los aditivos está restringido a utilizar la cantidad de aditivo que recomienda el fabricante o la cantidad óptima que resulta de los ensayos de laboratorio. Todos los aditivos usados deben ajustarse a las especificaciones ASTM (ver figura 33).

Figura No. 33 Dosificadores de aditivos en la planta concretera



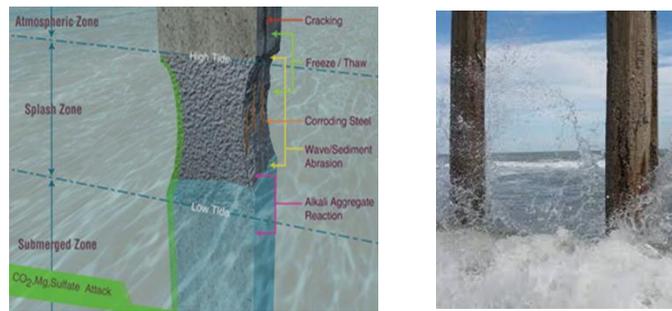
Fuente propia. Cortesía de Hormigón Express, Vacamonte

Hay algunos efectos en el concreto fresco que deben ser considerados en el proporcionamiento de la mezcla:

- a. Los aditivos reductores de agua típicos disminuyen el contenido de agua de un 5% a 10% de la mezcla. Este tipo de aditivo es especialmente útil para reducir la cantidad de agua de mezcla necesaria para la producción de concreto con un revenimiento (asentamiento) especificado, reducir la relación a/c y disminuir el contenido de cemento y aumentar el revenimiento. Actualmente, este aditivo acompañado de agregado grueso de 1/2 pulgada o menos se utiliza para colar concreto de alta resistencia en partes en donde la armadura y las secciones dificultan el vaciado. Al usar gravas de tamaños más grandes hay que revisar que no estén fisuradas porque al estar sometidas a cargas elevadas, éstas pueden fracturarse y bajar la resistencia del conjunto.

- b. Los aditivos aceleradores de fraguado: Bajan la relación a/c, a través de la adición de 60 a 120 kg/m³ (100 a 200 lb/yd³) de cemento
- c. Aditivos retardantes: retrasan la tasa de fraguado del concreto. Es importante acotar que la temperatura del concreto fresco generalmente es de 30°C (86°F). Esta temperatura puede ser controlada al enfriar el agua y/o los agregados antes de utilizarlo en la mezcla. Este aditivo es especialmente útil para disminuir la pérdida de revenimiento y mejorar la trabajabilidad en ambientes de muy alta temperatura
- d. Aditivo controlador del calor de hidratación: es especialmente útil cuando el tiempo de transporte del concreto es evidentemente largo. Puede retardar la hidratación de los materiales cementantes hasta 72 horas. La composición de estos aditivos es a base de cloruro de calcio (CaCl₂) y promueve el aumento en la contracción por secado, corrosión potencial de la armadura, decoloración (oscurecimiento del concreto) y aumento del potencial de descascaramiento. Por lo antes expuesto, no es recomendable usar en postensados y pretensados porque puede acelerar el proceso de corrosión.
- e. Los aditivos inhibidores de la corrosión se utilizan en donde la estructura estará expuesta a un ambiente severo en donde las sales de cloruro puedan estar presente, tal es el caso de ambientes marinos. Es importante acotar que en este tipo de ambiente no se debe aplicar ningún aditivo a base de cloruro de calcio (CaCl₂) porque es un promotor de la corrosión.

Figura No. 34 Estructuras marinas en zona de salpicadura



Tomada de: Impermeabilización y/o reparación de estructuras marinas.

<https://www.cipsa.com.co/especificaciones-tecnicas/impermeabilizacion-yo-reparacion-de-concretos-de-estructuras-marinas/>

- f. Aditivos reductores de retracción (contracción): Su uso potencial es en tableros de puentes, losas de pisos críticos y edificios donde se deban minimizar las fisuras (grietas) y la deformación por razones de durabilidad y estética
- g. Aditivos inhibidores de la reacción álcali-agregado: reducen la reacción álcali-agregado (RAS), se introdujeron en los años 90. Su base es relativa a nitrito de litio, carbonato de litio, hidróxido de litio, silicato de aluminio y litio y sales de bario.
- h. Aditivos colorantes: hoy en día son muy utilizados, la cantidad de pigmento no debe exceder 10% de la masa del cemento, los pigmentos usados en cantidades inferiores al 6% no afectan las propiedades del concreto. Se usan materiales naturales y sintéticos para colorear sea por razones estéticas, sea por seguridad (ver figura 35). El **color rojo** se usa cerca de

límites eléctricos, subterráneos o líneas de gas como advertencia. El **color amarillo** se usa en líneas de guía de seguridad en pavimentos.

Figura No. 35 Aditivo colorante



Tomada de: CHYSO, <https://www.concretonline.com/aditivos-adiciones/rheocolor-pigmentos-liquidos-para-hormigon>

Los capítulos 7 y 8 corresponden a concretos con fibras y concretos con aire incluidos. Estos no lo abordaremos en el desarrollo de este folleto.

3.2.9.6 Diseño y Proporcionamiento de Mezclas de Concreto

Diseño de mezcla: cuando hablamos de la determinación de las características del concreto fresco tales como las propiedades mecánicas del concreto fresco y/o endurecido y que se pueden especificar. Mientras que el proporcionamiento de mezcla de concreto normal se refiere a la cantidad o dosificación de los componentes del concreto como agua, cemento, agregados y algunas veces aditivos.

Al proporcionar el concreto adecuadamente, obtenemos como resultado un concreto con características notorias, tales como:

- a. Trabajabilidad
- b. Durabilidad
- c. Resistencia
- d. Apariencia uniforme del concreto

e. Concreto económico

3.2.9.6.1 Tablas para el Proporcionamiento de Mezclas de Concreto

a. Tablas recomendadas por el ACI

El proporcionamiento de mezclas de concreto lleva un procedimiento sencillo, pero ordenado que involucra ciertas tablas que pasamos a dar conocer:

Antes de proporcionar un concreto es imperante confeccionar las especificaciones ambientales en las cuales ha de prestar servicio la estructura, tales como humedad de los suelos y en el ambiente, contenido de cloruro en los mismos, grado de impermeabilidad del concreto, entre otros (ver Tabla 6).

Tabla 6 Relación agua material cementante máxima y Resistencia a la compresión mínima - condición de exposición

Condición de exposición	Relación agua-material cementante máxima por masa de concreto	Resistencia a compresión de diseño mínima $f'c$ kg/cm ² (MPa) (Lb/pulg ²)
Concreto protegido de la exposición a congelación-deshielo, de la aplicación de sales de deshielo o de sustancias agresivas	Elija la relación agua-material cementante basándose en la resistencia, trabajabilidad y requisitos de acabado (terminación superficial)	Elija la resistencia a compresión de diseño $f'c$ kg/cm ² (MPa)(lb/pulg ²)
Concreto que se pretende que tenga baja permeabilidad cuando sea expuesto al agua	0.5	280 (28) (4000)
Concreto expuesto a congelación-deshielo en la condición húmeda y a descogelantes	0.45	320 (31) (4500)
Para protección contra la corrosión del refuerzo (armadura) del concreto expuesto a cloruro de las sales descongelantes, agua salobre, agua de mar o rociado de estas fuentes	0.4	350 (35) (5000)

Nota. Adaptado del Diseño y Control de Mezclas de Concreto (p. 186), por APACRETO, bajo la autorización del Instituto Americano del Concreto (ACI), 2010, Portland Cement Association. **Solo para uso didáctico**

Cuando no se cuenta con la historia de los materiales componentes del concreto para determinar la resistencia a la compresión, es necesario abocarnos al lado de la seguridad estableciendo un sobre diseño. Esto se establecen la Tabla 7.

Tabla 7 Resistencia a compresión media requerida cuando no hay datos disponibles para establecer la desviación estándar

Resistencia a compresión especificada $f'c$ kg/cm ²	Resistencia a la compresión media requerida, kg/cm ²
Menos de 210	$F'c + 70$
210 a 350	$F'c + 84$
Mas de 350	$1.10 f'c + 700$

Nota. Adaptado del Diseño y Control de Mezclas de Concreto (p. 195), por APACRETO, bajo la autorización del Instituto Americano del Concreto (ACI), 2010, Portland Cement Association. **Solo para uso didáctico.**

De acuerdo con la resistencia especificada y al contenido de aire incluido o no de la mezcla, puede obtenerse la relación agua-material cementante o w/c de la mezcla. Cabe resaltar que la escogencia de la relación agua/cemento puede ser un proceso interactivo entre la tabla 6 y la tabla 8, por el cual el valor resultante siempre debe ser el menor de los dos. Si el valor de a/c no cae dentro del valor establecido en la tabla, de acuerdo con la resistencia especificada, deberá interpolarse para determinarlo (ver Tabla 8).

Tabla 8 Dependencia entre la relación agua-material cementante y la resistencia a compresión del concreto

Resistencia a la compresión a los 28 días, Kg/cm ² (MPa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450 (45)	0.38	0.31
400 (40)	0.43	0.34
350(35)	0.48	0.40
300 (30)	0.55	0.46
250 (25)	0.62	0.53
200 (20)	0.70	0.61
150 (15)	0.80	0.72

Nota. Adaptado del Diseño y Control de Mezclas de Concreto (p. 187), por APACRETO, bajo la autorización del Instituto Americano del Concreto (ACI), 2010, Portland Cement Association. **Solo para uso didáctico.**

Si la situación en el ambiente se trata de sulfatos en los suelos o fuentes líquidas (fuente de aerosoles de ambientes marinos) debemos mirar la Tabla 9. Los ensayos de los sulfatos en el concreto no se establecen con claridad. Es por eso que, se determina su influencia en los suelos y aguas circundantes al concreto en estudio.

La Tabla 10 nos presenta una información completamente válida a la hora de iniciar las especificaciones del concreto, porque indica la clasificación del tipo de obra de concreto a realizarse. En ella, puede relacionarse el asentamiento establecido para cada uno.

Tabla 9 Requisitos para el concreto expuesto a los sulfatos del suelo y agua

Exposición a sulfatos	Sulfatos solubles en agua (SO ₄), presentes en el suelo, porcentaje en masa	Sulfatos (SO ₄) en el agua, ppm	Tipo de cemento	Relación agua-material cementante, mínima en masa	Resistencia a la compresión mínima de diseño, f'c kg/cm ² (MPa) (lb/pulg ²)
insignificante	Menor que 0.1	Menor que 150	Ningún tipo especial necesario	-----	-----
moderada	0.1 – 0.20	150 - 1500	Cemento de moderada resistencia a los sulfatos	0.5	280 (28) (4000)
severa	0.20 – 2.0	1500 - 10000	Cemento de alta resistencia a los sulfatos	0.45	320 (31) (4500)
Muy severa	Mayor que 2.0	Mayor que 10000	Cemento de alta resistencia a los sulfatos	0.4	350 (35) (5000)

Nota. Adaptado del Diseño y Control de Mezclas de Concreto (p. 187), por APACRETO, bajo la autorización del Instituto Americano del Concreto (ACI), 2010, Portland Cement Association. Adaptada del ACI 318. **Solo para uso didáctico.**

Tabla 10 Revenimientos recomendados para diferentes tipos de construcción

Construcción de concreto	Revenimiento mm (pulg.)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzado	75 (3)	25 (1)
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	75 (3)	25 (1)
Vigas y muros reforzados	100 (4)	25 (1)
Columnas de edificios	100 (4)	25 (1)
Pavimentos y losas	75 (3)	25 (1)
Concreto masivo	75 (3)	25 (1)

Nota. Adaptado del Diseño y Control de Mezclas de Concreto (p. 191), por APACRETO, bajo la autorización del Instituto Americano del Concreto (ACI), 2010, Portland Cement Association. **Solo para uso didáctico.**

Tabla 11 Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominados de agregado

Revenimiento Asentamiento (mm)	Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregados indicados							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
	Concreto sin aire incluido							
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	---
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
<p><i>Nota.</i> Adaptado del Diseño y Control de Mezclas de Concreto (p. 190), por APACRETO, bajo la autorización del Instituto Americano del Concreto (ACI), 2010, Portland Cement Association. Solo para uso didáctico.</p>								

La Tabla 11 es especialmente útil porque de ella puede ser obtenido el contenido de aire y la cantidad de agua en kg/m^3 necesarios para la mezcla. Cabe destacar que este valor es en forma bruta, después habrá que tomar en cuenta la disminución de la misma por tipo de agregado o aditivos usados.

Tabla 12 Requisitos mínimos de material cementante para concreto usado en superficies planas

Tamaño máximo nominal del agregado, mm (pulg.)	Material cementante Kg/m ³ (lb/yda ³)
37.5 (1 ½)	280 (470)
25 (1)	310 (520)
19 (¾)	320 (540)
12.5 (1/2)	350 (590)
9.5 (3/8)	360 (610)
<i>Nota.</i> Adaptado del Diseño y Control de Mezclas de Concreto (p. 193), por APACRETO, bajo la autorización del Instituto Americano del Concreto (ACI), 2010, Portland Cement Association. Solo para uso didáctico.	

Una vez establecido el volumen de agregados gruesos, de acuerdo con el tamaño máximo de agregado y el módulo de finura del agregado fino o arena en la Tabla 13, éste debe ser verificado en la tabla 12 con los requisitos mínimos de material cementante para concreto usado en superficies planas.

Tabla 13 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto

Tamaño máximo nominal del agregado mm (pulg.)	Volumen del agregado grueso varillado en seco, descrito en la ASTM C29, por volumen unitario de concreto para diferentes <u>módulos de finura de agregado fino</u>			
	2.4	2.6	2.8	3.00
9.5 (3/8)	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2)	0.59	0.57	0.55	0.53
19.00 (¾)	0.66	0.64	0.62	0.60
25.00 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 ½)	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3)	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6)	0.87	0.85	0.83	0.81
<i>Nota.</i> Adaptado del Diseño y Control de Mezclas de Concreto (p. 188), por APACRETO, bajo la autorización del Instituto Americano del Concreto (ACI), 2010, Portland Cement Association. Solo para uso didáctico.				

Presentadas las tablas usadas en el proceso del diseño y proporcionamiento de mezclas de concreto, se esbozarán los puntos a seguir para dicho procedimiento:

3.2.9.6.2 Procedimiento para el proporcionamiento de mezclas

- **Resistencia**

La resistencia (compresión o flexión) es el indicador de la calidad del concreto más universalmente utilizado. De hecho, es el factor por el cual se compra el hormigón a las plantas de concreto y por el cual se establece si es de calidad o no al realizárseles los ensayos de resistencia a la compresión. Ésta se simboliza mediante las variables " **$f'c$** ". La resistencia es inversamente proporcional a la relación agua-cemento, La resistencia a compresión especificada (característica), $f'c$ a los 28 días, es la resistencia que el promedio de cualquier conjunto de tres ensayos consecutivos de resistencia debe lograr o superar. La tabla 6 muestran los requisitos de resistencia para varias condiciones de exposición (280, 320, 350 kg/cm²) o (28, 31, 35 MPa) o (4000, 4500, 5000 lb/pulg²)

- **Relación agua/cemento**

Es simplemente la masa del agua dividida por la masa del material cementante
La relación a/c elegida para un diseño de mezcla debe ser el menor valor necesario para resistir a las condiciones de exposición anticipadas. Cuando no se cuente con más datos, se pueden utilizar la figura 7 para elegir la relación a/c, con base en el promedio requerido de la resistencia, $f'cr$, para mezclas de pruebas.

- **Agregados**

El tamaño máximo que se puede usar depende de factores tales como la forma del elemento de concreto que se va fundir, la cantidad y distribución del acero de refuerzo (armadura) en el elemento y el espesor de la losa.

El tamaño máximo del agregado grueso no debe exceder un quinto de la menor dimensión entre los lados de las cimbras (encofrados, formaletas), ni tampoco, tres cuartos la distancia libre entre las varillas o cables de refuerzo individual, paquetes de varillas o tendones o ductos de presfuerzo (pretensado, presforzado, pre - comprimido)

En la Tabla 13 observamos el volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.

- **Contenido de aire**

El aire incluido (incorporado) se debe usar en todo el concreto que será expuesto a congelación y deshielo y a productos químicos descongelantes y se le puede usar para mejorar la durabilidad, incluso en donde no se le requiera.

Los contenidos de aire recomendados para el concreto con aire incluidos se presentan en la Tabla 8

- **Asentamiento o Revenimiento**

Establecer un asentamiento o revenimiento del concreto para la obra es especialmente útil cuando deseamos un producto trabajable y de consistencia plástica.

Para los diferentes tipos de construcción de concreto, los valores de revenimiento oscilan en su valor máximo entre 75 mm (3 pulg) y 100 mm (4pulg) y en un mínimo de 25 mm (1pulg)

- **Contenido de agua**

El contenido de agua depende de varios factores:

Tamaño y textura del agregado

Revenimiento (asentamiento)

Relación a/c

Tipo y contenido de material cementante

Aditivos

Condiciones ambientales.

El contenido de agua aproximado de la Tabla 11, usado en el proporcionamiento (dosificación) son para agregado angular (piedra triturada). Para otro tipo de agregado, permite reducciones.

- **Contenido y tipo de material cementante**

Generalmente, se determina a través de la relación agua-cemento elegida y del contenido de cemento.

- **Contenido de Aditivos**

En el proporcionamiento de mezcla hay que considerar que algunos aditivos pueden reducir la cantidad de agua de la mezcla, entre ellos están:

- **Reductores de agua:**

generalmente reducen el contenido de agua de 5% a 10% y algunos aumentan el contenido de aire en ½% a 1%. Los retardadores pueden aumentar el contenido de aire (el aire incorporado puede mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

Los reductores de alto rango reducen el contenido de agua entre 12% y 30% y algunos pueden aumentar el contenido de aire en 1%

Los aditivos con base de cloruros de calcio reducen el contenido de agua en 3% y aumentan el contenido de aire en ½%.

b. Proporcionamiento de mezcla

Para el proporcionamiento de mezcla los métodos de proporcionamiento evolucionaron desde el método volumétrico arbitrario (1:2:3-cemento, arena, agregado grueso) hasta los métodos de masa y volumen absoluto descritos en el ACI comité 211, Práctica Estándar de Elección de las Proporciones para el Concreto Normal, de Densidad Elevada y Masivo (ACI 211.1). Método de volumen absoluto es más preciso que otros métodos y usa una masa supuesta o conocida de concreto por unidad de volumen. Para ello, Es más preciso.

Es necesario conocer las masas específicas relativas de todos los ingredientes Para calcular el volumen absoluto que cada uno de ellos ocupará en una unidad de volumen de concreto.

- Revenimiento (asentamiento)
- Contenido de aire y temperatura en las mezclas de prueba
- Mediciones y cálculos:
- Masa unitaria (masa volumétrica) concreto fresco (kg/m³) (lb/yda³)

- **Formulación de las Especificaciones o condiciones de servicio del concreto**

Para diseñar y proporcionar una mezcla de concreto lo primero que hay que establecer son las **especificaciones** del elemento en las que ha de dar servicio durante su vida útil.

- **Especificaciones**

Lo primero que debe hacerse es establecer el tipo de construcción que ha de hacerse, las condiciones ambientales y algunas características en las cuales la estructura de concreto ha de prestar servicio.

Los tipos de construcción se agrupan en:

- a. Zapatas y muros de cimentación reforzado
- b. Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo
- c. Vigas y muros reforzados
- d. Columnas de edificios
- e. Pavimentos y losas
- f. Concreto masivo

Por otro lado, las condiciones de exposición ambiental se pueden clasificar en insignificante, moderada, severa o muy severa bajo la:

- a. Exposición a congelación o deshielo, aplicación de sales o sustancias agresivas
- b. Exposición húmeda

- c. Exposición a cloruros de sales descongelantes, aguas salobres, agua de mar o rociado de esas fuentes
- d. Exposición a los sulfatos presentes en suelos o agua

Si nos referimos a las características, estas pueden ser:

- a. La resistencia a la compresión a los 28 días
- b. El revenimiento o asentamiento requerido. La tabla
- c. El tamaño máximo, tipo y características del agregado a utilizar
- d. El tipo de arena y sus características
- e. Concreto con baja permeabilidad
- f. con o sin aire incluido
- g. con o sin aditivo
- h. otras

3.2.9.6.3 Ejemplo de formulación de Especificaciones de uso de concreto

A partir de la información antes detallada pueden ser formuladas las especificaciones. Seguidamente, observe un ejemplo de especificaciones.

1. Diseñar un concreto de ***baja permeabilidad*** para zapata que se expondrá en ***condiciones moderadas a los sulfatos del suelo*** y agua con sulfatos. La resistencia a la compresión especificada es de $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$, el revenimiento máximo es de 75mm(3pulg) y el mínimo es de 25mm (1pulg). El cemento por usar es de Tipo I (GU), con masa específica relativa de 3.12. La grava que se usará es redondeada y bien gradada, El tamaño máximo nominal del agregado grueso es de 19mm (3/4 pulg), el cual tiene una masa relativa seca al horno de 2.62, un % de absorción del 0.45% en

condición SSS y su masa volumétrica seca al horno compactada es de 1597 Kg/m³. La arena que se utilizará tiene una masa específica relativa seca al horno de 2.59, un % de absorción de 0.5% y el módulo de finura es de 2.6. Usar un aditivo inclusor de aire tipo resina de madera (ASTM C260), y aditivo reductor de agua (ASTM C494).

3.2.9.6.4 Ejemplo de proporcionamiento de mezcla de concreto

Después de planteadas las especificaciones el proceso de proporcionamiento comienza. Ver el ejemplo 1 de especificaciones inmediatamente arriba.

Sacar los datos sería conveniente:

- ▶ Cemento:
 - ▶ ASTM tipo GU (uso general)
 - ▶ Masa específica relativa (GE) de 3,12
- ▶ Agregado grueso:
 - ▶ Bien gradado
 - ▶ Grava redondeada con tamaño máximo nominal de 19 mm
 - ▶ Masa específica relativa seca en el horno de 2,62 (GE seca)
 - ▶ Absorción de 0.45% (SSS)
 - ▶ Masa volumétrica seca en el horno varillada (compactada) de 1597 Kg/m³
 - ▶ La mezcla de laboratorio para la mezcla de prueba tenía una humedad de 2%
- ▶ Agregado fino:
 - ▶ Arena natural
 - ▶ Masa específica relativa seca en el horno de 2.59
 - ▶ Absorción de 0.5%
 - ▶ La muestra de laboratorio para las mezclas de prueba tenía una humedad de 6%
 - ▶ El módulo de finura es 2.6
- ▶ Aditivo inclusor de aire:
 - ▶ Del tipo resina de madera (ASTM C 260)
- ▶ Reductor de agua
 - ▶ ASTM C 494.

- ▶ Este aditivo se conoce por reducir la demanda de agua en 10%, cuando se usa una dosis de 3 g (o 3 ml) por kg de cemento.
- ▶ Se asume que los aditivos tienen una masa específica similar al agua, 1ml de aditivo tiene una masa de 1g.

Solución:

Comenzamos con la resistencia a la compresión $f'c$. Como no hay datos estadísticos es recomendable encontrar la resistencia a la compresión requerida

$f'cr$. En estas condiciones utilizamos dos tablas, como sigue:

- ▶ La resistencia de diseño de 350kg/cm² es mayor que la resistencia requerida en la Tabla 6 para concreto de baja permeabilidad y exposición a condiciones moderadas.
- ▶ No hay datos estadísticos disponibles de $f'cr$ (resistencia a la compresión requerida)
- ▶ Entonces de la tabla 7:
- ▶ $f'cr = f'c + 84 = 350 + 84 = 434 \text{ kg/cm}^2$

posteriormente, la relación agua/cemento es calculada:

- ▶ Al ver la tabla 8, para concreto de baja permeabilidad la relación a/c máxima debe ser de 0.5
- ▶ Pero de acuerdo con la tabla 9 por resistencia, para condiciones moderadas de sulfatos en el suelo la resistencia es (280kg/cm²) y la relación agua cemento máxima es **a/c = 0.5** y la $f'cr$ del ejemplo es 434 kg/cm²
- ▶ Entonces en ambos casos la relación agua/cemento corresponde a $a/c = 0.5$. En caso de que en alguna de las dos verificaciones la relación agua cemento correspondiera a valores diferentes, entonces, se escoge el menor de los dos valores.

Contenido de aire

- ▶ Recordemos que el concreto a diseñar tiene:
- ▶ Un agregado de 19 mm (3/4 pulgada)
- ▶ Y será con aire incluido
- ▶ Con revenimiento máximo de 75 a 100 mm
- ▶ Ver tabla 11, **con aire incluido**, se recomienda un contenido de aire de 5% para agregado de 19 mm (3/4 pulgada) y una exposición moderada.

- Si observamos abajo en la tabla, dice que para exposición moderada o severa se debe usar **una tolerancia de (-1+2)** puntos porcentuales
- Entonces nos queda: $4 = 5-1$, o $7 = 5+2$, entonces se debe diseñar la mezcla para 4 a 7 % de aire incluido
- Y para revoltura o pastón se debe usar el máximo permitido = 8%
- El contenido de aire de la mezcla de prueba debe estar entre $\pm 0.5\%$ del contenido máximo permitido.

Asentamiento o revenimiento

- Recordemos que el revenimiento especificado está entre 75 mm y 100 mm
- Por tolerancia se puede usar $100 \text{ mm} \pm 20 \text{ mm}$ para el proporcionamiento.

Contenido de agua

- La Tabla 10 recomiendan que un concreto de 100 mm de revenimiento, con agregado de 19 mm y aire incluido debería tener un contenido de agua de 184 kg/m³
- Sin embargo, el concreto lleva grava redondeada (especificaciones), ésta puede reducir el contenido de agua de la tabla 11 en cerca de 25 kg/m³, quedando en $184-25 = 159 \text{ kg/m}^3$
- Por otro lado, el reductor de agua reducirá la demanda de agua en cerca de 10%, quedando en: $159-159*(10/100) = 143.1 \text{ kg/m}^3$

Contenido de cemento

- Se basa en la relación a/c máxima y el contenido de agua
- $a/c=0.5$
- $C = a/0.5 = (143.1 \text{ kg/m}^3) / 0.5 = 286.2$
- $C = 287 \text{ kg/cm}^3$

Contenido de agregado grueso

- La tabla 13 ayudan a estimar volumen de agregado grueso de tamaño máximo nominal de 19 mm
- Para ello necesitamos el módulo de finura de la arena = 2.6
- El volumen de agregado grueso es = 0.64
- Dato de las especificaciones mediante ensayo $\gamma_{grava} = 1597 \text{ kg/m}^3$
- Recordando el peso específico es: $\gamma = W/V$ y despejando W tenemos
- $W = \gamma * V = (1597 \text{ kg/m}^3) * 0.64 = 1022.08 \text{ kg}$ (por m³) que es mayor que el expresado en la tabla 12

Contenido de aditivo

- El fabricante recomienda 3g por kg de cemento = $3g \times 287Kg = 861g$
- 0.861 kg de aditivo reductor de agua por metro cúbico de concreto

Contenido de agregado fino

- Ya hemos calculado todos los otros componentes del concreto
- Por este método, el agregado fino se calcula restando de un metro cúbico los volúmenes absolutos de los ingredientes encontrados anteriormente
- Hay que recordar que la gravedad específica $G_{Em} = p_m / p_{agua}$
- $Y_w = 1000 \text{ kg/m}^3$, $G_w = 1$
- De manera que el peso específico de cualquier material es $p_m = p_{agua} \times G_{Em}$

Cálculo de la cantidad de arena

Teniendo todos los otros ingredientes, el contenido de arena puede obtenerse mediante sustracción de los otros elementos de un metro cúbico de material, (ver tabla 14).

Tabla 14 Material para un metro cúbico de concreto

Agua	$= (143.1 \text{ kg/m}^3) / (1 \times 1000 \text{ kg/m}^3)$	$= 0.1431 \text{ m}^3$
cemento	$= (287 \text{ kg/m}^3) / (3.12 \times 1000 \text{ kg/m}^3)$	$= 0.091 \text{ m}^3$
Aire	$= (7 \% \text{ cada m}^3 \text{ de concreto}) = 7/100$	$= 0.070 \text{ m}^3$
Agregado grueso	$= (1022.08 \text{ kg/m}^3) / (2.62 \times 1000 \text{ kg/m}^3)$	$= 0.390 \text{ m}^3$
	Volumen total de los ingredientes	0.6941 m³
Como es 1 m ³ de concreto	El volumen de agregado fino es =	$1 - 0.6941 = 0.3059 \text{ m}^3$

La masa del agregado fino es: $V \times G_e \times \rho_{agua}$

$$W_{\text{agregado fino}} = (0.3059 \text{ m}^3)(2.59)(1000 \text{ kg/m}^3) = 792.28 \text{ kg}$$

a. Resumen de la cantidad de material para la mezcla de concreto

Al finalizar el procedimiento es recomendable hacer un resumen de todos los ingredientes a usar en la mezcla para un metro cúbico de material (ver tabla 15).

Tabla 15 Resumen de material para un metro cúbico de concreto

Material para 1 m3 de concreto	kg
Agua	143.1
Cemento	287
Agregado grueso (seco)	1022
Agregado fino (seco)	792.28 kg
Masa total	2244.38
Aditivo inclusor de aire	0.211
Reductor de agua	0.861
Condiciones	
Revenimiento 75 mm (± 20 mm para la mezcla de prueba)	
Contenido de aire 8% ($\pm 0.5\%$ para la mezcla de prueba)	
Masa volumétrica estimada del concreto (usando agregado SSS)	$= 143.1 + 287 + (1022 \times 1.0045) + (792.28 \times 1.005) = 2252.94 \text{ kg/m}^3$
Absorción agregado grueso = $(0.05\%/100 + 1) = 1.005$	
Absorción agregado fino = $(0.07\%/100 + 1) = 1.007$	

3.2.10 ACI 305: Elaboración, colocación y Protección del Concreto en Clima Caluroso

Igual que todas las normas, ésta cuenta con lo esencial a la introducción del tema. Sin embargo, presenta una sinopsis respecto a los efectos en climas cálidos en el concreto cuando se vacía a altas temperatura del ambiente circundante, alta radiación solar, alta temperatura del concreto, baja humedad relativa y alta velocidad del viento incidente a la obra los cuales es recomendable disminuir su acción adversa en los elementos de concreto de las estructuras con el propósito de minimizar los problemas y controversias en la construcción de obras de concreto.

La importancia de esta norma en nuestro país consiste en adoptarla para disminuir los daños que se originan en las construcciones debido al clima tipo caluroso que experimenta el mismo.

Esta especificación se basa en revisiones editoriales sobre las propiedades del concreto, composición del cemento, tipo de aditivos usados y finura del cemento porque la velocidad de hidratación y el tiempo de fraguado del concreto depende de estos factores.

En lo sucesivo, el contenido y los puntos destacados de los capítulos son explicados.

3.2.9.1 Configuración de ACI 305:

a. Capítulo I

Esta sección obedece a la introducción y describe el propósito de esta especificación que consiste en dar a conocer los métodos de construcción para disminuir los daños en las obras de concreto por temperatura pues, el ciclo de vida y el servicio para el cual la construcción fue diseñada se ve afectada por el clima caluroso debido a la alta evaporación del agua de amasado y la velocidad de hidratación del concreto recién vaciado.

Cuando no se cuenta con datos estadísticos de ensayos de campo, las proporciones del concreto se puede obtener a través de mezclas de pruebas, tal como se explicó en el capítulo de diseño y proporcionamiento de mezcla descrito en el PCA. Al respecto, el proveedor o fabricante y el contratista o dueño son los responsables en el diseño y proporcionamiento de la mezcla de concreto, tal y como se especifica en lo señalado en este folleto sobre la Especificación ASTM C94 con el objetivo de obtener el concreto requerido en las especificaciones del proyecto.

Para obtener un concreto durable, resistente y controlar la fisuración o agrietamiento prematuro por contracción térmica del hormigón en climas calurosos, que son más propensos en época de verano, se establece una temperatura máxima, la temperatura de curado de los cilindros de concreto de 60°F a 80°F (16°C a 27°) porque a temperatura mayor de curado la resistencia a la compresión a los 28 días puede disminuir en un rango de 10% a 15% los ensayos de compresión como elemento probatorio para el control de calidad y la

aceptación o no del concreto. Es por eso por lo que, el profesional de la construcción debe tomar las medidas de calidad, economía y ejecución en el procedimiento que ha en días calurosos durante la ejecución de los trabajos. La coordinación de las actividades con antelación es recomendable para evitar el agrietamiento por contracción plástica, por temperatura ocurridos por cambios volumétricos o por restricciones internas como los vistos en el ACI 117 relativos a las Tolerancias en los materiales y construcciones en concreto.

Entre los métodos para controlar la fisuración en el concreto en climas cálidos, están:

1. La utilización de juntas
2. Utilización adecuada de aditivos (proporcionamiento)
3. Aumento de acero de refuerzo
4. Controlar los límites de temperatura de colado y colocación del concreto
5. Utilización de cemento de bajo calor de hidratación
6. Disminuir la cantidad de cemento
7. Permitir que la formaleta permanezca más tiempo sosteniendo al elemento de concreto

Al utilizamos materiales para el diseño y proporcionamiento de mezclas de concreto los cuales hayan sido usados con eficacia en trabajos anteriores, enfriar el concreto , controlar la consistencia o revenimiento de la mezcla, disminuir el tiempo del proceso de colado (transporte, colado, consolidar y terminado del hormigón vaciado), organizar el colado en horas del día más frescas (mañana o

noche), proteger al concreto con un correcto curado se minimizan los problemas surgidos por la colocación del concreto en climas calurosos.

b. Capítulo 2: Efecto del clima caluroso en las propiedades del concreto

En primera instancia presenta las **generalidades** al manifestar que, la selección, control, dosificación, temperatura inicial de la mezcla, velocidad del viento, radiación solar, temperatura ambiente y las condiciones de humedad circundante a la estructura son los factores que influyen en las características del concreto tales como la resistencia, permeabilidad, estabilidad dimensional, resistencia al intemperismo, desgaste, ataque por agentes químicos, entre otros.

- **Temperatura del concreto en clima cálido**

Si la temperatura a la cual se cura el concreto es alta, éste presentará resistencia a la compresión alta antes de los 28 días. Sin embargo, generalmente la misma tenderá a bajar a medida que se incremente el tiempo de vida del concreto.

Hay que tener especial cuidado con el curado del concreto porque es más dañino un curado inadecuado o insuficiente que las altas temperaturas de curado.

En lugares cálidos, cuando el concreto de superficies planas u horizontales (pisos, pavimentos, otros) se encuentra en estado plástico, algunas veces aparecen grietas superficiales por contracción plástica separadas por distancias dentro de un rango de 0.3 m a 0.9 m.

Las grietas plásticas (ver figura 36) ocurren cuando la **velocidad de evaporación** supera la velocidad de sangrado y la humedad relativa es superior a 80°C.

Es esencial que la **velocidad del viento** sea monitoreada a 0.5m (20 pulgadas) por encima de la superficie. Los estudios presentados en esta norma sobre la relación existente entre la velocidad del viento y la formación de grietas plásticas son muy particulares porque se trata de estudios locales en los Estados Unidos. En nuestro país, las condiciones del viento son diferentes a otros países. Por ello, es recomendable hacer estudios para llevar el análisis estadístico al respecto.

Figura No. 36 Contracción plástica en el concreto



Tomada de: *Proyectos y Construcciones Tierra Mía*

A medida que aumenta la temperatura del concreto se requerirá más agua y en consecuencia habrá una disminución de la resistencia.

- **Condiciones ambientales en el colado del concreto en clima cálido**

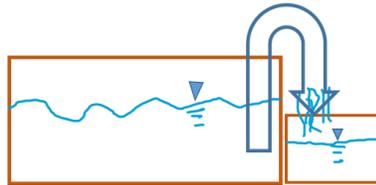
En lo que se refiere a la temperatura del ambiente donde se encuentra la obra, es recomendable un rango de 24°C a 38°C (75°F y 100°F). Sin embargo, la toma de decisión de llevar a cabo el colado del concreto debe establecerse entre las partes

en reunión de coordinación previa. También es recomendable hacer mezclas de prueba cuando se tenga duda de la temperatura ambiental.

- **Requerimientos de agua en la mezcla de concreto en climas cálidos**

Las plantas concreteras, generalmente en las tardes, toman el agua de tinajas y ésta está caliente induciendo más temperatura al concreto. Entonces, es recomendable hacer algún procedimiento para enfriarla, tal es el caso del uso de un sifón hidráulico (ver figura 37). Pero, el agua fría no debe ser mayor que la requerida por la mezcla. El agua puede ser incorporada al cemento en forma de hielo triturado e para disminuir la temperatura del concreto.

Figura No. 37 Sifón para el suministro de agua fresca



Fuente propia.

- **Efecto del cemento en las mezclas en climas cálidos**

El cemento es otro componente del concreto que tiene su afectación en la mezcla debido a la velocidad de hidratación de este que conlleva a solicitar la adición de agua a la mezcla empobreciendo la resistencia a la compresión y aumentando el asentamiento del hormigón. En condiciones de climas calurosos es recomendable el uso de cemento Tipo II (de fraguado lento), tal y como se menciona en esta

norma en la cual hace referencia a los estudios de Tuthill y Cordon, 1955 sobre el efecto de la temperatura y la relación del tipo de cemento y el tiempo de fraguado del concreto.

Al utilizar el cemento estibado en la obra (ver figura 38), éste debe estar en reposo (preferiblemente usar de un día para otro) porque el cemento caliente se pre - hidrata, se endurece en forma de esferas afectando la mezcla. En los vaciados grandes se sugiere refrescar al cemento antes de usarlo.

Figura No. 38 Estibación del cemento



Fuente *Cementos ARGOS*

En el diseño y proporcionamiento de mezcla es de suma importancia conocer la gravedad específica del cemento porque afecta al volumen de la masa de concreto. Ésta generalmente, oscila alrededor de 3.15.

Por último, acotamos que el cemento y el concreto son elementos nobles, pero, si no se tratan con el debido cuidado pueden traer problemas.

- **Aditivos químicos**

En cuanto a los aditivos se puede decir que todos pueden ser usados en el concreto si están tipificados en la norma y comercializados. Hay que tener cuidado de seguir las normas del fabricante en lo que respecta a sus características, componentes y dosificación respecto a la masa del cemento porque de superar las cantidades pueden causar efectos negativos al concreto.

- **Agregados de las mezclas de concreto en climas cálidos**

El concreto de masa normal utilizado en casi todas las edificaciones se compone de una fracción importante de agregados (de 60% a 80%) del volumen total de los componentes de dicho concreto.

La calidad del concreto se ve muy influenciada por el tipo y calidad de los agregados. Éstos afectan la cantidad de agua requerida en la mezcla, el asentamiento (revenimiento o slump), y la resistencia del concreto. Las características principales de los agregados:

- a. El tamaño
- b. Forma
- c. La granulometría

El vaciado (colado) del concreto también se ve afectado por los áridos:

- a. Para minimizar el requerimiento de agua de amasado es recomendable controlar la granulometría, tamaño y forma de los agregados, de acuerdo con el ACI 221 R, esta norma recomienda la combinación de 3 o más tamaños de agregados para cumplir con la cantidad de agua necesaria en

el concreto. Esta decisión también mejora la trabajabilidad del concreto y su asentamiento o revenimiento.

- b. Los agregados finos demandan siempre una cantidad de agua a la mezcla, según el ACI 221 R, el requerimiento de agua puede ser disminuido al bajar la cantidad de finos o recurrir a su ausencia.
- c. Es bueno saber que el agregado grueso triturado demanda más agua, pero, mejora la resistencia a la fisuración que las gravas redondeadas.
- d. Bajar la temperatura del concreto fresco en climas cálidos es una prioridad. Como el porcentaje que ocupan los agregados en la mezcla es alto, convendría bajara la temperatura o enfriar los áridos antes de usarlos en el concreto. En la figura 39 puede observarse que, el montículo de agregado grueso de la izquierda permanecerá con más temperatura que el de la derecha por estar bajo sol, esto sugiere que, el agregado recomendable para el concreto es el de la izquierda. Para tener una idea del beneficio que brinda enfriar al agregado, la norma ACI 221R manifiesta que, si se reduce la temperatura del agregado de 0.8°C a 1.1° (1.5°F a 2°F) contribuiría a bajar la temperatura del concreto en 0.5°C ($^{\circ}\text{F}$).

Figura No. 39 Temperatura del agregado en condiciones a cielo abierto y protegido



Fuente propia. Cortesía de Hormigón Express

- **Proporcionamiento de mezclas de concreto en climas cálidos**

De acuerdo con el ACI 318, el registro de datos estadísticos del comportamiento de los componentes del concreto en clima caluroso es vital para controlar la calidad de este. Otros datos importantes serían el efecto de las temperaturas estacionales y los tiempos de entrega del concreto a la obra.

c. El capítulo 3: Producción y entrega del concreto

En climas calurosos el equipo de producción y entrega es vital. Es preciso contar con el equipo de producción de concreto suficiente para la obra para evitar las juntas frías. El mismo debe estar en buen estado de servicio porque un desperfecto mecánico aumenta el tiempo de entrega del concreto y puede ser contraproducente. Cabe destacar que, este tema también es visto en ACI 304R y ACI 211.1

- **Control de la temperatura del concreto**

El control de la temperatura en concretos de alta resistencia es imperante usar el agua en forma de hielo porque generalmente el camión puede esperar hasta 15 minutos en la obra antes de hacer la descarga y se genera mucho calor en la mezcla.

- **Dosificación y mezclado**

La dosificación de concreto en climas cálidos es igual al procedimiento de mezclas cuyo servicio es en ambientes normales. Sin embargo, si se utiliza un camión de mezclado en planta (ver figura 40), es recomendable imprimir 70 revoluciones y verificar el revenimiento antes de que el camión salga de la planta para la entrega. El mezclado del cemento puede ser dividido en la obra cuando existan altas temperaturas combinados con tiempos largos de transporte. También es factible colocar los materiales en capa, con el cemento arriba, dentro del tambor del camión mezclador con el objetivo de mantener seco al cemento.

Con el propósito de alargar el tiempo de fraguado, puede adicionarse en una pequeña cantidad de agua el aditivo retardante y luego incorporarse al concreto después de haberlo mezclado por varios minutos.

Al observar problemas con el asentamiento bajo respecto al estipulado en el diseño, puede añadirse aditivos reductores de agua de medio o alto rango para subsanarlo. El tambor del camión de mezcla no debe detenerse porque puede darse el problema del falso fraguado dentro del tambor o puede ocasionar daños

en el equipo mezclador. 300 revoluciones es el límite establecido para la rotación de tambores de camiones concreteros.

Figura No. 40 Dosificación del Concreto y protección



Fuente propia. Cortesía de Hormigón Express, Vacamonte

- **Entrega**

Para el control de calidad del concreto en clima cálido, se debe coordinar y reducirse al mínimo el tiempo de entrega del concreto contemplado desde el inicio del mezclado y su colocación en la obra. En este sentido es de suma importancia la comunicación biunívoca entre la planta y los responsables en la obra.

Generalmente, en los vaciados masivos es recomendable coordinarlos en horas donde el tráfico urbano sea bajo.

- **Ajustes al revenimiento y Retemplado**

Cuando un concreto o mortero ha perdido la trabajabilidad y se le adiciona agua. Posteriormente, se le revuelve. Entonces, se habla del proceso de retemplado de acuerdo con la norma ACI 116R. Sin embargo, los ensayos de laboratorio como las experiencias en campo demuestran que este procedimiento es adverso a la adquisición de resistencia del concreto. Es por eso por lo que, este proceso no deberá permitirse bajo ninguna modalidad.

Por lo antes mencionado, es recomendable coordinar todas las actividades relativas al uso del concreto en la construcción tales como el izado y bajada de valdes de concreto mediante grúas para calcular el tiempo del transporte del concreto con camiones para que el concreto no se afecte secándose, o perdiendo agua en el transporte.

d. Capítulo 4: Colocación y curado

Este tema también se ve en las normas ACI 304 y ACI 309 y en el PCA (capítulo 13). Este es uno de los casos mencionados antes: de haber alguna discrepancia, el profesional debe decidir su elección de cuál norma usar y hacer referencia respectiva.

El proceso de colocación y curado del concreto en condiciones ambientales normales y en climas calurosos es prácticamente el mismo. En ambos casos, es necesario se cumpla lo siguiente:

- a. Controlar la segregación y la pérdida de asentamiento en el manejo y transporte del concreto
- b. Es importante establecer y mantener accesible el lugar de vaciado para depositar al concreto en el lugar indicado lo más pronto posible.
- c. Es recomendable colocar el concreto en capas, evitando las juntas frías al disminuir el tiempo de aplicación entre cada capa, este procedimiento ayudará al vibrado del hormigón y a disminuir la segregación del mismo.
- d. Las juntas de construcción deben hacerse en concreto sano y limpio según ACI 224.3
- e. Para obtener un concreto resistente y durable, el mismo debe ser curado durante el tiempo establecido y goce de humedad y control de temperatura

En este apartado se exponen las características de climas calurosos que afectan al concreto y a las operaciones de colado y curado.

- **Preparativos para la colocación y curado del concreto en clima cálido**

Es recomendable, una vez acabada la estructura de techo, coordinar las actividades de vaciado para lograr temperatura microambiental más fresca, evitar la radiación solar directa, ráfagas de vientos a cielo abierto.

Puede planificarse el vaciado o colado del concreto en horas frescas del día y de esta manera se minimiza el riesgo a la formación de fisuras por contracción plástica y por temperatura.

Es de suma importancia de realizar el proceso de colado lo más pronto posible.

Para ello, el equipo de colocación debe estar accesible, ordenado y listo para ser

usado. Los equipos de vibración o consolidación del concreto deben estar accesibles y en número plural según la norma ACI 309 (un vibrador extra por cada tres en uso).

De la misma manera, es preciso contar con abundante agua para el curado propiamente dicho y antes, humedecer las formaletas, el acero de refuerzo antes de colar el concreto porque de no hacerlo éstos restarán el agua de concreto. Si es necesario puede usarse equipos de aspersion en el proceso de curado. También puede apoyarse con membranas plásticas para cubrir el concreto recién colado y mantener la humedad.

- **Colocación y acabado**

Puede evitarse costos adicionales de reparación por daños en el concreto por la formación de fisuras por el retraso o tiempo prolongado del vaciado de hormigón. Es por eso que, esta operación debe hacerse a la brevedad posible.

Cuando se utilice cimbras en el vaciado, es recomendable humedecerlas en primera instancia y luego puede verterse el concreto en varias capas para que el vibrado sea efectivo.

Cuando el área a colar es grande, como el caso de losas planas, es bueno avanzar por partes para tener la menor cantidad de concreto expuesto. Se deben tomar las medidas de conservación de la humedad, de manera que, no se pierda el agua exudada por evaporación.

Frente a un vaciado de concreto masivo, además del uso de vibradores, conviene infringir golpes laterales en la cimbra con el propósito de ayudar al concreto

acomodarse en la formaleta y cerrar las grietas que pudieron haberse formado durante el proceso de colado.

El acabado puede darse con una llana sobre la superficie del concreto.

- **Curado y protección**

Este tema puede verse también en las normas ACI 308R, ACI 2074R, y ACI 306R.

Inmediatamente se termina con la operación de colocación y acabado de concreto se procede al curado y su respectiva protección procurando mantener la temperatura a un nivel moderada uniforme a fin de que el concreto resultante cumpla con los requisitos de resistencia y durabilidad. Mas no es recomendable que el concreto se enfríe abruptamente porque resistirá menos a deformaciones por tensión y será propenso a fisuras de acuerdo con el ACI 207.4R.

La norma ACI 318R describe los diferentes métodos de curados:

- a. Curado de losas planas por proceso húmedo



Fuente cementos Yura, “Curado del concreto”. Blog de la construcción.

- b. Curado de losas planas mediante membranas (uso de compuestos líquidos), pueden entrar en áreas inaccesibles para otros tipos de elementos de curado del concreto. Están limitada a 72 horas de uso.

Figura No. 41 Curado por membrana



<https://tienda.pegaduro.com.mx/info-producto>.

<https://www.elnuevodiario.com.ni/economia/429539-que-sirve-curador-membrana/>

- c. Curado del concreto dentro de la cimbra: las cimbras se deben mantener húmedas y cubiertas sobre todo si se utilizan en concretos de alta resistencia. Puede aflojarse la cimbra con el propósito de que el agua circule por la parte interna del elemento de concreto. De 7 a 10 días sería el rango tiempo preferible de dejar la cubierta de curado. La cubierta puede dejarse sin humedecer hasta los 4 días.

Figura No. 42 Curado de concreto dentro de la cimbra



Tomada de: *Blog Estructuralia*. “La importancia del curado del hormigón y los métodos para curarlo”

e. Capítulo 5: Pruebas y Supervisión

En concreto fresco la norma ASTM proporcionan todo lo relativo a los ensayos en muestras de concreto fresco. Estos deben ser realizados por un técnico certificado por el ACI.

A fin de aceptar los resultados, las muestras deberán ser representativas de las propiedades de resistencia y durabilidad del concreto entregado en obra y deberán ser protegidas del secado rápido ocasionado por el sol, el viento y la radiación solar.

Las pruebas recomendadas son:

- a. Temperatura del concreto
- b. Revenimiento o asentamiento (slump)
- c. Contenido de aire
- d. Peso volumétrico

En climas cálidos la aplicación de estos ensayos es frecuente en comparación a lo que ocurre en ambientes normales.

Generalmente, el criterio de aceptación del concreto son los resultados de resistencia. Pero, hay que tener presente que, en climas cálidos el curado y la protección de los especímenes forman parte de los factores que afectan tales resultados.

Algunos de los métodos recomendados de proteger los cilindros o especímenes de prueba son las siguientes.

- a. Cubrir los cilindros con arena humedecida.

- b. Cubrir los moldes con yute humedecido (material de sogá). Sin embargo, el concreto no puede contaminarse con el yute.
- c. Utilizar un sistema de nebulización o rociador sin interrupciones.
- d. Y el método más clásico es la inmersión en agua saturada con cal

Figura No. 43 Curado de cilindros sumergidos en agua con cal



Fuente propia. Cortesía de Hormigón Express, Vacamonte

A demás de los moldes para ensayo, se deben hacer otros para determinar el tiempo de retiro de la cimbra, retirar el apuntalamiento y decidir la puesta en servicio del elemento de concreto vaciado.

- **Supervisión**

El ACI 311.1R y el ACI 311.4R describen en profundidad los detalles que deben someterse a supervisión. La supervisión de obras de concreto en ambientes normales y en climas cálidos tienen objetivos similares tales como:

- a. Garantizar que los procedimientos se practiquen como está recomendado en las normas
- b. Verificar y documentar todo lo concerniente a procedimientos y daños observables y tomar las medidas de contrarrestarlos en brevedad.

Por último, esta especificación muestra las referencias bibliográficas y un anexo muy útil que consiste en:

- a. Estimación de la temperatura del concreto
- b. Métodos para enfriar el concreto fresco.

3.2.11 Retroalimentación 2:

Tomando como referencia el ejemplo anterior, diseñe y proporcione el siguiente concreto.

- 1. Se requiere un concreto para las columnas de un edificio que estará expuesto a cloruros durante el servicio. La resistencia a la compresión $f'c = 4000 \text{ lb/pug}^2$, el revenimiento máximo es de 4 pulg y el mínimo de 1 pulg. Utilizar agregado máximo de 1 pulg (25mm), con masa volumétrica seca al horno de 1650 Kg/cm^3 , masa relativa seca al horno de 2.7, un % de humedad de 0.55% en condición SSS. Se usará una arena de masa específica relativa de 2.61, un porcentaje de absorción de 0.7% y el módulo de finura de 2.4. Usar aditivo superfluidificante, y aire incluido. El cemento por utilizar será Tipo HE (alta resistencia a edades tempranas).**
2. ¿A qué se refiere la tolerancia para la colocación de varillas de refuerzo?
 - a. Cuando se amarran las varillas ocupan un volumen dentro del concreto y se debe tener control para que todo quepa y trabaje bien
3. Si no se especifica tolerancia respecto a un tema, ¿cómo puede expresarse la variabilidad del elemento estudiado?

- a. Mediante un rango
4. ¿Cómo se transporta el concreto que llega a la obra?
 - a. En camiones mezcladores
 5. ¿Cuál es el porcentaje de llenado del tambor del camión mezclador para que el concreto pueda ser bien mezclado?
 - a. 63%
 6. Si el camión mezclador no posee placa de verificación o medidor de revoluciones, ¿Puede el ingeniero encargado de la obra aceptar el concreto?
 - a. No debe aceptarlo e informar a la empresa
 7. En las plantas concreteras, las gravas, arenas y cemento deben guardarse
 - a. Por separado y bajo sombra cuando tenemos clima cálido
 8. ¿Cómo se aplican los aditivos a las mezclas de concreto?
 - a. Los aditivos sólidos se pesan por separado y los líquidos se dosifican por separado
 9. Hay que recordar que las balanzas deben estar calibradas en el proceso de dosificación de concreto. En esa línea, ¿cuál es la tolerancia del agua y cemento en el concreto?
 - a. $\pm 1\%$
 10. ¿Cuál es la tolerancia de la piedra y arena en la mezcla de concreto?
 - a. $\pm 2\%$
 11. ¿Cuál es la tolerancia del uso de aditivos en la mezcla de concreto?

- a. $\pm 3\%$
12. ¿Qué criterio se puede usar para saber si el concreto está bien mezclado en un camión mezclador?
- a. Se debe verificar en el contador de revoluciones del camión mezclador si éste ha dado vueltas en un rango de 70 a 100 vueltas.
Estas vueltas se dan en un periodo de 5 a 6 minutos
13. ¿Cuál es el límite de revoluciones del tambor de un camión mezclador para aceptar el concreto?
- a. 300 revoluciones (deben verificarse en el contador de revoluciones del camión y verificarse visualmente el estado del concreto)
14. ¿Cómo debe ser el agua de mezcla o amasado del concreto?
- a. Cualquier tipo de agua puede usarse. Pero, no debe tener olor ni sabor y no debe contener contaminantes. Puede usarse agua potable
15. ¿qué efecto tiene la inclusión de aire en el concreto en clima cálido?
- a. La inclusión de aire en el concreto se usa generalmente, en clima frío. En clima cálido se utiliza esta técnica para mejorar la trabajabilidad del concreto.
16. ¿Cuál es la tolerancia de la inclusión de aire en el concreto?
- a. $\pm 1.5 \%$
17. Cuando se muestrea el concreto de un camión mezclador, la porción que se escoge deberá ser

- a. Nunca se muestrea el concreto que sale al inicio ni al final del camión mezclador porque estas muestras no son representativas. Se espera que el camión deje escapar el 15 % del concreto y luego se muestrea.
18. Si tiene un volumen de concreto a colar de 2300 m^3 , ¿a cada cuántas vueltas del tambor del camión revolvedor debe recoger muestras?
- a. Debemos recordar que el muestreo se debe hacer para menos de 115 m^3 , entonces: $2300/115 = 20$ vueltas.
19. ¿Qué tipo de agregados se utilizan en nuestro país?
- a. Los agregados que se utilizan en Panamá son de origen natural, es decir, de ríos, playas y continentales. En otros países se utiliza material reciclado
20. ¿Cómo se clasifican los áridos o agregados del concreto?
- a. En finos y gruesos (arenas y gravas)
21. ¿cómo se relaciona el requerimiento de agua y la finura de la arena?
- a. Entre más fino es el agregado más agua requiere la mezcla
22. ¿A qué se puede deber el exceso de sangrado (exudado)?
- a. Puede deberse al exceso de agua o mal vibrado
23. ¿Cómo podemos fortalecer una mezcla, si tenemos una mezcla poco trabajable, baja relación agua cemento?
- a. Podemos fortalecerla con inclusión de aire
24. La resistencia a flexión del concreto, generalmente se mide en vigas, puede usarse en cilindros. ¿Cuál es el rango de ésta?

- a. 0.7 a 0.8 MPa
25. Cuando se diseña un concreto es importante conocer la gravedad específica de los materiales. ¿Cuál es el peso específico del concreto normal?
- a. 2400 Kg/m³
26. ¿Cómo se da estabilidad volumétrica al concreto y cómo se controla la fisuración del mismo?
- a. Mediante la creación de juntas
27. ¿Cómo se puede inhibir la reacción álcali-agregado en el concreto?
- a. Utilizando agregados no reactivos
28. La durabilidad del concreto está ligada al pH de este. ¿Cuál es un valor razonable de pH del concreto para alcanzar dicho objetivo?
- a. Si su pH está alrededor de 12.5 se puede lograr una durabilidad en el concreto, asegurando también, un mantenimiento preventivo. De esta manera, a los cloruros se les dificulta el ataque de la edificación de hormigón.
29. ¿Puede un concreto resistir en ambientes marinos con contenido de $C_3A < 8\%$? ¿Qué tipo de cemento hidráulico portland debe usarse?
- a. Si, Puede usarse cemento tipo V
30. ¿Cómo es el proceso de fabricación del cemento portland?
- a. El cemento es una mezcla de componentes naturales en gran porcentaje de caliza y arcilla, si falta algún elemento, entonces, se le agrega sílice. Posteriormente se lleva al horno giratorio, a

temperatura de aproximadamente 1800 °F. En el proceso anterior ocurre una reacción en la que se generan 4 componentes que alcanzan el 90% de la mezcla. Estos son: C₃A, C₂A, C₂S y el C₄F. Al mezclarse y calentarse se producen piedras negras u oscuras llamadas Clinker (proceso de Clinkerización, prácticamente es cemento. Posteriormente se lleva a moler obteniéndose como producto un polvo de gran finura llamado cemento.

31. ¿Cuáles son los cementos bajo las normas C91 y C150?
 - a. Tipo I (GU), Tipo II, Tipo III, Tipo IV, Tipo V
32. En concentraciones de sulfatos en suelo o agua hasta de 1500 ppm puede usarse cemento tipo:
 - a. Cemento tipo II
33. ¿En qué se diferencia el cemento blanco del cemento tipo I?
 - a. Al cemento blanco se le extrae el hierro, este proceso encarece a dicho cemento
34. ¿Para qué sirve el análisis granulométrico de los agregados?
 - a. Para determinar la distribución de tamaños de los agregados en el concreto
35. ¿Cómo se calcula el Módulo de Finura de la arena para el ejemplo siguiente?

Agregado grueso utilizado: masa 3215,37 g

Agregado fino utilizado: masa 700 g

Tamiz estándar, mm (pulg.)	Masa retenida Acumulada (g)	Porcentaje Retenido Acumulado, %	Porcentaje Acumulado Que pasa, %
37,5 (1 1/2)	0	0	100
25.0 (1)	95.39	2.49	97.51
19.0 (3/4)	854.48	22.33	77.67
12.5 (1/2)	2594.27	67.81	32.19
9.50 (3/8)	3013.13	78.77	21.23
6.30 (1/4")	3125.07	81.68	18.32
4.75 (No. 4)	1.63	0.233	18.277
2.36 (No. 8)	5.64	0.806	18.177
1.18 (No.16)	23.39	3.346	17.717
0.850 (No. 20)	46.45	6.636	17.117
0.600 (No. 30)	79.64	11.376	16.247
0.300 (No. 50)	445.52	63.656	6.687
0.150 (No.100)	678.72	96.976	0.597
0.075 (No. 200)	699.76	100	0.047

Nota: Módulo de finura (ASTM C136) = (suma de % de masa retenida acumulada en tamices No.4+No.8+No.16+No.30+No.50+No.100) /100 = 1,764

Fuente propia.

36. ¿Cómo se obtiene el volumen de agregado grueso en el proporcionamiento de mezcla de concreto?

- a. El volumen de agregado grueso se determina de acuerdo con el tamaño máximo del agregado y el módulo de finura de la arena usada.
37. ¿En qué condición de humedad debe permanecer el agregado usado para el proporcionamiento de mezcla?
- a. En condición saturado con superficie seca (SSS)
38. ¿Cuánto es el porcentaje de agregados en la mezcla de concreto?
- a. Del 60% al 70%
39. ¿Cómo se determina la humedad de la arena?
- a. Se determina la diferencia de la arena mojada y seca. Esto nos da la humedad libre, cuyo efecto se tiene que controlar en el concreto. Debemos recordar restar el % de absorción de la arena
40. ¿Por qué no se pueden usar aditivos acelerantes en concretos pretensados y postensados?
- a. Debido a que son base de cloruros los cuales son promotores de la oxidación del refuerzo embebido en el concreto
41. ¿cuál es el tamaño máximo de agregado grueso en concretos de alta resistencia? Y ¿por qué no se deben usar gravas más grandes?
- a. ½ pulgada. No se deben usar gravas de tamaños mayores debido a que si están fracturadas pueden quebrarse y bajar la resistencia del concreto.
42. ¿Cuál norma habla sobre los límites máximos y mínimos de agregados para concreto?

- a. ASTM C33
43. ¿Qué tamiz separa los agregados gruesos de los agregados finos?
- a. El tamiz (cedazo, criba) No.4
44. ¿Qué tamiz separa los agregados finos del porcentaje de finos?
- a. El tamiz (cedazo, criba) No. 200
45. ¿Cuánto es el peso estándar de un saco de cemento?
- a. Para controlar en campo el diseño de mezcra se optó por limitar el peso de un saco de cemento en 94 lb o en volumen 1 pie³
46. Mencione algunas formas para controlar la temperatura del concreto
- a. Enfriar los agregados
 - b. Adicionar el agua en forma de hielo
 - c. Utilización de sifón de enfriamiento en las plantas concreteras
47. ¿Qué características posee un clima caluroso?
- a. Alta temperatura ambiental
 - b. Alta radiación solar
 - c. Alta temperatura del concreto
 - d. Baja humedad relativa
 - e. Alta velocidad del viento
48. Mencione algunos métodos para controlar las fisuras en el concreto en condición de clima cálido
- a. Utilizar juntas
 - b. Usar adecuados aditivos
 - c. Aumento de acero de refuerzo

- d. Controlar los límites de temperatura de colado del concreto
 - e. Usar cemento de bajo calor de hidratación
 - f. Disminuir la cantidad de cemento
49. Menciones algunos tipos de curados del concreto
- a. Sumergir los cilindros en agua con cal
 - b. Utilizar membranas
 - c. Utilizar el rociado
 - d. Cubrir las superficies con geosintéticos para conservar la humedad
50. ¿Cuál es el rango de temperatura en clima cálido para el vaciado del concreto?
- a. de 24°C a 38°C (75°F y 100°F)

BIBLIOGRAFIA

Óscar Gracia¹, Gonzalo Quesada¹, Adriana Gómez¹, Andrés Santacruz² y Liliana Arias³, “Estudio de la tecnología de concretos de contracción compensada aplicada a la construcción de pisos industriales”, versión On-line ISSN 0718-2813, Obras y Proyectos no.13 Concepción 2013, <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132013000100005>

Patiño, O. y Méndez, R., , “Control de Calidad del Concreto(Normas, pruebas y cartas de Control), disponible: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico/article/view/134/html>

González, E y Alloza, A.M., (s.f.) “Método de ensayo de cementos.

Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad de volumen”, pg. 39 -46, disponible:

https://campusvirtual.ull.es/ocw/pluginfile.php/2081/mod_page/content/1/FichasTemas/tema07-

[fraguadocto.pdf#:~:text=El%20tiempo%20de%20fraguado%20se%20determina%20observando%20la,indicada%20por%20el%20desplazamiento%20relativo%20de%20dos%20agujas.](#)

Figuroa, T., Palacio, R., (2009), “Patologías, Causas y Soluciones del Concreto Arquitectónico en Medellín”, Revista EIA, On Line:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372008000200010

Espinosa, D., (2018), “Implementación de la tecnología Bim para mejorar la habilitación e instalación de acero en las construcciones de concreto”,

Tesis, Universidad César Vallejos, Lima, Perú, Disponible:

file:///C:/Users/aldac/Downloads/Espinoza_DR.pdf

Asociación Panameña de Productores de Concreto (APACRETO), (2010),

“Curso: Inspector de Obras de Concreto”, bajo la autorización del ACI.

ACI 116R: Terminología del cemento y del concreto

ACI 117: Especificaciones y Tolerancias para Materiales y Construcciones de Concreto

Designación ASTM: E 329: Especificación estándar para las agencias encargadas de los ensayos y/o inspección de materiales usados en la construcción.

Designación ASTM C 172: Práctica estándar para el muestreo del concreto recién mezclado

Designación ASTM: C1064: Método de prueba normalizada para la medición de la temperatura del concreto recién colado

Designación ASTM C 143: Método de ensayo estándar para la determinación del revenimiento en el concreto a base de cemento hidráulico

Designación ASTM C29: método normalizado para determinar la densidad aparente o peso unitario e índice de huecos en los áridos o agregados.

La Designación ASTM C94: Especificación normalizada para el hormigón premezclado (PCA) Diseño y Control de Mezclas de Concreto por Asociación de Cemento Portland

ACI 305: Elaboración, colocación y Protección del Concreto en Clima Caluroso

