UPAEP
BIBLIOTECA CENTRAL

UNIVERSIDAD POPULAR AUTÓNOMA DEL ESTADO DE PUEBLA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

TP
AR
RIV
1997

GUÍA BÁSICA DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Que para obtener el Título de :

ESPECIALIDAD EN CONSTRUCCIÓN

Presentan:

Arq. Angélica Riviello Zenteno

Arq. José Ramón Santillana Martín

Puebla, Pue. Mayo 1997.

UPAEP – Secretaría General
Dirección General de Apoyos Académicos
Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.
Biblioteca Central - **Karol Wojtyla**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

UPAEP
BIBLIOTECA CENTRAL

47341

UPAEP BIBLIOTECA CENTRAL

PRIMERA PARTE

FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA TECNOLOGÍA DEL CONCRETO

1. CEMENTO 2
1.1. CEMENTOS PORTLAND 2
1.1.1. Fabricación 2
1.2. TIPOS DE CEMENTO PORTLAND 3
1.2.1. Cemento Portland Tipo I Normal 4
1.2.2. Cemento Tipo II De resistencia moderada a los sulfatos 4
1.2.3. Cemento Tipo III De alta resistencia a edad temprana 4
1.2.4. Cemento Tipo IV De bajo calor de hidratación 4
1.2.5. Cemento Tipo V De resistencia elevada a los sulfatos 5
1.2.6. Cemento Tipo IA, IIA y IIIA Con Inclusor de aire 5
1.2.7. NMX C-1-1980 6
1.2.8. Cemento blanco y Cementos hidráulicos mezclados 6
1.3. COMPUESTOS QUÍMICOS 7
1.4. PROPIEDADES 8
1.4.1. Finura 8
1.4.2. Sanidad 8
1.4.3. Consistencia 8
1.4.4. Tiempo de fraguado 8
1.4.5. Fraguado falso 9
1.4.6. Resistencia a la compresión 9
1.4.7. Calor de hidratación 9
1.4.8. Pérdida por ignición 10

1.4.9. Peso específico 10
1.4.10. Almacenamiento del cemento 10
1.5. ESPECIFICACIONES FÍSICAS, NMX C-1-1986 11
1.6. DISPONIBILIDAD EN EL MERCADO NACIONAL 12
2. AGUA DE MEZCLADO 14
2.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS 14
2.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA 15
2.3. EFECTOS DE CIERTAS IMPUREZAS 15
2.3.1. Carbonatos y bicarbonatos alcalinos 15
2.3.2. Cloruros 16
2.3.3. Sulfatos 16
2.3.4. Diversas sales inorgánicas 16
2.3.5. Agua de mar 17
2.3.6. Aguas ácidas 17
2.3.7. Agua alcalinas 17
2.3.8. Azúcar 17
2.3.9. Aceites 18
2.3.10. Algas 18
2.4. EFECTOS DEL AGUA 18
3. AGREGADOS 19
3.1. CARACTERÍSTICAS 19
3.2. ESPECIFICACIONES 20
3.2.1. NMX C 111-1986 20
3.3. SUSTANCIAS NOCIVAS 22
3.3.1. Terrones y partículas desmenuzables de arcilla 22
3.3.2. Material que pasa por la malla No. 200 23

3.3.3. Carbón y Lignita 23
3.3.4. Partículas blandas 23
3.3.5. Pedernal ligero (densidad menor que 2.40) 23
3.4. NMX C-111/ASTM C-33 24
3.5. MUESTREO 25
3.6. PRINCIPALES PRUEBAS DE LOS AGREGADOS 26
3.6.1. Pruebas en el laboratorio de campo 26
3.6.1.1. Granulometría 27
3.6.2. Pruebas secundarias de laboratorio 28
3.6.3. Pruebas de campo 28
3.7. MANEJO Y ALMACENAMIENTO 31
4. ADITIVOS 33
4.1. GENERALIDADES 33
4.2. NORMATIVIDAD EN ADITIVOS PARA PRUEBAS Y MATERIALES 33
4.3. USOS 34
5. PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS 40
5.1. INTRODUCCIÓN 40
5.2. ESTIMACIÓN DEL PESO DE LA MEZCLA 40
5.3. ESPECIFICACIONES Y DOSIFICACIÓN 41
5.3.1. Elección del revenimiento 41
5.3.2. Elección del tamaño máximo nominal del agregado 42
5.3.3. Cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire 43
5.3.3.1. Aditivos químicos 46
5.3.3.2. Exposición ligera 47
5.3.3.3. Exposición moderada 47
5.3.3.4. Exposición severa 47

5.3.4. Selección de la relación agua/cemento ó agua/materiales cementantes 48
5.4. PROPORCIONAMIENTO 50
5.4.1. Proporcionamiento a partir de datos de campo 50
5.4.2. Proporcionamiento por mezclas de prueba 53
5.4.3. Mediciones y cálculos 56

SEGUNDA PARTE

ACTIVIDADES ANTES, DURANTE Y

DESPUÉS DEL COLADO

6. DOSIFICACIÓN, MEZCLADO Y TRANSPORTE DEL CONCRETO 58
6.1. MEDICIÓN Y MEZCLADO 58
6.2. TIPOS DE PLANTA 59
6.2.1. Dosificación manual por peso 60
6.2.2. Dosificación semiautomática por peso 60
6.2.3. Dosificación automática por peso 61
6.2.3.1. Dosificación automática por peso acumulado 61
6.2.3.2. Dosificación individual automática por peso 62
6.2.4. Dosificación volumétrica 62
6.2.5. Dosificación in situ 63
6.2.5.1. Calibración 63
6.3. DOSIFICACIÓN DE MATERIALES CEMENTANTES 63
6.4. DOSIFICACIÓN DEL AGUA 64
6.5. MEZCLADO Y TRANSPORTE 64
6.5.1. Requisitos generales 64
6.5.2. Equipo para mezclado. 64

6.5.3. Concreto de mezclado central. 66
6.5.4. Concreto mezclado en camiones. 66
6.5.5. Carga y mezclado. 66
6.5.6. Descarga 69
6.5.7. Funcionamiento de la mezcladora. 69
6.5.8. Otros métodos de transporte 69
7. COLOCACIÓN Y MANEJO DEL CONCRETO 70
7.1. PLANEACIÓN 70
7.2. REFUERZO Y PIEZAS AHOGADAS 71
7.3. COLOCACIÓN. 72
7.3.1. Precauciones. 72
7.3.2. Equipo 72
7.3.2.1. TOLVAS DE SECCIÓN CIRCULAR Y RECTANGULARES ... 73
7.3.2.2. Carretillas manuales o motorizadas ("buggies") 73
7.3.2.3. Canalones y tubos de caída 74
7.3.2.4. Concreto bombeado 74
7.3.2.5. Equipos de pavimentación 75
7.3.2.6. Cimbras deslizantes 75
7.4. COMPACTACIÓN 75
7.4.1. Generalidades 75
7.4.2. Trabajabilidad y consistencia 76
7.4.3. Métodos de consolidación 76
7.4.3.1. Métodos manuales de consolidación 76
7.4.3.2. Métodos mecánicos de consolidación 77
7.4.4. Equipo 78
7.4.4.1. Vibradores internos 78

7.4.4.2. Vibradores externos 78
7.4.5. Control de calidad 79
7.5. CIMBRAS 79
7.5.1. Diseño de cimbras 80
7.5.2. Construcción 80
7.5.3. Materiales 81
7.6. COLADO 82
7.6.1. Actividades antes del colado 82
7.6.2. Actividades durante el colado 83
7.6.3. Actividades después del colado 83
7.6.4. Condiciones del sitio 84
7.6.5. Manejo del concreto 84
7.6.6. Colocación 85
7.6.7. Colado correcto 85
8. CURADO Y PROTECCIÓN 86
8.1. CURADO DEL CONCRETO 86
8.2. OBJETIVOS 87
8.2.1. Métodos y materiales de curado. 90
8.3. ACABADOS 90
8.4. CAMBIOS DE VOLUMEN 91
9. CONTROL DE CALIDAD 92
9.1. REQUISITOS DE CALIDAD PARA CONCRETO HIDRÁULICO NXM C 155 92
9.1.1. Resistencia 92
9.1.1.1. Grado A 92
9.1.1.2. Grado B 93

9.1.2. Revenimiento 93
9.2. PRUEBAS PARA CONTROLAR LA CALIDAD DEL CONCRETO 94
9.2.1. Clases de pruebas 94
9.2.2. Frecuencia de las pruebas 97
9.3. PROCESO DE CALIDAD DE UNA OBRA DE CONCRETO 99
10. PROCEDIMIENTOS DE SUPERVISIÓN Y ORGANIZACIÓN 100
10.1. NECESIDADES DE SUPERVISIÓN 100
10.2. IMPORTANCIA DE LAS ESPECIFICACIONES 103
10.3. DESARROLLO DE EMPRESAS DE SUPERVISIÓN 103
10.4. CLASIFICACIÓN Y OBJETIVOS 104
10.5. ORGANIZACIÓN DE LA SUPERVISIÓN 104
10.6. RESPONSABILIDADES DEL SUPERVISOR 105
10.6.1. Como representante del propietario 105
10.6.2. Como representante del contratista 106
10.6.3. Como representante de el proveedor 107
10.6.4. Como representante de organismos gubernamentales reguladores 107
10.7. OBLIGACIONES DEL PERSONAL DE SUPERVISIÓN. 107
10.8. CARACTERÍSTICAS DEL SUPERVISOR 108
10.9. CAPACITACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE SUPERVISORES 109
10.10. AUTORIDAD DEL SUPERVISOR 109
10.11. RELACIONES CON EL CONTRATISTA, JEFES DE CUADRILLA Y OBREROS 110
10.11.1. Supervisores que representan al propietario. 110
10.11.2. Supervisores empleados por el contratista. 112
10.12. MEDIDAS Y TOLERANCIAS 112

10.13. SEGURIDAD 113
10.14. REGISTROS E INFORMES 113
10.15. GRÁFICAS DE CONTROL 114
10.16. SUPERVISIÓN DE LA PLANTA DE DOSIFICACIÓN Y DEL MEZCLADO 114
10.17. INFORME DE LA SUPERVISIÓN PRELIMINAR A LA DOSIFICACIÓN 115
10.18. REGISTROS DE SUPERVISIÓN DE LA PRODUCCIÓN DEL CONCRETO 115
10.19. INFORME DE LOS CAMIONES MEZCLADORES DE CONCRETO 117
10.20. COLOCACIÓN DEL CONCRETO 117
10.21. TARJETAS DE COLADO DEL CONCRETO 118
10.22. REMISIÓN DE ENTREGA DEL CONCRETO 118
11. ANEXO 120
12. BIBLIOGRAFÍA 123

Puebla, Pue., a 12 de Mayo de 1997.

Ing. Juan Carlos Pérez García, M. A.
Coordinador de la Especialidad en Construcción
Universidad Popular autónoma del Estado de Puebla

P R E S E N T E .

Por medio del presente, el que suscribe Ing. Rafael Ramírez Alvárez, le informo que los arquitectos Angélica Riviello Zenteno y José Ramón Santillana Martín, han finalizado los trabajos de la investigación denominada:

"Guía Básica de Tecnología del Concreto",

en el cual he tenido participación en calidad de Asesor Técnico.

Por lo anterior autorizó el inicio de los trámites para el Examen de Posgrado y la impresión definitiva del documento.

Sin más por el momento, le reitero las atenciones de mi particular consideración

ATENTAMENTE.

Ing. Rafael Ramírez Alvárez

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo el servir de guía para los cursos de Tecnología de Concreto que son impartidos en la Especialidad en Construcción de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla.

Dicha investigación surge por la necesidad de contar con un documento en el cual se incluyan todos los temas tratados en dicho curso. No es nuestra intención realizar un trabajo que profundice en cada tópico de ahí que se hace referencia a diferentes bibliografías en las cuales los temas son tratados a profundidad.

Además este trabajo esta elaborado de tal manera que sirva de complemento a los Supervisores de Obra de Concreto, en el área de Tecnología del Concreto ya que los temas tratados en esta guía fueron tomados de la bibliografía proporcionada por el IMCYC.

Cabe aclarar que en cada tema se hace referencia a la bibliografía, así como a las normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM), y las Normas Mexicanas (NMX).

A continuación mostramos como fue estructurada ésta guía:

- Primera Parte: Se presentan los Fundamentos Básicos de la Tecnología del Concreto, en los cuales se trata todo lo relacionado con la elaboración del concreto, materiales, aditivos, etc.
- Segunda Parte: Se hace referencia a las actividades antes, durante y después del colado.

Ya que la finalidad del trabajo es el de servir de apoyo al Posgrado, se cuenta con material didáctico para la impartición de los temas en el aula. Dicho material está conformado por una serie de acetatos con el resumen, esquemas y tablas de los temas tratados en la guía.

Para que el expositor pueda utilizar dicho material, cada acetato tiene una nomenclatura especifica, indicando el capitulo, subcapítulo y el tema.

Esperamos que el trabajo cumpla con las expectativas que nosotros planteamos.

Arq. Angélica Riviello Zenteno
Arq. José Ramón Santillana Martín

Puebla, Pue. Mayo 1997.

PRIMERA PARTE

FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA TECNOLOGÍA DEL CONCRETO

FABRICACIÓN DEL CONCRETO

1. CEMENTO

1.1. CEMENTOS PORTLAND

1.1.1. Fabricación[1]

El Cemento Portland[2] se produce al pulverizar el clínker[3], que consiste principalmente en silicatos hidráulicos de calcio junto con algunos aluminatos de calcio y aluminoferritos de calcio y normalmente contiene una o más formas de sulfato de calcio (yeso), como adición en la molienda.

Los materiales usados para fabricar cemento portland deben contener proporciones adecuadas de óxido de calcio, sílice, alúmina y componentes de óxido de hierro. Durante su manufactura, se analizan frecuentemente todos los materiales para asegurar un cemento de alta calidad uniforme.

En la fabricación del cemento las materias primas seleccionadas se tritura, muelen y dosifican de tal manera que la mezcla resultante tenga la composición química deseada. Las materias primas son generalmente una mezcla de material calcáreo (óxido de calcio), como la caliza, marga, creta o coquilla, y un material arcillosos (sílice y alúmina) como la pizarra, esquito o escoria granulada de alto horno[4]. Se utiliza un proceso seco o húmedo, en el proceso seco, la molienda y el mezclado se realizan con materiales secos. En el

[1] Diseño y Control de Mezclas de Concreto, IMCYC, p. 13.

[2] Conforme a la NMX C-1-1980 y C-2-1986. Cemento Portland, es el conglomerante hidráulico que resulta de la pulverización del clinker, con un grado de finura determinado, al cual se le adiciona sulfato de calcio, o agua y sulfato de calcio. A criterio del productor puede incorporarse además del cemento, otros materiales en proporción tal que no sean nocivos para el comportamiento posterior del producto, de acuerdo con lo especificado en la NMX -C-133 (Industria de la Construcción - Cemento - Coadyuvantes de molienda empleados en la elaboración de cementos hidráulicos).

[3] Conforme a la Norma Mexicana C-1-1980 y C-2-1986. Clinker, es el material sintético granular, resultante de la cocción a una temperatura de 1673 K (1400°C) de materias primas de naturaleza calcárea y arcillorruginosa, previamente trituradas, proporcionadas, mezcladas, pulverizadas y homogeneizadas. Esencialmente el Clinker está constituido por silicatos aluminatos y ferroaluminatos cálcicos.

[4] Conforme a la NMX-C-2-1986. Escoria granular de alto horno, es el producto metálico esencialmente de silicatos y alumino - silicatos de calcio, los cuales se producen simultáneamente con el hierro en los altos hornos y que se origina al enfriar rápidamente en agua, vapor o aire, el material fundido.

proceso húmedo, las operaciones de molienda y de mezclado se efectúan con los materiales en forma de lechada. En otros aspectos, los procesos seco y húmedo son muy similares.

Luego del mezclado la materia prima molida se alimenta por el extremo superior de un horno. La materia prima pasa a una velocidad que se controla por medio de la pendiente y velocidad rotacional del horno. En el extremo inferior del horno el combustible para calcinar (carbón pulverizado, combustóleo o gas), es inyectado; donde las temperaturas de 1420°C a 1650°C transforman químicamente a la materia prima en Clínker de cemento, que tiene la forma de pelotillas negro - grisáceas de 12 mm de diámetro.

El clínker se pone a enfriar y posteriormente se pulveriza. En el transcurso de esta última operación se agrega una pequeña cantidad de yeso que sirve para regular el tiempo de fraguado del cemento. El clínker se muele tan finamente que casi en su totalidad logra pasar a través de la malla número 200 (75 micras), misma que tiene 6200 aberturas por cm^2. Este polvo gris a extremadamente fino es el cemento portland.

1.2. TIPOS DE CEMENTO PORTLAND

El cemento debe cumplir con algunos de los siguientes estándares[5]:

- Cemento Portland, **ASTM C 150**
- Cemento Portland con escoria de altos hornos ó cemento portland con Puzolana, **ASTM C 595**
- Cemento con escorias, **ASTM C 595**

A menos que se permita o se requiera otra cosa, el cemento debe ser de Tipo I o Tipo II, **ASTM C150**. El cemento que se use en el trabajo debe corresponder al cemento utilizado cuando se seleccionen las proporciones del concreto.

Actualmente se fabrican diversos tipos de cemento portland para satisfacer diferentes necesidades químicas y físicas para propósitos específicos. La norma **C 150 "Especificación Estándar para Cemento Portland"** de la **ASTM**[6], estipula ocho tipos de cemento portland[7].

[5] Especificaciones para el Concreto Estructural en Edificios, ACI 301 - 89, p. 15.
[6] American Society for Testing and Materials.
[7] Diseño y Control de Mezclas de Concreto, IMCYC, p. 13-18.

1.2.1. Cemento Portland Tipo I Normal

Es un cemento de uso general, adecuado para ser empleado cuando las propiedades especiales de los tipos de cemento no sean necesarias. Se utiliza en concretos que no estén sujetos al ataque de factores agresivos tales como el ataque de sulfatos existentes en el suelo o en el agua o en concretos que tengan un aumento cuestionable de temperatura debido al calor generado durante la hidratación. Entre sus usos se incluyen pavimentos, pisos, edificios de concreto reforzado, puentes, estructuras para vías férreas, tanques y depósitos, tuberías, mamposterías, y otros productos de concreto prefabricado.

1.2.2. Cemento Tipo II De resistencia moderada a los sulfatos

El cemento portland Tipo II se emplea donde sea necesario tomar precauciones contra el ataque moderado de sulfatos, como ocurre en las estructuras de drenaje, donde las concentraciones de sulfatos existentes en las aguas freáticas son mayores de lo normal, pero sin llegar a ser demasiado severas. Su uso reducirá el aumento de temperatura, hecho especialmente importante al realizar el colado de concreto en climas cálidos.

1.2.3. Cemento Tipo III De alta resistencia a edad temprana

El cemento Portland Tipo III proporciona resistencias elevadas a edades tempranas, normalmente a una semana o menos. Química y físicamente es similar al Tipo I, excepto que sus partículas han sido molidas más finamente. Se emplea cuando las cimbras deben ser retiradas lo más pronto posible o cuando se tenga que poner rápidamente en servicio la estructura.

1.2.4. Cemento Tipo IV De bajo calor de hidratación

El cemento portland Tipo IV se emplea cuando se tenga que mantener en un valor mínimo la cantidad y velocidad de generación de calor provocada por la hidratación. Desarrolla resistencia a una velocidad muy inferior a la de otros tipos de cemento. El cemento Tipo IV se destina a estructuras de tipo masivo como presas de gravedad grande, donde el

aumento de temperatura resultante del calor generado en el transcurso del endurecimiento se tenga que conservar en el valor mínimo posible.

1.2.5. Cemento Tipo V
De resistencia elevada a los sulfatos

El cemento portland Tipo V se emplea exclusivamente en concretos expuestos a acciones severas de sulfatos especialmente donde los suelos o las aguas freáticas contengan fuertes contenidos de sulfatos. Su resistencia es adquirida más lentamente que en el cemento Tipo I. La elevada resistencia a los sulfatos del cemento Tipo V se atribuye al bajo contenido de aluminato tricalcico (C_3A). La resistencia a los sulfatos se incrementa si se incluye aire o se aumentan los contenidos de cemento (relaciones agua/cemento bajas). El cemento Tipo V, al igual que los demás cementos portland, no es resistente al ataque de ácidos ni de otras sustancias fuertemente corrosivas.

1.2.6. Cemento Tipo IA, IIA y IIIA
Con Inclusor de aire

En la norma **ASTM C150** aparecen las especificaciones para los tres tipos de cemento inclusor de aire (Tipo IA, IIA, IIIA). Corresponden en su composición a los Tipos ASTM I, II y III respectivamente, con la salvedad que pequeñas cantidades de material inclusor de aire han sido mezcladas junto con el clínker durante su fabricación. Estos cementos producen concretos con resistencias mejoradas contra la acción de la congelación - deshielo y contra la descamación provocada por la aplicación de productos químicos para remover hielo o nieve. Semejantes concretos contienen diminutas burbujas de aire uniformemente distribuidas, y totalmente separadas entre sí.

1.2.7. NMX C-1-1980.

La Norma Mexicana clasifica el Cemento Portland de la siguiente manera:

Tipo I	COMÚN	Para uso general en construcciones de concreto cuando no se requieran las propiedades especiales de los Tipos II, III, IV y V.
Tipo II	MODIFICADO	Destinado a construcciones de concreto expuestas a una acción moderada de los sulfatos o cuando se requiera un calor de hidratación moderado.
Tipo III	DE RÁPIDA RESISTENCIA ALTA	Para la elaboración de concretos en los que se requiera una alta resistencia a temprana edad.
Tipo IV	DE BAJO CALOR	Cuando se requiera un reducido calor de hidratación.
Tipo V	DE ALTA RESISTENCIA A LOS SULFATOS	Cuando se requiera una alta resistencia a la acción de los sulfatos.

1.2.8. Cemento blanco y Cementos hidráulicos mezclados

El cemento blanco es un verdadero cemento portland que difiere del cemento gris exclusivamente en cuanto a su color. Se fabrica conforme a las especificaciones de la norma **ASTM C 150**, normalmente con respecto al Tipo I o Tipo III. El cemento blanco se utiliza principalmente para fines arquitectónicos.

Conforme a la **NMX C-1-1986**, El cemento blanco puede ser clasificado como Tipo I o Tipo III según satisfaga los requerimientos de la norma.

Los cementos hidráulicos mezclados se producen al mezclar de manera intima y uniforme dos tipos de materiales finos. Los principales materiales de mezclado son el cemento portland, escorias de alto horno molidas, cenizas volantes y otras puzolanas, cal hidratada, y combinaciones previamente mezcladas de cemento con estos materiales. Los cementos hidráulicos mezclados deben concordar con los requisitos de la norma **ASTM C 595**[8], que reconoce la existencia de 5 clases de cementos mezclados:

- Cemento Portland de escoria de alto horno - **Tipo IS**
- Cemento Portland - Puzola - **Tipo IP y Tipo P**
- Cemento de escoria **Tipo S**
- Cemento Portland modificado con Puzolana - **Tipo I (PM)**

[8] Diseño y Control de Mezclas de Concreto, IMCYC, p. 18.

- Cemento Portland modificado con escoria - **Tipo I (SM)**

1.3. COMPUESTOS QUÍMICOS [9]

Durante la calcinación en la fabricación del clínker de Cemento Portland, el óxido de calcio se combina con los componentes ácidos de la materia prima para formar cuatro compuestos fundamentales que constituyen el 90% del peso del cemento. También se encuentran presentes yeso y otros materiales. A continuación se presentan los compuestos fundamentales, sus fórmulas químicas, y sus abreviaturas:

- Sílicato tricálcico 3CaO SiO2 = C3S
- Sílicato Dicálcico 2CaO SiO2 = C2S
- Alúminato Tricálcico 3CaO Al2O3 = C3A
- Aluminoferrito Tetracálcico 4CaO Al_2O_3 Fe_2O_3 = C_4AF

El Sílicato Tricálcico, C_3S, se hidrata y endurece rápidamente y es responsable en gran medida del fraguado inicial y de la resistencia temprana. En general la resistencia temprana del concreto de Cemento Portland es mayor con porcentajes superiores de C_3S.

El Sílicato Dicálcico, C_2S, se hidrata y endurece lentamente y contribuye en gran parte al incremento de resistencia a edades mayores de una semana.

El Aluminato Tricálcico, C_3A, libera una gran cantidad de calor durante los primeros días de hidratación y endurecimiento. También contribuye levemente al desarrollo de la resistencia temprana. El yeso, que se agrega al cemento durante la molienda final, retrasa la velocidad de hidratación del C_3A. Sin el yeso, un cemento que contuviera C_3A fraguaría rápidamente. Los cementos con bajos porcentajes de C_3A son particularmente resistentes a los suelos y aguas que contienen sulfatos.

El Aluminatoferrito Tetracálcico, C_4AF, reduce la temperatura de formación del clínker, ayudando por tanto a la manufactura del cemento. Se hidrata con cierta rapidez pero contribuye mínimamente a la resistencia la mayoría de efectos de color se debe al C_4AF y a los hidratos.

[9] Diseño y Control de Mezclas de Concreto, IMCYC, p. 21.

1.4. PROPIEDADES[10]

Las normas **ASTM C 150 y C 595** limitan las propiedades de acuerdo al Tipo de cemento. El cemento debe ser muestreado de conformidad con la norma **ASTM C 183**.

1.4.1. Finura

La finura del cemento influye en el calor liberado y en la velocidad de hidratación. A mayor finura del cemento, mayor rapidez de hidratación del cemento y por lo tanto mayor desarrollo de resistencia. Los efectos que una mayor finura provoca sobre la resistencia se manifiestan principalmente durante los primeros 7 días. La finura se mide por medio del ensaye del turbidimetro de Wagner (**ASTM C 115**), el ensaye Blaine de permeabilidad al aire (**ASTM C 204**), o con la malla número 325 (45 micras) (**ASTM C 430**).

1.4.2. Sanidad

La sanidad se refiere a la capacidad de una pasta endurecida para conservar su volumen después del fraguado. Desde que en 1943 se adopto la prueba de expansión en autoclave (**ASTM C 151**), prácticamente no han ocurrido casos de expansión anormal que puedan atribuirse a falta de sanidad.

1.4.3. Consistencia

La consistencia se refiere a la movilidad relativa de una pasta de cemento o mortero recién mezclado o bien a su capacidad de fluir. La fluidez se determina tal como se describe en la norma **ASTM C 230**.

1.4.4. Tiempo de fraguado

Para determinar si un cemento fragua de acuerdo con los tiempos especificados en la norma **ASTM C 150**, se efectúan pruebas usando el aparato de Vicat (**ASTM C 191**) o la aguja de Gillmore. El fraguado inicial de la pasta de cemento no debe ocurrir demasiado pronto; el fraguado final tampoco debe ocurrir demasiado tarde. Los tiempos de fraguado indican si la pasta esta desarrollando sus reacciones de hidratación de manera normal. El

[10] Diseño y Control de Mezclas de Concreto, IMCYC, p. 22-25.

yeso regula el tiempo de fraguado en el cemento. También influye sobre el tiempo de fraguado la finura del cemento, la relación agua/cemento, y los aditivos usados.

1.4.5. Fraguado falso

EL fraguado falso (**ASTM C 451** para el método de la pasta y norma **ASTM C 359** para el método del mortero), se comprueba por una considerable perdida de plasticidad sin que se desarrolle calor en gran abundancia poco tiempo después de mezclado.

1.4.6. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión tal como lo especifica la norma **ASTM C 150**, es la obtenida a partir de pruebas en cubos de mortero estándar de 5 cm., ensayados de acuerdo a la norma **ASTM C 109**. Estos cubos se hacen y se curan de manera prescrita y utilizando una arena estándar. La resistencia a la compresión esta influida por el tipo de cemento, la composición química y la finura del cemento. La norma **ASTM C 150** sólo fija un requisito mínimo de resistencia que es cómodamente rebasado por la mayoría de los fabricantes. La uniformidad en la resistencia de un cemento que provenga de una misma fuente se puede determinar siguiendo los procedimientos marcados en la norma **ASTM C 917**.

1.4.7. Calor de hidratación

El calor de hidratación, es el calor que se genera cuando reaccionan el agua y el cemento. La cantidad de calor generado depende principalmente de la composición química del cemento, siendo el C_3A y el C_3S los compuestos particularmente responsables del elevado desarrollo de calor. Otros factores que también influyen son la relación agua/cemento, la finura del cemento y la temperatura de curado. Incrementos en la relación agua/cemento, en la finura y en la temperatura de curado aumentan el calor de hidratación. El calor de hidratación se prueba de acuerdo con la norma **ASTM C 186**.

Las cantidades aproximadas de calor generado durante los primeros 7 días, tomando como 100% al del Cemento Portland normal Tipo I, son las siguientes:

♦ Tipo II	moderado	80% - 85%
♦ Tipo III	alta resistencia a edad temprana	hasta 150%
♦ Tipo IV	bajo calor de hidratación	40% - 60%

◆ Tipo V	resistente a los sulfatos	60% - 75%

1.4.8. Pérdida por ignición

La pérdida por ignición del Cemento Portland se determina calentando una muestra de cemento de peso conocido a 900°C o 1000°C, hasta que se obtenga un peso constante. Se determina entonces la pérdida en peso de la muestra. Normalmente una pérdida por ignición elevada indica prehidratación y carbonatación, que pueden ser causadas por un almacenamiento prolongado e inadecuado o por adulteraciones durante el transporte y la descarga. El ensaye para la pérdida por ignición se lleva a cabo de acuerdo con la norma **ASTM C 114**.

1.4.9. Peso específico

Generalmente el peso específico del Cemento Portland es de aproximadamente 3.15. El Cemento Portland de escoria de alto horno y los Cementos Portland - Puzolana pueden tener valores de pesos específicos de aproximadamente 2.9. El pesos específico de un cemento, determinado con la norma ASTM C 188 no es indicador de la calidad del cemento; su uso principal se tiene en los cálculos de proporcionamiento de mezclas.

1.4.10. Almacenamiento del cemento

El Cemento Portland es un material sensible a la humedad; si se mantiene seco, mantendrá indefinidamente su calidad. Un Cemento Portland que durante su almacenamiento halla estado en contacto con aire húmedo o con humedad, fraguará más lentamente y tendrá menor resistencia que un cemento que se halla mantenido seco.

1.5. ESPECIFICACIONES FÍSICAS, NMX C-1-1986

Conforme a la NMX C-1-1986. El cemento debe satisfacer los siguientes requisitos:

	TIPOS				
Características	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**
Finura, superficie especifica, cm^2/g. Método de permeabilidad al aire mínimo.	2800	2800	-	2800	2800
Sanidad (prueba de autoclave) expansión máxima en %.	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Tiempo de fraguado, Método Vicat:					
Fraguado inicial en minutos, no menos de	45	45	45	45	45
Fraguado final en horas, no más de ...	8	8	8	8	8
Resistencia a la compresión, Kg/cm^2. En cubos de mortero 1:2:75 en masa (arena granulada estándar), relación agua/cemento constante 0.485. Valores mínimos a :					
A las 24 Horas	-	-	130	-	-
A los 3 Días	130	105	250	-	-
A los 7 Días	200	175	-	70	155
A los 28 Días	-	-	-	175	210

1.6. DISPONIBILIDAD EN EL MERCADO NACIONAL[11]

Tipo	Producción	Características y Uso	Opciones
Cementos Portland Simples NMX C-1			
I	Normal	Para uso gral. En construcciones de concreto, cuando no se requieren las propiedades especiales de los otros tipos	FF BA
II	Normal	Destinado a construcciones de concreto expuestas a una acción moderada de los sulfatos o en donde se requiere moderado calor de hidratación.	FF BA MH
III	Limitada	Para la elaboración de concretos en los que se requiere alta resistencia a edad temprana.	FF, BA MS, AS
IV	No se produce		
V	Limitada	Cuando se requiere alta resistencia a la acción de los sulfatos.	FF BA
Blanco	Normal	Para usos donde se requiere el color blanco en vez del gris. Se clasifica de acuerdo con la composición química del clinker.	-
Cementos mezclados portland - puzolana NMX C-2			
Puz-1	Normal	Cemento portland puzolana, para uso en las construcciones de concreto en general	FF, MH, MS, AS, EXP
Puz-2	Normal	Cemento portland puzolana, para uso en construcciones de concreto donde no son requeridas resistencias altas a edades tempranas.	FF, MH MS, AS, EXP

[11] Manual de Tecnología del Concreto, CFE, p. 14-17.

Las opciones solamente son aplicables previo acuerdo entre el comprador y el fabricante.

FF ***Fraguado falso***: la penetración final no debe ser menor del 50% de la inicial, en la prueba por el método de pasta de cemento (**NMX C-132**)

BA ***Bajos álcalis***: el contenido de álcalis totales, expresados como Na_2O, no debe exceder de 0.60%.

MH ***Moderado calor de hidratación***: se puede especificar alternativamente que la suma C_3A+C_3S no exceda del 58%, o bien que el calor de hidratación no exceda de 70 cal/g a los 7 días no de 80 cal/g a los 28 días.

Si se especifica cualquiera de estos requisitos opcionales alternativos, las resistencias a compresión especificadas a 3, 7 y 28 días deben reducirse en 20%.

MS ***Moderada resistencia a los sulfatos***: el contenido de aluminato tricálcico (C_3A) en el cemento (o en el clinker si es portland puzolana) no debe exceder de 8%.

AS ***Alta resistencia a los sulfatos***: el contenido de aluminato tricálcico C_3A en el cemento (o en el clinker si es portland puzolana) no debe exceder de 5%.

EXP ***Inhibición de la expansión debida a la reacción álcali - agregado*** (sólo para cementos portland puzolana): la expansión en mortero con vidrio de borosilicato como agregado (**NMX C-180**) no debe exceder de 0.02% a los 14 días, ni de 0.05% a los 91 días.

2. AGUA DE MEZCLADO[12]

2.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

El agua empleada en el mezclado del concreto deberá ser limpia y estar libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica u otras sustancias que puedan ser nocivas para el concreto o el refuerzo.

El agua de mezclado para concreto presforzado o para concreto que contenga elementos de aluminio ahogados, incluyendo la parte del agua de mezclado con la que contribuye la humedad libre de los agregados, no debe contener cantidades perjudiciales de **iones de cloruro**.

No deberá utilizarse agua no potable en el concreto, a menos que se cumpla con las siguientes condiciones[13]:

- La selección de las proporciones del concreto debe basarse en mezclas de concreto utilizando agua de la misma fuente.
- Los cubos de mortero para pruebas, hechos con agua no potable, deberán tener resistencias iguales a los 7 y a los 28 días, de por lo menos el 90% de la resistencia de muestras similares hechas con agua potable. La comparación de la prueba de resistencia debe hacerse en morteros idénticos, excepto por el agua de mezclado, preparados y probados de acuerdo a la norma **ASTM C 109**.
- En la norma **ASTM C 94** y en la norma American Association of State Highway and Transportation Officials (**AASHTO T 26**), se proponen criterios de aceptación para el agua que será empleada en el concreto[14].

Las impurezas excesivas en el agua no sólo pueden afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, sino también puede causar eflorescencia, manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad volumétrica y una menor durabilidad. Algunas impurezas pueden tener un efecto mínimo sobre la resistencia y el tiempo de fraguado, pero pueden afectar de manera adversa a la durabilidad y a algunas otras propiedades.

El agua que contiene menos de 2,000 partes por millón (ppm) de sólidos disueltos totales generalmente puede ser utilizada de manera satisfactoria para elaborar el concreto. El agua

[12] Diseño y Control de Mezclas de Concreto, IMCYC, p. 27-30.
[13] Reglamento de las Construcciones de Concreto Reforzado ACI 318 - 89, IMCYC, p. 13.
[14] Diseño y Control de Mezclas de Concreto, IMCYC, p. 27.

que contenga más de 2,000 ppm de sólidos disueltos deberá ser ensayada para investigar su efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado.

2.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA[15]

En el análisis típico de agua potable en diferentes ciudades se han encontrado los siguientes componentes químicos:

- Sílice (SiO_2)
- Hierro (Fe)
- Calcio (Ca)
- Magnesio (Mg)
- Sodio (Na)
- Potasio (K)
- Bicarbonato (HCO_3)
- Sulfato (SO_4)
- Cloruro (Cl)
- Nitrato (NO3)

2.3. EFECTOS DE CIERTAS IMPUREZAS[16]

2.3.1. Carbonatos y bicarbonatos alcalinos

Tienen diferentes efectos en los tiempos de fraguado de cementos distintos. El carbonato de sodio puede causar fraguados rápidos, en tanto que los bicarbonatos pueden acelerar o retardar el fraguado. En concentraciones fuertes estas sales pueden reducir de manera significativa la resistencia del concreto. Se debe considerar la posibilidad de que se presenten reacciones álcali - agregado graves.

[15] Diseño y Control de Mezclas de Concreto, IMCYC, p. 27.
[16] Ibídem

2.3.2. Cloruros

Los iones de cloruro atacan la capa de óxido protectora formada en el acero por el medio químico altamente alcalino (pH 12.5) presente en el concreto. El nivel de iones de cloruro solubles en el agua en el cual la corrosión del acero de refuerzo comienza en el concreto es de aproximadamente 0.15% del peso del cemento (ACI 222R - 85). Del contenido total de ión cloruro en el concreto, sólo es soluble en el agua aproximadamente del 50% al 85%: el resto se combina químicamente en reacciones del cemento. (ACI 201 .2R - 77). Un límite aceptable del contenido de cloruro en el concreto dependerá del Tipo de estructura y del medio al cual esté expuesta durante su vida de servicio.

El agua que se utilice en concreto presforzado o en un concreto que vaya a tener embebido aluminio no deberá contener cantidades nocivas de ión cloruro. El Reglamento de construcción ACI - 318, limita el contenido de ión cloruro soluble al agua en el concreto, a los siguientes porcentajes en peso del cemento:

- Concreto Presforzado 0.06%
- Concreto reforzado expuesto a cloruros durante su servicio 0.15%
- Concreto reforzado que vaya a estar seco o protegido contra la humedad durante su servicio 1.00%
- Otras construcciones de concreto reforzado 0.30%

2.3.3. Sulfatos

El interés respecto a un elevado contenido de sulfatos en el agua, se debe a posibles reacciones expansivas y al deterioro por ataques de sulfatos, especialmente en aquellos lugares donde el concreto vaya a quedar expuesto a suelos o agua con contenidos elevados de sulfatos. El límite a utilizar es de 3,000 ppm de sulfatos.

2.3.4. Diversas sales inorgánicas

Las sales de manganeso, estaño, zinc, cobre y plomo presentarse en el agua pueden provocar una reducción considerable en la resistencia y también grandes variaciones en el tiempo de fraguado. De éstas, las más activas son las sales de zinc, de cobre y de plomo. Las sales que son especialmente activas como retardantes, incluyen al yodato de sodio, fosfato de sodio, arseto de sodio y borato de sodio. Todas ellas pueden retardar

fuertemente el desarrollo del fraguado y de la resistencia cuando se les encuentra en concentraciones de unas cuantas décimas porcentuales del contenido en peso del cemento.

2.3.5. Agua de mar

El agua de mar que contenga hasta 35,000 ppm de sales disueltas, generalmente es adecuada como agua para fabricar concreto simple. Aproximadamente el 78% de la sal es cloruro de sodio y el 15% es cloruro y sulfato de magnesio.

El agua de mar no es adecuada para producir concreto reforzado con acero y no deberá usarse en concretos presforzados debido al riesgo de corrosión del refuerzo, particularmente en ambientes cálidos y húmedos. El agua de mar que se utiliza para producir concreto, también tiende a causar eflorescencia y humedad en superficies de concreto expuestas al aire y al agua.

2.3.6. Aguas ácidas

El agua de mezclado que contiene ácidos clorhídrico, sulfúrico y otros ácidos inorgánicos comunes en concentraciones inferiores a 10,000 ppm no tiene un efecto adverso en la resistencia. Las aguas ácidas con valores pH menores que 3.0 pueden ocasionar problemas de manejo y se deben evitar en la medida de lo posible.

2.3.7. Agua alcalinas

Las aguas con concentraciones de hidróxido de sodio de 0.5% del peso del cemento, no afectan en gran medida a la resistencia del concreto toda vez que no ocasionen un fraguado rápido. Sin embargo, mayores concentraciones pueden reducir la resistencia del concreto.

2.3.8. Azúcar

Una pequeña cantidad de sacarosa de 0.03% a 0.15% del peso del cemento, normalmente retarda el fraguado del cemento. El límite superior de este rango varía respecto a los distintos cementos. La resistencia a 7 días puede verse reducida, en tanto que la resistencia a los 28 días podría aumentar. El azúcar en cantidades de 0.25% ó más del peso del cemento puede provocar un fraguado rápido y una reducción sustancial de la resistencia a los 28 días.

2.3.9. Aceites

El aceite mineral (petróleo) no mezclado con aceites animales o vegetales tiene probablemente un menor efecto en el desarrollo de la resistencia que otros aceites. Sin embargo, concentraciones mayores que 2.5% del peso del cemento pueden reducir la resistencia en más del 20%.

2.3.10. Algas

El agua que contiene algas no es adecuada para producir concreto porque las algas pueden causar una reducción excesiva en la resistencia ya sea influyendo en la hidratación del cemento o bien provocado que se incluya una gran cantidad de agua en el concreto.

2.4. EFECTOS DEL AGUA[17]

El agua, como ingrediente del concreto, influye en muchas de las más importantes propiedades de éste, tanto en su estado plástico como en el endurecido. Las altas temperaturas del agua producen más altas temperaturas en el concreto y, conforme aumenta la temperatura de éste, aumenta el requerimiento de agua y disminuye la resistencia en un concreto de consistencia similar. El agua adicional, sin hacer correcciones de su efecto en la relación agua/cemento, tendrá un efecto adverso en la calidad final del concreto colado en el lugar. La temperatura inicial del concreto, por sí misma, afecta la resistencia de éste.

Un contenido de agua más alto es una mezcla de concreto disminuye la resistencia, la durabilidad, la impermeabilidad y las propiedades relativas en el concreto resultante.

[17] Elaboración, Colocación y Protección del Concreto en Clima Caluroso y Frío, ACI 305, ACI 306, IMCYC, p. 11.

3. AGREGADOS

3.1. CARACTERÍSTICAS[18]

La importancia de utilizar el tipo y la calidad adecuada de los agregados, no debe ser subestimada pues los agregados finos y gruesos ocupan comúnmente de 60% a 75% del volumen del concreto (70% a 85% en peso), e influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclado y endurecido, en las proporciones de la mezcla, y en la economía.

Los *agregados finos* comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 5 mm. Los *agregados gruesos* consisten en una grava o una combinación de gravas o agregado triturado cuyas partículas sean predominantemente mayores que 5 mm y generalmente entre 9.5 mm y 38 mm (la norma **ASTM C 125** describe más ampliamente al agregado fino y grueso). Algunos depósitos naturales de agregado, a veces llamados gravas de mina, consisten en grava y arena que pueden ser utilizadas en el concreto luego de un tratamiento mínimo. La grava y la arena naturales, usualmente se excavan o se dragan de alguna mina, río, lago o lecho marino. El agregado triturado se produce triturando roca de cantera, piedra bola, guijarros, o grava de gran tamaño. La escoria de alto horno enfriada al aire y triturada también se utiliza como agregado grueso o fino.

Los agregados más comúnmente empleados, como arena, grava, piedra triturada y escoria de alto horno enfriada al aire, producen concreto fresco o recién mezclado de peso normal, pesando aproximadamente 2160 a 2560 Kg./m^3. Los agregados de esquisto, pizarra, arcilla, y escoria esponjados se utilizan para producir un concreto ligero estructural con un peso volumétrico fresco que varía aproximadamente de 1440 a 1920 Kg./m^3. Otros materiales ligeros, como : piedra pómez, escoria, perlita, bermiculita, y diatomita se usan para producir concretos ligeros aislantes, que pesan de 240 a 1440 Kg./m^3. Para producir concreto muy denso y concreto de blindaje contra la radiación, se usan materiales pesados, como: la barita, limonita, magnetita, ilmenita, ematita, hierro y partículas de acero (**ASTM C 637- C 638**).

[18] Diseño y Control de Mezclas de Concreto, IMCYC, p. 31-45.

3.2. ESPECIFICACIONES[19]

Se sugiere, por lo general, que los agregados sean limpios, duros, sanos y durables, y que los tamaños de las partículas estén comprendidos entre los límites establecidos.

Los agregados para concreto deben cumplir con una de las siguientes especificaciones:

- **ASTM C 33** Para agregados ordinarios.
- **ASTM C 330 y C 332** Para agregados ligeros
- **ASTM D 448** Tamaños recomendados de las existencias de los agregados para construcción de carreteras.

Excepción : Los agregados que, a través de pruebas especiales y por experiencias prácticas, han demostrado que producen concreto de resistencia y durabilidad adecuadas, y que han sido aprobados por el Director responsable de obra.

3.2.1. NMX C 111-1986

Conforme a la Norma Mexicana se tienen las siguientes especificaciones para agregados:

GRANULOMETRÍA.

AGREGADO FINO:

El agregado fino debe cumplir los siguientes requisitos:

- Estar dentro de los límites indicados en la tabla 3.2.1. a.
- Su módulo de finura no debe ser menor de 2.30 ni mayor de 3.10.
- El retenido parcial en cualquier criba no debe ser mayor de 45%. Se pueden aumentar los porcentajes del retenido acumulado en las cribas M 0.300 y M 0.150 a 95 y 100% respectivamente, siempre que el contenido del cemento sea mayor de 250 Kg/cm^3 para concreto con aire incluido, o mayor de 300 kg/cm^3 para concreto sin aire incluido, o bien supliendo la deficiencia del material que pase por estas cribas, mediante la adición de un mineral finamente molido y aprobado.

Agregado fino con deficiencias granulométricas:

[19] Reglamento ACI 318 - 89, p. 13.

La tolerancia máxima de variación de los valores del módulo de finura para la aceptación del agregado fino es de ± 0.20 con respecto al valor del módulo de finura empleado en el diseño de proporcionamiento del concreto.

Si se excede de la tolerancia indicada en caso de ser aceptado, puede utilizarse dicho agregado siempre que se haga un ajuste apropiado en el proporcionamiento del concreto, para compensar dichas deficiencias en la granulometría.

Tabla 3.2.1 a Límites granulométricos del agregado fino

Criba	% Porcentaje retenido acumulado
G 9.5 (3/8)	0
G 4.75 (4)	0 a 5
M 2.36 (8)	0 a 20
M 1.18 (16)	15 a 20
M 0.600 (30)	40 a 75
M 0.300 (50)	70 a 90
M 0.150 (100)	90 a 98
Charola	100

AGREGADO GRUESO:

Debe estar dentro de los límites indicados en la tabla 3.2.1 b

Agregado grueso con deficiencias granulométricas:

Cuando se tenga un agregado grueso fuera de los límites indicados en la tabla 3.2.1.b, debe procesarse para que satisfaga dichos límites. En caso de aceptarse que no cumpla dichos límites, debe ajustarse el proporcionamiento del concreto para compensar las deficiencias granulométricas.

47341

Tabla 3.2.1.b Límites granulométricos del agregado grueso.

Tamaño nominal	G100	G90	G75	G63	G50	G38	G25	G19	G12.5	G9.5	G4.7	M2.36	M1.18
90-40	0	0-10	-	75-40	-	85-100	-	95-100	-	-	-	-	-
64 -40	-	-	0	0-10	30-65	85-100	-	95-100	-	-	-	-	-
50-5	-	-	-	0	0-5	-	30-65	-	70-90	-	95-100	-	-
40-5	-	-	-	-	0	0-5	-	30-65	-	70-90	95-100	-	-
25-5	-	-	-	-	-	0	0-5	-	40-75	-	90-100	95-100	-
20-5	-	-	-	-	-	-	0	0-10	-	45-80	90-100	95-100	-
13-5	-	-	-	-	-	-	-	0	0-10	30-60	85-100	95-100	-
10-2.5	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0-15	70-90	90-100	95-100
50-25	-	-	-	0	0-10	30-65	85-100	-	95-100	-	-	-	-
40-20	-	-	-	-	0	0-10	45-80	85-100	-	95-100	-	-	-

3.3. SUSTANCIAS NOCIVAS[20]

La norma **ASTM C 33 / NMX C 111** enumera las siguientes sustancias nocivas, junto con las razones por las que se restringen las cantidades de ellas que pueden estar presentes en el agregado final.

3.3.1. Terrones y partículas desmenuzables de arcilla

Estos materiales proporcionan partículas en el cemento y también pueden incrementar la demanda de agua si se parten durante el mezclado. Son indeseables por sus propiedades plásticas.

[20]Manual para supervisar obras de concreto ACI 311 - 92, p. 27.

3.3.2. Material que pasa por la malla No. 200

La prueba normal para cuantificar el contenido de tales finos contaminantes en los agregados, consiste en determinar la proporción de material que pasa la malla de 75 micras (NMX F0.075/ASTM No. 200) mediante lavado, en cuya determinación resultan comprendidos ambos tipos de finos y también el polvo de roca que se produce durante la trituración para producir agregados manufacturados. Estos materiales también aumentan la demanda de agua de mezclado.

3.3.3. Carbón y Lignita

Estos materiales perjudican la apariencia superficial y causan dificultad en la inclusión de aire.

3.3.4. Partículas blandas

Perjudicial para el comportamiento de pisos de tránsito pesado; donde se requiere dureza superficial.

3.3.5. Pedernal ligero (densidad menor que 2.40)

Reduce la durabilidad del cemento; y es el que causa ampollas o burbujas.

3.4. NMX C-111/ASTM C-33[21]

Limitaciones de finos indeseables en los agregados, de acuerdo con la Norma Mexicana **C-111/ASTM C-33**:

Finos que pasan la malla de 75 micras, % max.				
Aplicación	ASTM C 33		NMX C - 111	
	Agregado fino	Agregado grueso	Agregado fino	Agregado grueso
En agregados para concreto en general:				
a) Finos de cualquier tipo.	5.0	1.0	5.0 *	2.0
b) Finos de fragmentos de roca, libres de arcilla.	7.0	1.5	10.0 *	3.0
En agregados para concreto expuesto a la abrasión:				
a) Finos de cualquier tipo	3.0	1.0	3.0 *	2.0
b) Finos de fragmentos de roca, libres de arcilla.	5.0	1.5	5.0 *	3.0
* Las arenas que rebasen estos límites deben estar sujetas a la aprobación del usuario.				

[21] Manual de tecnología de concreto, sección 1, CFE, p. 112.

3.5. MUESTREO[22]

Las muestras seleccionadas del agregado procesado deberán ser representativas de la carga preparada, en las condiciones reales de dosificación; por ejemplo a partir de la descarga de los silos en la mezcladora. Los métodos de muestreo deben cumplir estrictamente con los requisitos de la norma **ASTM D 75**. Como en todo proceso de producción del concreto de calidad, es posible que el muestreo de agregados sea el eslabón más débil; debe, por eso mismo, recibir atención preferente es de esperar que halla una cantidad razonable de variación local en la fuente del agregado el muestreo debe ser de tal naturaleza que no de lugar a un excesivo o poco énfasis a los efectos de las variaciones locales en las muestras que se van a probar. Al juzgar los resultados de las pruebas se debe considerar la distribución estadística de la cantidad de material indeseable. La aceptación o rechazo debe estar de acuerdo con los requisitos de las especificaciones del proyecto.

Para tomar una muestra representativa del agregado a partir de una muestra más grande, con fines de prueba, se puede utilizar un divisor de muestras, bien el método de cuarteo como se indica en la norma **ASTM C 702**.

A menos que una prueba particular exija cantidad exacta de material, se tomará la aproximada más cercana que resulte de cuarteo o del uso del separador de muestras.

Cuando las muestras se envíen a un laboratorio para hacer pruebas, es preciso que el recipiente este limpio, puesto que, cualquier pequeña cantidad de algunos materiales (como los que se adhieren a los sacos de azúcar o los de fertilizante), pueden causar contaminación seria. Además, el recipiente se debe dejar bien cerrado para impedir, tanto la contaminación como la pérdida de finos. La muestra se identificará claramente, por dentro y por fuera del recipiente y se darán los siguientes datos:

- ◊ Fecha.
- ◊ Clase del agregado.
- ◊ Cantidad representada por la muestra.
- ◊ Sitio.
- ◊ Otras condiciones del muestreo.

[22] Manual para supervisar obras de concreto ACI 311 - 92, p. 189.

◊ Autoridad o razón de la prueba.

◊ Clase de prueba deseada.

3.6. PRINCIPALES PRUEBAS DE LOS AGREGADOS[23]

3.6.1. Pruebas en el laboratorio de campo

◊ Análisis granulométrico de los agregados finos y gruesos, **ASTM C 136**.

◊ El *tamaño máximo nominal* del agregado grueso no será superior a:

- 1/5 de la separación menor entre los lados de la cimbra, ni de
- 1/3 del peralte de la losa, ni de
- 3/4 del espaciamiento mínimo libre entre las varillas o alambres individuales de refuerzo, paquetes de varillas, cables o ductos de presfuerzo.

Estas limitaciones se pueden omitir si a juicio del ingeniero, la trabajabilidad y los métodos de compactación son tales que el concreto se puede colocar sin la formación de vacíos o cavidades en forma de panal (segregación).

◊ Muestreo de los Agregados, **ASTM D 75**
a) Tamaño de la muestra.
b) Muestreo tomado de bandas transportadoras.
c) Muestreo tomado desde contenedores o banda de descarga.
d) Muestreo tomado de pilas de almacenamiento.

◊ Materiales más finos que la malla No. 200, **ASTM C 117**.

◊ Terrones de arcilla y partículas desmenuzables en los agregados, **ASTM C 142**.

◊ Impurezas orgánicas en agregado fino, **ASTM C 40**.

◊ Peso específico y absorción del agregado grueso, **ASTM C 127**.

◊ Peso específico de la masa y absorción del agregado fino, **ASTM C 128**.

---

[23] Manual para supervisar obras de concreto ACI 311 - 92, p. 198-201.

◊ Contenido total de la humedad del agregado por medio de secado, **ASTM C 566**.

3.6.1.1. Granulometría[24]

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices (norma **ASTM C 136**). El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre con aberturas cuadradas. Los siete tamices estándar **ASTM C 33** para agregado fino tiene aberturas que varían desde la malla No. 100 (150 micras) hasta 9.5 mm. Los trece tamices estándares para agregado grueso tienen aberturas que varían desde 1.18 mm hasta 102 mm. En la norma **ASTM E 11** se enlistan las tolerancias para los tamaños en las aberturas de las mallas.

Los números de tamaño (tamaños de granulometría), para el agregado grueso se aplican a las cantidades de agregado (peso), en porcentajes que pasan a través de un arreglo de mallas. Para la construcción de vías terrestres, la norma **ASTM D 148** enlista los trece números de tamaño de la **ASTM C 33**, más otros seis números de tamaño para agregado grueso. La arena o agregado fino solamente tiene un rango de tamaño de partícula.

La granulometría y los límites de granulometría se expresan usualmente como el porcentaje de material que pasa por cada malla.

Existen varias razones por las que se especifican los límites de la granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, la capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto. Las variaciones en la granulometría pueden afectar seriamente a la uniformidad del concreto en una revoltura a otra.

En general, aquellos agregados que no tienen una gran deficiencia o exceso de cualquier tamaño y tienen una curva granulométrica suave producirán los resultados más satisfactorios.

Módulo de Finura

El módulo de finura (FM), del agregado grueso o del agregado fino se obtiene conforme a la norma **ASTM C 125** sumando los porcentajes acumulados en peso de los agregados retenidos en una serie especificada de mallas y dividiendo la suma entre 100. Las mallas que se emplean para determinar el módulo de finura son las de : 0.15 mm (No. 100), 0.30 mm (No 50), 0.60 mm (No. 30), 1.18 mm (No. 16), 2.36 mm (No. 8), 4.75 mm (No. 4),

[24] Confrontar, Diseño y Control de Mezclas de Concreto, IMCYC, p. 32.

9.52 mm (3/8"), 19.05 mm (3/4"), 38.10 mm (1 1/2"), 76.20 mm (3"), 152.40 mm (6"). El módulo de finura es un índice de la finura del agregado entre mayor sea el módulo de finura, más grueso será el agregado. Diferentes granulometrías de agregados pueden tener igual módulo de finura. El módulo de finura del agregado fino es útil para estimar las proporciones de los agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto.

El tamaño máximo efectivo

Se identifica con la malla de menor abertura en que alcanza a pasar efectivamente el total de las partículas del conjunto, cuando se le criba sucesivamente en mallas cuyas aberturas se incrementan gradualmente. La determinación de este tamaño máximo es necesaria cuando se analizan granulométricamente muestras representativas de depósitos naturales, a fin de conocer el tamaño máximo disponible en el depósito de estudio; y su verificación es una medida de control indispensable durante el suministro del agregado grueso clasificado.

Tamaño del agregado

Es el tamaño de la partícula; éste se determina por el tamaño de malla y se aplica al agregado que pasa esa malla y que no pasa la siguiente malla inferior.

Tamaño máximo nominal del agregado

Es el menor tamaño de malla por el cual *todo* el agregado debe pasar.

El tamaño máximo nominal

Es el menor tamaño de malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla de tamaño máximo nominal, puede retener de 5% al 15% del agregado dependiendo del número de tamaño.

3.6.2. Pruebas secundarias de laboratorio

Se obtiene de muestras aprobadas para determinar las propiedades físicas que se usan en las dosificaciones de la mezcla. Se incluyen las de absorción, peso específico aparente, peso unitario, vacíos, y expansión.

3.6.3. Pruebas de campo

Para control de aceptación secundaria, entre ellos los de limpieza, materiales nocivos y contenido de humedad.

PROPIEDADES Y PRUEBAS DE AGREGADOS			
PROPIEDAD	**IMPORTANCIA**	**DESIGNACIÓN DE LA PRUEBA**	**REQUISITO O CARACTERÍSTICAS REPORTADAS**
Resistencia al desgaste y a la degradación.	Índice de calidad del agregado; resistencia al desgaste de pisos y pavimentos.	ASTM C 131 ASTM C 535 ASTM C 779	Porcentaje máximo de pérdida de peso. Profundidad de desgaste y tiempo
Resistencia a la congelación y deshielo.	Descascaramiento de la superficie, aspereza, perdida de sección, y deformación.	ASTM C 666 ASTM C 682	Número máximo de ciclos o periodo de inmunidad a la congelación; factor de durabilidad.
Forma de la partícula y textura superficial.	Trabajabilidad del concreto en estado fresco	ASTM C 295 ASTM C 3398	Porcentaje máximo de partículas planas y elongadas.
Granulometría	Trabajabilidad del concreto en estado fresco; economía.	ASTM C 117 ASTM C 136	Porcentaje máximo y mínimo que pasa las mallas especificadas.
Resistencia a la desintegración por sulfatos.	Sanidad contra la acción del intemperismo.	ASTM C 88	Pérdida de peso, partículas exhibiendo fallas.

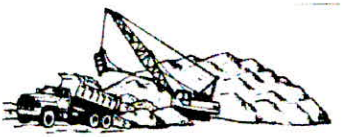
PROPIEDADES Y PRUEBAS DE AGREGADOS			
PROPIEDAD	IMPORTANCIA	DESIGNACIÓN DE LA PRUEBA	REQUISITO O CARACTERÍSTICAS REPORTADAS
Peso volumétrico o densidad en masa.	Cálculo para el diseño de mezclas; clasificación.	ASTM C 29	Peso compacto y peso suelto.
Peso específico.	Cálculos para el diseño de mezclas	ASTM C 127 Para agregado fino ASTM C 128 Para agregado grueso	-
Absorción y humedad superficial.	Control de la calidad del concreto.	ASTM C 70 ASTM C 127 ASTM C 128 ASTM C 566	-
Resistencia a la compresión y a la flexión.	Aceptación del agregado fino cuando otras pruebas fallan.	ASTM C 39 ASTM C 78	Que la resistencia exceda el 95% de la resistencia lograda con arena purificada.
Definiciones de los componentes.	Aclarar el entendimiento y la comunicación.	ASTM C 125 ASTM C 294	-
Componentes de los agregados .	Determinar la cantidad de materiales orgánicos y deletéreos.	ASTM C 40 ASTM C 87 ASTM C 117 ASTM C 123 ASTM C 142 ASTM C 295	Porcentaje máximo de los componentes individuales.
Resistencia a la reactividad con los álcalis y al cambio volumétrico.	Sanidad contra el cambio de volumen .	ASTM C 227 ASTM C 289 ASTM C 295 ASTM C 342 ASTM C 586	Cambio longitudinal máximo, cantidad y componente de sílice y alcalinidad.

3.7. MANEJO Y ALMACENAMIENTO[25]

El almacenaje en montones de agregado se debe mantener al mínimo, pues aún bajo condiciones ideales los finos tienden a sentarse y a acumularse. Sin embargo, cuando es necesario almacenar en montones, el uso de métodos correctos minimiza los problemas con los finos, segregación, rompimientos del agregado y una excesiva variación en la granulometría. Los montones se deben construir en capas horizontales o suavemente inclinadas, no por volteo. Sobre los montones no deben operarse camiones, cargadores, bulldozers, u otros vehículos, puesto que, además de quebrar el agregado, a menudo dejan tierra sobre los depósitos. Se debe tener una base dura con un buen drenaje para impedir la contaminación del material con el del fondo, y el traslape de los diferentes tamaños se debe evitar mediante muros apropiados o amplios espacios entre los montones. No se debe permitir que el viento separe los agregados finos secos, y los depósitos no se deben contaminar oscilando cucharones o cangilones de material sobre los agregados de diferentes tamaños almacenados en montones.

Las tolvas de agregados se deben mantener tan llenas como sea práctico, para reducir al mínimo el resquebrajamiento y los cambios de granulometría al extraer los materiales. Estos se deben depositar verticalmente en las tolvas y directamente sobre el orifico de salida. Se debe prestar especial atención al almacenamiento de agregados especiales para el concreto, incluyendo los de peso ligero, alta densidad y para acabado arquitectónico, la contaminación de éstos materiales especiales tendrá efectos combinados sobre otras propiedades del concreto en el cual vayan a ser usados.

Métodos incorrectos de almacenamiento de agregados



PREFERIBLE

Grúa u otro medio de apilar el material en montones no mayores de las cargas de un camión, permanece en su lugar sin deslizarse.

OBJETABLE

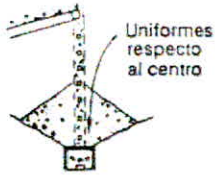
Métodos que permiten al agregado deslizarse tan pronto se añade a la pila, o permite que el equipo de acarreo opere repetidamente en el mismo nivel.

[25] Guía Práctica para la colocación de concreto, ACI 304 y ACI 308, p. 9-12.

ACEPTABILIDAD LIMITADA-GENERALMENTE OBJETABLE

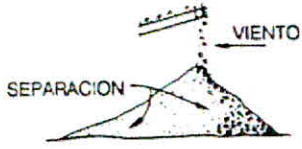
Pila construida en capas horizontales por un "bulldozer" ó cargador frontal trabajando con materiales descargado por una banda transportadora.

"bulldozer" que apila capas progresivas en pendientes menores que 3:1. A menos que los materiales sean muy resistentes a quebrarse, estos métodos también son objetables.



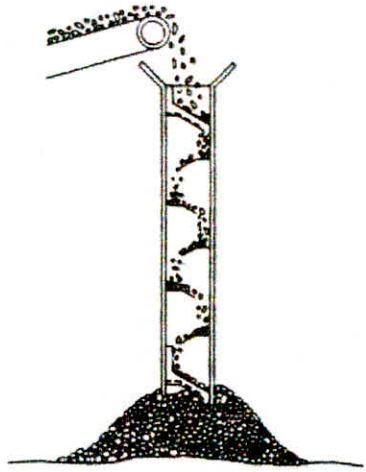
CORRECTO

Chimenea que rodea los materiales que caen del final de una banda transportadora para evitar que el viento separe los materiales finos y gruesos. Tiene abertura tal como se necesita para descargar materiales a varias elevaciones en la pila.



INCORRECTO

La caida libre de material desde un extremo alto de la banda transportadora permite que el viento separe el material fino del grueso.



Cuando se aplican agregados de gran tamaño desde bandas transportadoras elevadas, se reducen al mínimo las fracturas usando una conducción de escalera.

4. ADITIVOS[26]

4.1. GENERALIDADES

La norma **ASTM C 494** es la especificación estándar para los aditivos químicos (reductores de agua, retardantes y acelerantes), para cemento. Esta especificación considera 5 Tipos de aditivos con propósitos diferentes, según se indica a continuación:

- Tipo A - Aditivos reductores de agua.
- Tipo B - Aditivos retardantes.
- Tipo C - Aditivos acelerantes.
- Tipo D - Aditivos reductores de agua y retardantes.
- Tipo E - Aditivos reductores de agua y acelerantes.

La especificación estándar para equipos incorporadores de aire es la **ASTM C 260**. Esta norma proporciona métodos de prueba de laboratorio. Las pruebas no intentan simular las condiciones en la obra; por lo consiguiente, el supervisor deberá asegurarse a sí mismo de que los aditivos utilizados en el trabajo cumplan con los requisitos de las especificaciones del proyecto, y además, cuidar que en la obra se mantengan adecuadamente almacenados y se dosifiquen en forma correcta.

4.2. NORMATIVIDAD EN ADITIVOS PARA PRUEBAS Y MATERIALES[27]

- Los aditivos que deben emplearse en el concreto deben estar sujetos a la aprobación previa del ingeniero.
- Debe demostrarse que el aditivo es capaz de mantener esencialmente la misma composición y comportamiento en toda la obra que el producto usado para establecer las proporciones del concreto.
- El cloruro de calcio o los aditivos que contengan cloruro que no sean de impurezas de los componentes del aditivo, no debe emplearse en concreto presforzado, en

[26] Manual para supervisar obras de concreto ACI 311 - 92, p. 34.
[27] Reglamento ACI 318 -89, p. 13.

concreto que contenga aluminio ahogado o en concreto colado contra cimbras fijas de metal galvanizado.

- Los aditivos inclusores de aire deben cumplir con la **ASTM C 260**.
- Los aditivos reductores de agua, retardantes, acelerantes, reductores de agua y retardantes, y reductores de agua y acelerantes deberán cumplir con las normas **ASTM C 494** y **ASTM C 1017**.
- La ceniza volante u otras puzolanas que se empleen como aditivos deben cumplir con la norma **ASTM C 618**.
- La escoria de alto horno utilizada como aditivo deberá cumplir con la norma ASTM C 989.

4.3. USOS

El ACI 116 R define un aditivo como "Material diferente de agua, agregados y cemento hidráulico que se utiliza como ingrediente del cemento o del mortero y se añade la mezcla inmediatamente antes, o durante el mezclado. Las especificaciones pueden requerir o permitir el uso de aditivos en el concreto con uno o más de los siguientes propósitos:

1. Aumentar la trabajabilidad sin aumentar el contenido de agua, o disminuir el contenido de agua conservando la misma fluidez.
2. Acelerar tempranamente la rapidez de desarrollo de la resistencia.
3. Aumentar la resistencia.
4. Retardar o acelerar el fraguado inicial.
5. Retardar o reducir el desarrollo de calor.
6. Modificar la rapidez o la capacidad de sangrado, o ambas.
7. Aumentar la durabilidad o la resistencia, en condiciones severas de exposición, incluyendo la aplicación de sales removedoras de hielo.
8. Controlar la expansión causada por la reacción de álcalis, con ciertos contribuyentes del agregado.
9. Disminuir el flujo capilar de agua.
10. Disminuir la permeabilidad al paso de líquidos.
11. Producir concreto celular.

12. Mejorar la penetración y facilidad de bombeo de lechadas y el bombeo de concreto.
13. Reducir o prevenir asentamientos, o crear expansión ligera en cemento o mortero utilizados para rellenar espacios en columnas y vigas o en la fijación de maquinaría, llenar los ductos de cables postensados o los vacíos en agregado precolado.
14. Aumentar la adherencia del concreto al acero.
15. Aumentar la adherencia entre concreto viejo y nuevo.
16. Obtener cemento o mortero de colores.
17. Desarrollar propiedades fungicidas, germicidas e insecticidas en concretos o morteros.
18. Impedir la corrosión de metales corroibles ahogados.
19. Disminuir el costo unitario del concreto.

Por lo general, para la especificación de los aditivos, se efectúa el análisis de laboratorio, o se confía en lo que dicen los fabricantes. La supervisión de los aditivos incluye:

- Ver que cumplan con las especificaciones adecuadas.
- Que sean almacenados sin contaminación o deterioro.
- Que sean medidos con precisión e introducidos en la mezcla según este especificado.
- Que se comporten como se esperaba al hacer la mezcla y por los resultados de las pruebas que se hagan.

CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS PARA CONCRETO		
TIPO DE ADITIVO	EFECTO DESEADO	MATERIAL
Acelerantes (ASTM C 494, Tipo C)	Aceleran el fraguado y el desarrollo de la resistencia a edad temprana.	Cloruro de calcio (ASTM D 98) Trietranolamina, Tiocianato de sodio, formato de calcio, Nitrito de calcio, Nitrato de calcio.
Exclusores de aire	Disminuyen el contenido de aire.	Fosfato tributilo, Ftalato Dibutilo, alcohol octilo, Ésteres insolubles al agua de ácido carbonico y bórico, silicones.
Aditivos inclusores de aire (ASTM C 260)	Mejoran la durabilidad en los ambientes en que existe congelación - deshielo, productos químicos descongelantes, sulfatos, y reactividad a los álcalis. Mejoran la trabajabilidad.	Sales resinas de madera (resina Vinsol) Algunos detergentes sintéticos Sales de lignina, sulfonatada Sales de ácidos de petróleo Sales de material proteináceo Ácidos grasos, resinosos y sus sales Sulfonatos de Alkilbenceno Sales de hidrocarburos sulfonatados
Reductores de reactividad con los álcalis	Reducen la expansión provocada por la reactividad con los álcalis	Puzolanas (ceniza volante, humo de sílice), escoria de alto horno, sales de Litio y de Bario, agentes inclusores de aire.
Aditivos para unir	Mejoran la unión	Hule, cloruro de polivinilo, acetato de polivinilo, acrílicos, copolímeros de butadienoestireno.
Agentes colorantes	Concreto de color	Negro de humo modificado, óxido de fierro, tierra de sombra, óxido de cromio, óxido de titanio, azul cobalto (ASTM C 979).
Inhibidores de la corrosión	Reducen el avance de la corrosión del acero en un ambiente con cloruros.	Nitrito de calcio, nitrito de sodio, benzoato de sodio, algunos fosfatos o fluosilicatos, fluoaluminatos.
Aditivos a prueba de humedad	Retardan la penetración de la humedad en el concreto seco.	Jabones de calcio o estearato de amonio u oleato Estearato butilo, productos de petróleo

CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS PARA CONCRETO

TIPO DE ADITIVO	EFECTO DESEADO	MATERIAL
Aditivos minerales finamente divididos Cementantes	Propiedades hidráulicas Sustitución parcial del cemento	Escoria de alto horno granulada molida ASTM C 989 Cemento natural Cal hidráulica hidratada ASTM C 141
Puzolanas	Actividad puzolánica Mejoran la trabajabilidad, la plasticidad, la resistencia a los sulfatos; reducen la reactividad con los álcalis, la permeabilidad y el calor de hidratación. Sustitución parcial del cemento . Relleno.	Tierras diatomáceas, horstenos opalinos, arcillas, pizarras, tufas volcánicas, pumicitas (ASTM C 618, clase N); cenizas volantes (ASTM C 618, clases F y C), humo de sílice.
Puzolánicos y Cementantes	Los mismos que en la categoría de cementantes y puzolánicos	Cenizas volantes con contenidos altos de calcio (ASTM C 618, clase C) Escoria de alto horno granulada molida (ASTM C 989)
Nominalmente inertes	Mejoran la trabajabilidad Relleno	Mármol, dolomita, cuarzo, granito.
Fungicidas, germicidas e insecticidas	Inhiben o controlan el crecimiento de bacterias y hongos.	Fenoles polihalogenados Emulsiones de dieldrin Compuestos de cobre
Formadores de gas	Provocan expansión antes de que se presente el fraguado.	Polvo de aluminio Jabón de resina y goma vegetal o animal Saponina Proteínas hidrolizadas
Agentes para morteros (Lechadas)	Ajustan propiedades de los morteros (Lechadas) para aplicaciones específicas.	Vea los inclusores de aire, acelerantes, retardantes y agentes para la trabajabilidad.

CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS PARA CONCRETO		
TIPO DE ADITIVO	EFECTO DESEADO	MATERIAL
Impermeabilizantes	Disminuyen la permeabilidad	Humo de sílice Cenizas volantes (ASTM C 618) Escoria sólida (ASTM C 989) Puzolanas naturales Reductores de agua Látex
Ayudas de bombeo	Mejoran la capacidad de bombeo	Polímeros orgánicos y sintéticos Floculantes orgánicos Emulsiones orgánicas de parafina, alquitrán, asfalto, acrílicos Bentonitas y sílices pirogénicas Puzolanas naturales (ASTM C 618, clase N) Cenizas volantes (ASTM C 618, clase F y C) Cal hidratada (ASTM C 141)
Retardantes (ASTM C 494, Tipo B)	Retardan el tiempo de fraguado	Lignina Bórax Azúcares Ácido tartárico y sales
Superplastificantes * (ASTM C 1017, Tipo 1)	Concreto con mayor fluidez Disminuyen la relación agua/cemento	Condensados de formaldehído de melamina sulfonatados Condensados de formaldehído de naftaleno sulfonatados Lignosulfonatos
Superplastificantes * y Retardantes (ASTM C 1017, Tipo 2)	Concreto con mayor fluidez y con retardo en el fraguado Disminuyen la cantidad de agua	Vea los aditivos Superplastificantes y también los reductores de agua.
Reductores de agua (ASTM C 494, Tipo A)	Reducen la demanda de agua al menos 5%	Lignosulfonatos Ácidos caboxílicos hidroxilados Carbohidratos (También tienden a retardar el fraguado por lo que a menudo se les agrega un acelerante)
Reductores de agua y acelerantes (ASTM C 494, Tipo E)	Reducen el agua (mínimo 5%) y aceleran el fraguado	Vea los aditivos reductores de agua, Tipo A (se agrega un acelerante)

CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS PARA CONCRETO		
TIPO DE ADITIVO	EFECTO DESEADO	MATERIAL
Reductores de agua y retardantes (ASTM C 494, Tipo D)	Reducen el agua (mínimo 5%) y retarda el fraguado	Vea los aditivos reductores de agua Tipo A
Reductores de agua - de alto rango (ASTM C 494, Tipo F)	Reducen la demanda de agua (mínimo 12 %)	Vea los aditivos Superplastificantes
Reductores de agua - de alto rango - y retardantes (ASTM C 494, Tipo G)	Reducen la demanda de agua (mínimo 12%) y retardan el fraguado	Vea los aditivos Superplastificantes y también los reductores de agua.
Agentes para la trabajabilidad	Mejoran la trabajabilidad	Aditivos inclusores de aire Aditivos minerales finamente divididos, excepto el humo de sílice Reductores de agua

* A los Superplastificantes también se les conoce como reductores de agua de alto rango o plastificantes. Éstos aditivos a menudo cubren simultáneamente las especificaciones ASTM C 494 y ASTM C 1017

Tabla tomada de Diseño y Control de Mezclas de Concreto, IMCYC.

5. PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS

5.1. INTRODUCCIÓN

EL objetivo al diseñar una mezcla de concreto consiste en determinar la combinación más práctica y económica de los materiales con los que se dispone, para producir un concreto que satisfaga los requisitos de comportamiento bajo las condiciones particulares de uso. Para lograr tal objetivo, una mezcla de concreto bien proporcionada deberá poseer las propiedades siguientes:

1. En el concreto fresco, trabajabilidad aceptable.
2. En el concreto endurecido, durabilidad, resistencia y presentación uniforme.
3. Economía.

La comprensión de los principios básicos del diseño de mezclas es tan importante como la realización de los cálculos mismos. Solamente con una selección adecuada de los materiales y de las características de la mezcla, así como con un proporcionamiento adecuado se pueden obtener las propiedades anteriores al producir un concreto.

5.2. ESTIMACIÓN DEL PESO DE LA MEZCLA

La estimación del peso de la mezcla para el concreto requerido implica una secuencia de pasos lógicos y directos que, de hecho, ajustan las características de los materiales disponibles a una mezcla adecuada para el trabajo. El aspecto de la adaptabilidad no siempre permite la selección individual de las proporciones. Las especificaciones de la obra pueden exigir todas o algunas de las siguientes recomendaciones:

- Relación máxima agua /cemento ó
  relación agua/materiales cementantes.
- Contenido de aire.
- Revenimiento.
- Tamaño Máximo de agregado.
- Resistencia.

- Otros requisitos relacionados con aspectos como sobre - diseño de resistencia, aditivos y Tipos especiales de cemento, otros materiales cementantes o agregados.

5.3. ESPECIFICACIONES Y DOSIFICACIÓN

Independientemente de que las características del concreto estén prescritas en las especificaciones o de que se deje la dosificación a criterio de la persona que la va a hacer, la determinación de los pesos de las mezclas por metro cúbico de concreto se lleva a cabo más satisfactoriamente de acuerdo con la siguiente secuencia:

5.3.1. Elección del revenimiento

PRIMER PASO

Cuando no se especifica el revenimiento, se puede seleccionar un valor apropiado para la obra de los que aparecen en la tabla 5.3. 1. Los rangos del revenimiento que se muestran son aplicables cuando se emplea el vibrado para compactar el concreto. Se deben emplear mezclas con la consistencia más densa, que puedan colarse eficientemente.

Tabla 5.3.1 Revenimientos por colocación recomendados para diversos Tipos de construcción

	Revenimiento, cm.	
TIPOS DE CONSTRUCCIÓN	máximo	mínimo
Muros de cimentación y zapatas	7.5	2.5
Zapatas, cajones de cimentación y muros de sub - estructura sencillos	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados	①10	2.5
Columnas para edificios	①10	2.5
Pavimentos y losas	7.5	2.5
Concreto masivo	7.5	2.5

* El revenimiento se puede incrementar cuando se emplean aditivos químicos, se debe tener en cuenta que el concreto tratado con aditivo tiene una relación agua/cemento ó agua materiales - cementantes igual o menor sin que potencialmente tenga segregación o sangrado excesivo. Se puede incrementar en 2.5 cm. cuando los métodos de compactación no sean mediante vibrado.

① Comentario: Actualmente el máximo revenimiento utilizado se encuentra entre 12-14. Los datos que proporciona esta tabla son obsoletos, la información no ha sido actualizada desde 1968. Por lo que podemos decir que se hace referencia a tecnología atrasada.

5.3.2. Elección del tamaño máximo nominal del agregado

SEGUNDO PASO

Los agregados bien graduados de tamaños más grandes, tienen menos huecos que los tamaños más pequeños. Por esto, los concretos con agregados de tamaños mayores requieren menos mortero por volumen unitario de concreto.

Por regla general, el tamaño máximo de agregado debe ser el mayor disponible económicamente y compatible con las dimensiones de la estructura.

- TMNA < 1/5 de la separación menor entre los lados de la cimbra, ni de
- TMNA < 1/3 del peralte de la losa, ni de
- TMNA < 3/4 del espaciamiento mínimo libre entre las varillas o alambres individuales de refuerzo, paquetes de varillas, cables o ductos de presfuerzo.
- TMNA < 1/3 del diámetro interno de la tubería de refuerzo.

A veces, estas limitaciones se pasan por alto si la trabajabilidad y los métodos de compactación permiten que el concreto sea colocado sin cavidades o huecos.

En áreas congestionadas con acero de refuerzo, ductos de postensado o tuberías de conducción eléctrica el dosificador debe elegir un tamaño máximo nominal del agregado, que permita colocar el concreto sin segregación excesiva, ni formación de cavidades o huecos.

Cuando se desea un concreto de alta resistencia, se pueden obtener mejores resultados con agregados de tamaño máximo reducido ya que estos producen resistencias superiores con una relación agua/cemento determinado.

5.3.3. Cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire

TERCER PASO

La cantidad de agua por volumen unitario de concreto que se requiere para producir determinado revenimiento, depende del tamaño máximo de la forma de la partícula y granulometría de los agregados, la temperatura del concreto así como de la cantidad de aire incluido, y el uso de aditivos químicos.

No afecta significativamente el contenido del cemento o materiales cementantes dentro de sus niveles normales de empleo (bajo circunstancias favorables el uso de algunos aditivos minerales finamente divididos pueden reducir un poco los requerimientos de agua) (ver ACI 212. 1R, ACI 226. 1R y ACI 226. 3R).

En la tabla 5.3.3. aparecen valores estimados del agua de mezclado que se requiere para concretos hechos con diversos tamaños máximos de agregados, con o sin aire incluido. Según sea la textura y forma del agregado, los requerimientos de agua de mezclado

pueden estar ligeramente por encima o por debajo de los valores tabulados, pero son lo suficientemente aproximados para un primer cálculo.

Estas diferencias en el requerimiento de agua no se reflejan necesariamente en la resistencia, ya que pueden estar implicados otros factores de compensación.

Por ejemplo, de un agregado redondeado y otro angular, ambos similares, bien graduados y de buena calidad, se espera que puedan producir concretos de aproximadamente la misma resistencia a la compresión con el mismo factor de cemento, a pesar de la diferencia en la relación agua/cemento o agua/materiales cementantes, resultantes de los diferentes requerimientos de agua de mezclado.

La forma de la partícula no es necesariamente un indicador de que el agregado puede estar indistintamente por encima o por debajo del promedio en cuanto a su capacidad para obtener resistencia.

Tabla 5.3.3. Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado

	Agua, Kg./m³ para el concreto de agregado de tamaño nominal máximo (mm) indicado.							
Revenimiento, cm.	9.5*	12.5*	19*	25*	38*	50*	75***	150***
CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO								
2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
15 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire en concreto sin aire incluido, por ciento.	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
CONCRETO CON AIRE INCLUIDO								
2.5 a 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10	202	193	184	175	165	157	133	119
15 a 17.5	216	205	197	174	174	166	154	-

	Agua, Kg./m³ para el concreto de agregado de tamaño nominal máximo (mm) indicado.							
Revenimiento, cm.	9.5*	12.5*	19*	25*	38*	50*	75+**	150+**
Promedio recomendado +++ de contenido de aire total por ciento, según el nivel de exposición.								
Exposición ligera	4.5	4	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5#*	1.0#*
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5#a	3.0#a
Exposición severa aa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5#a	4.0#a

* Cantidades de agua de mezclado dadas para concretos con aire incluido están basadas en los requerimientos típicos totales de contenido de aire que se consignan en la tabla precedente como "exposición moderada". Éstas cantidades de agua de mezclado son para usarse en el cálculo de contenido de cemento para mezclas de prueba a una temperatura de 20° a 25° C. Son cantidades máximas para agregados gruesos angulosos, razonablemente bien formados y con granulometría dentro de los limites aceptados por las especificaciones. Los agregados redondeados pueden requerir 20 lts/m³ menos para concreto con aire incluido. El empleo de aditivos químicos reductores de agua que cumplen ASTM C 494, pueden reducir también el agua de mezclado en un 5% o más. El volumen de aditivos líquidos se debe incluir como parte del volumen total de agua de mezclado. Los valores de revenimiento mayores a 18 cm se obtienen únicamente mediante el empleo de aditivos químicos reductores de agua éstos son para concretos con agregados cuyo tamaño máximo nominal no es mayor que 25 mm.

+ Los valores de revenimiento para concreto con agregado mayor de 40 mm están basados en pruebas de revenimiento, después de quitar las partículas mayores de 40 mm, mediante cribado húmedo.

++ Éstas cantidades de agua de mezclado se emplean para calcular factores de cemento para mezclas de prueba, cuando se utilizan agregados de tamaño máximo nominal de 70 o 150 mm. Son promedios para agregados gruesos razonablemente bien formados y con buena granulometría de grueso a fino.

+++ En varios documentos del ACI aparecen recomendaciones adicionales con respecto al contenido de aire y a las tolerancias necesarias de contenido de aire para control en el campo. Entre estos documentos están : ACI 201, 345, 318, y 302. La Norma ASTM C 94 para concretos premezclados también proporciona los límites de contenido de aire. Los requerimientos que aparecen en otros documentos no siempre pueden concondar exactamente, por lo que al proporcionar concreto se debe prestar atención a la selección de un contenido de aire que se ajuste a las necesidades de la obra, así como a las especificaciones aplicables.

Para concretos que contienen agregados grandes que serán tamizados en húmedo a través de una malla de 1 1/2" antes de someterse a la prueba de contenido de aire, el porcentaje de aire esperado en el material de tamaño inferior a 40 mm debe ser como el tabulado en la columna de 40 mm. Sin embargo, los cálculos iniciales de proporción deben incluir el contenido de aire como un porcentaje total.

[a] Cuando se emplea agregado grande en concretos con bajo factor de cemento, la inclusión de aire no debe ir en detrimento de la resistencia. En la mayoría de los casos el requerimiento de agua de mezclado se reduce lo suficiente como para mejorar la relación agua/cemento y, de esta manera, compensar el efecto reductor de resistencia del concreto con inclusión de aire. Generalmente, sin embargo, para dichos tamaños máximos grandes de agregados los contenidos de aire recomendados en caso de exposición severa se deben considerar, aunque pueda ver poca o ninguna exposición a la humedad o al congelamiento.

[aa] Éstos valores se basan en el criterio de que es necesario un 9% de aire en la fase de mortero del concreto. Si el volumen de mortero va a ser substancialmente diferente del determinado en esta obra, puede ser conveniente calcular el contenido de aire necesario tomando un 9% del volumen real del mortero.

5.3.3.1. Aditivos químicos

Los aditivos químicos se usan para modificar las propiedades del concreto y hacerlo más trabajable, durable, y/o económico; incrementar o disminuir el tiempo de fraguado, acelerar la adquisición de resistencia, y/o controlar el desarrollo de temperatura. Los aditivos químicos se pueden emplear después de que se ha hecho una evaluación apropiada, llevada a cabo en el concreto particular bajo las condiciones de uso a que se destina. Los aditivos reductores de agua y/o controladores de fraguado que satisfagan los requisitos de **ASTM C 494**, cuando se emplean solos o combinados con otros aditivos químicos, pueden reducir significativamente la cantidad de agua por unidad de volumen de concreto.

El empleo de algunos aditivos químicos aún con el mismo revenimiento, pueden mejorar cualidades como trabajabilidad, facilitar el acabado, la bombeabilidad, la durabilidad y la resistencia a compresión o flexión. Cuando el volumen de aditivo líquido es importante, éste se debe considerar como parte del agua de mezclado. Los revenimientos que aparecen en la tabla 5.3.1. "Revenimientos recomendados para diversos Tipos de construcción", se pueden incrementar cuando se emplean aditivos químicos, se debe tener en cuenta que el concreto tratado con aditivo tiene una relación agua/cemento o agua/cementantes igual o menor, sin que potencialmente exista segregación o sangrado excesivo. Cuando los aditivos químicos se emplean únicamente para aumentar el revenimiento, pueden no mejorar algunas propiedades del concreto.

En la parte superior de la tabla 5.3.3. se indica la cantidad aproximada de aire atrapado que se puede esperar en concretos sin inclusión de aire, y en la parte inferior, el promedio de contenido de aire que se recomienda para concretos con inclusión de aire. En el caso de que sea necesario o deseable incluir aire, se señalan 3 niveles de contenido de aire para cada tamaño de agregado, y que dependerán del propósito de la inclusión de aire y de la severidad de la exposición, si la inclusión de aire esta en función de la durabilidad.

5.3.3.2. Exposición ligera

Cuando se desee la inclusión de aire para otros efectos benéficos que no sea la durabilidad, por ejemplo: para mejorar la trabajabilidad, la cohesión o para incrementar la resistencia del concreto con bajo factor de cemento, se pueden emplear contenidos de aire inferiores a los necesarios para la durabilidad. Éste Tipo de exposición puede ser interior o exterior en climas en los que el concreto no estará expuesto a congelación o agentes descongelantes .

5.3.3.3. Exposición moderada

Implica servicio en climas donde es probable la congelación, pero en los que el concreto no estará expuesto continuamente a la humedad o al agua corriente durante largos períodos antes de la congelación, ni a agentes descongelantes u otros productos químicos agresivos. Como ejemplos se pueden señalar: vigas exteriores, columnas, muros, trabes o losas que no estén en contacto con el terreno húmedo y que se encuentren ubicadas de tal manera que no reciban aplicaciones directas de sales descongelantes.

5.3.3.4. Exposición severa

En caso en que el concreto este expuesto a productos químicos descongelantes u otros agentes agresivos, o bien, cuando pueda sobresaturarse por el contacto continuo con humedad o agua corriente antes de la congelación. Ejemplos de lo anterior son: pavimentos, pisos de puentes, guarniciones, desagües, aceras, revestimientos de canales, tanques exteriores para agua o resumideros.

El empleo de cantidades normales de aire incluido en concretos con resistencia especificada de 350 kg./cm^2 o aproximada, puede no ser factible debido al hecho de que cada porcentaje de aire adicional reduce la resistencia máxima que se puede obtener con determinada combinación de materiales. En estos casos, la exposición al agua, sales descongelantes y temperaturas de congelación se deben evaluar cuidadosamente. Si un elemento no va a estar continuamente mojado ni expuesto a sales descongelantes, son apropiados los valores bajos de contenido de aire, como los que se señalan en la tabla 5.3.3. para exposición moderada, aunque el concreto este expuesto a temperaturas de congelación- deshielo. Sin embargo, en condiciones de exposición en las que el elemento puede estar saturado antes de la congelación, no se debe sacrificar el aire incluido en favor de la resistencia.

En ciertos casos, se puede descubrir que el contenido de aire incluido es inferior al que se especifico, a pesar del empleo de dosis comúnmente satisfactorias de aditivo inclusor de aire. Esto ocasionalmente sucede por ejemplo, cuando esta involucrado el empleo de altos

contenidos de cemento. En tales casos, el lograr la durabilidad necesaria se puede poner de manifiesto con resultados satisfactorios del examen de la estructura de vacíos de aire en la pasta del cemento endurecido.

Cuando se emplean mezclas de prueba con el fin de establecer las relaciones de resistencia o verificar la capacidad para producir resistencia de una mezcla, se debe emplear la combinación menos favorable de agua de mezclado y aire incluido; es decir, el contenido de aire debe ser el máximo permitido, y el concreto se debe mezclar para un revenimiento lo más elevado posible. Esto evitará la elaboración de un cálculo demasiado optimista de la resistencia, basado en la suposición de que en el campo prevalecerán las condiciones promedio, en vez de presentarse condiciones extremas. Si el concreto producido en el campo tiene un revenimiento y/o contenido de aire menor al esperado, para mantener el rendimiento requerido se debe ajustar la proporción de ingredientes. Para obtener información sobre las recomendaciones relativas al contenido de aire consulte ACI 203, 301 y 302.

5.3.4. Selección de la relación agua/cemento ó agua/materiales cementantes

CUARTO PASO.

La relación agua/cemento o agua/materiales cementantes requerida se determina no solo por los requisitos de resistencia sino también por otros factores como durabilidad. Puesto que diferentes agregados, cementos y materiales cementantes producen generalmente resistencias diferentes empleando la misma relación agua/cemento o agua/materiales. cementantes, es muy deseable establecer una relación entre la resistencia y la relación agua/cemento, para los materiales que de hecho se van a emplear. En ausencia de éstos datos se pueden tomar de la tabla 5.3.4. (a) valores aproximados y relativamente conservadores para concretos que contengan cemento portland Tipo I. Con materiales comunes como las relaciones tabuladas de agua/cemento o agua/materiales cementantes deben producir las resistencias indicadas, con base en pruebas a los 28 días de muestras curadas en condiciones normales de laboratorio. La resistencia promedio seleccionada debe, por supuesto, exceder la resistencia especificada con un margen suficiente para mantener dentro de los limites especificados las pruebas con valores bajos (véase ACI 214 y ACI 318).

Para condiciones de exposición severas la relación agua/cemento o agua/materiales cementantes se debe mantener baja aún cuando los requerimientos de resistencia puedan cumplir con valores mayores. En la tabla 5.3.4. (b) aparecen los valores límite.

Cuando se emplean en el concreto puzolanas naturales, cenizas volantes y escorias de alto horno finamente molidas, que en lo sucesivo se hará referencia de ellos como materiales puzolanicos, se debe considerar una relación agua/cemento más Puzolana (relación agua/cemento más otros materiales cementantes) por peso, en vez de la tradicional relación agua/cemento por peso.

Tabla 5.3.4. (a) Correspondencia entre la relación agua/cemento o agua/materiales cementantes y la resistencia a la compresión del concreto.

Relación agua/cemento por peso		
Resistencia a la compresión a los 28 días Kg./cm²*	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	-
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

* Los valores son estimados para resistencias promedio de concretos que contengan no mas de 2% para concretos sin aire incluido y 6% de contenido de aire total para concreto con aire incluido. Para una relación constante agua/cemento o agua/materiales cementantes, la resistencia del concreto se reduce conforme aumenta el contenido de aire. Los valores de resistencia a 28 días pueden ser conservadores pero cambiar cuando se empleen varios materiales cementantes, también pueden cambiar el porcentaje de desarrollo de resistencia a 28 días.

La resistencia esta basada en cilindros de 15 X 30 cm. curados en ambiente húmedo durante 28 días de acuerdo con las Secciones "curado inicial" y "curado de cilindros" para verificar lo adecuado de las proporciones por resistencia de mezclas de laboratorio o como base de aceptación o para "control de calidad" del método ASTM C 31, para hacer y curar en el campo especímenes de concreto. Esto es, cilindros curados en ambiente húmedo a 23 ª± 1.7ª C antes de su ensaye.

La relación supone un tamaño máximo de agregado de 3/4 a 1" (19 a 25 mm); para un banco de agregados dado, la resistencia producida por una relación agua/cemento o agua/materiales cementantes dada se incrementará conforme se reduzca el tamaño máximo de agregado.

Tabla 5.3.4. (b) Relaciones agua/cemento o agua/materiales cementantes máximas permisibles para concreto sujeto a exposiciones severas *

TIPO DE ESTRUCTURA	Estructura continuamente húmeda o frecuentemente expuesta a congelamiento y deshielo +	Estructura expuesta a agua de mar o sulfatos
Secciones delgadas (bardas, bordillos, cornisas y trabajos ornamentales) y secciones con menos de 5 mm de recubrimiento sobre el refuerzo	0.45	0.40++
Todas las estructuras	0.50	0.45++

* Basado en el informe del Comité ACI 201, los materiales cementantes deben satisfacer a ASTM C 618 y C 989.

\+ El concreto también debe tener aire incluido.

++ Si se emplea cemento resistente a los sulfatos (Tipo II o Tipo V de las normas ASTM C 150), la relación agua/cemento o agua/materiales cementantes permisible se puede incrementar en 0.05.

5.4. PROPORCIONAMIENTO

Los métodos de proporcionamiento por peso son muy simples y rápidos para estimar las proporciones de las mezclas, utilizando un peso supuesto o conocido del concreto por unidad de volumen. Un método más exacto, es el del volumen absoluto que involucra el uso de valores de la densidad de todos los ingredientes; para calcular el volumen absoluto de cada ingrediente se ocupará la unidad de volumen del concreto.

5.4.1. Proporcionamiento a partir de datos de campo

Cualquier diseño de mezclas que se encuentre en uso o que haya sido usado previamente, podrá ser empleado en un nuevo proyecto, si los datos de los ensayes de resistencia y las desviaciones estándar demuestran que las mezclas son aceptables. También se deben satisfacer los aspectos referentes a la durabilidad.

Los datos estadísticos deberán representar a los mismos materiales, proporciones y condiciones de colado que serán empleados en el nuevo proyecto. Los datos usados para el proporcionamiento, también deberán provenir de un concreto con un f'c dentro de 70

kg/cm^2 de la resistencia requerida para el trabajo propuesto. Asimismo, los datos deberán representar al menos 30 ensayes consecutivos o dos grupos de ensayes consecutivos que totalicen al menos 30 ensayes. Si sólo se dispone de 15 a 29 ensayes consecutivos, se puede obtener una desviación estándar ajustada, multiplicando la desviación estándar (S) por los 15 a 29 ensayes y por un factor de modificación que se puede tomar en la tabla 5.4.1. Los datos deberán representar 45 días de ensayes o más.

Tabla 5.4.1 Factor de modificación para la desviación estándar, cuando se dispone de menos de 30 ensayes.

Número de ensayes *	Factor de modificación para la desviación estándar **
Menos de 15	Use la tabla 5.4.1.A
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.00

* Interpole para números de ensaye intermedios.

** Desviación estándar modificada, que será usada para determinar la resistencia promedio requerida, f'cr.

Tabla 5.4.1 A Resistencia a la compresión promedio requerida cuando no se dispone de datos para establecer una desviación estándar.

Resistencia a la compresión especificada, f'c, Kg/cm^2	Resistencia a la compresión requerida promedio f'cr, kg/cm^2
Menos que 210	f'c+70
210-350	f'c+85
mayor que 350	f'c+100

La desviación estándar o la modificada se utiliza en las ecuaciones 5.4.1 a y b. Para que las proporciones del concreto se consideren aceptables, la resistencia a compresión promedio del registro de pruebas, deberá igualar o rebasar la resistencia a compresión promedio requerida por el ACI ·318, f'cr. El valor de f'cr para las proporciones elegidas de la mezcla será igual al mayor de las ecuaciones 5.4.1.a y b

$f'cr = f'c + 1.34\ S$ (5.4.1.a)

$f'cr = f'c + 2.33\ S - 35$ (5.4.1.b)

donde:

f'cr = Resistencia a la compresión promedio del concreto requerida como base para la selección de las proporciones del concreto, kg/cm^2.

f'c = Resistencia a la compresión especificada en el concreto, kg/cm^2.

S = Desviación estándar, Kg/cm^2.

Cuando los registros de los ensayes de resistencia de campo no satisfacen los requisitos previamente expuestos, se puede obtener el f'cr con la tabla 5.4.2. A uno o varios registros de resistencia de campo, o los resultados de los ensayes de las mezclas de prueba deberán usarse como documentación, mostrando que la resistencia promedio de la mezcla es igual o mayor que el f'cr.

Si la resistencia promedio de las mezclas con datos estadísticos inferiores a f'cr, o si los datos estadísticos o los registros de ensaye son insuficientes o no se encuentran disponibles, la mezcla deberá ser proporcionada por medio del método de mezclas de prueba. La mezcla aceptada deberá tener una resistencia a la compresión que satisfaga o rebase a f'cr. Se deberán probar tres mezclas de prueba, usando tres relaciones agua/cemento distintas, o tres diferentes contenidos de cemento. Entonces se puede graficar una curva de relación agua/cemento vs resistencia y las proporciones se pueden interpolar a partir de los datos.

También es recomendable ensayar las propiedades de la mezcla recién proporcionada en una mezcla de prueba. Si no se dispone de datos de prueba y la elaboración de mezclas de prueba resulta impráctica, el Comité ACI 318 estipula medidas especiales para el proporcionamiento empleando la tabla 5.4.2 B Sin embargo, se debe tener un permiso especial para emplear estas estipulaciones mismas que producen diseños de mezclas conservadores los cuales por lo general sólo se usan en emergencias o en colados pequeños.

Tabla 5.4.2 B Relaciones agua/cemento máximas permisibles para el concreto cuando no se dispone de datos de resistencia de experiencias en campo ni de mezclas de prueba.

	Relación agua/cemento en peso.	
Resistencia a compresión a los 28 días, f'c, en kg/cm^2	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
175	0.67	0.54
210	0.58	0.46
245	0.51	0.40
280	0.44	0.35
315	0.38	*
350	*	*

Con la mayoría de los materiales, las relaciones agua/cemento mostradas proporcionarán resistencias promedio mayores que las requeridas.

* Para resistencias arriba de 315 kg/cm^2 (en concretos sin aire incluidos) y de 280 kg/cm^2 (en concretos con aire incluido), las proporciones del concreto deberán establecerse a partir de datos de campo o de mezclas de prueba.

5.4.2. Proporcionamiento por mezclas de prueba

Cuando no se dispone de registros de campo, o cuando éstos son insuficientes para elaborar un proporcionamiento con los métodos de experiencia de campo, las proporciones elegidas para el concreto deberán estar basadas en mezclas de prueba. Las mezclas de prueba deberán usar los mismos materiales propuestos para la obra. Se deberán elaborar tres mezclas con tres distintas relaciones agua/cemento, o contenidos de cemento para producir un rango de resistencias que se encuentren cercanas a f'cr. Las mezclas de prueba deberán tener un revenimiento y un contenido de aire dentro de 2 cm y 0.5 %, respectivamente, del máximo permitido. Se deberá, fabricar tres cilindros por relación agua/cemento mismos que se curarán, conforme a la norma **ASTM C 192**. A los 28 días o

a la edad de ensaye designada, se determinará la resistencia a compresión del concreto ensayando los cilindros a compresión. Los resultados obtenidos se grafican para producir una curva de resistencia contra relación agua/cemento (fig. 5.4.2), que se utiliza para obtener el proporcionamiento de una mezcla.

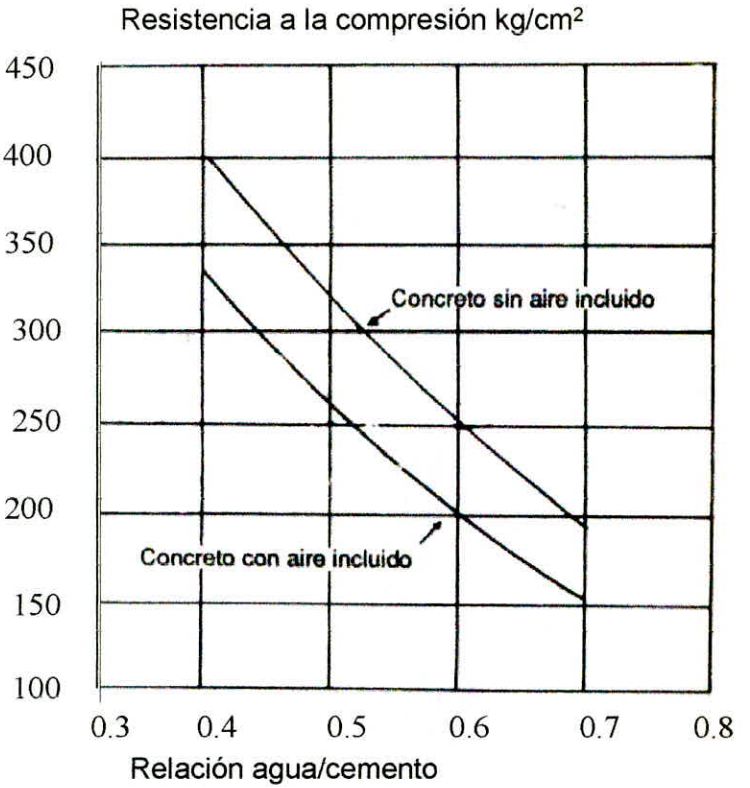


Figura 4.5.2.

Se han empleado un cierto número de métodos distintos para proporcionar los ingredientes del concreto, incluyendo:

- Asignación arbitraria (1:2:3), volumétrica.
- Relación de vacíos.
- Módulo de finura.
- Área superficial de los agregados.
- Contenido de cemento.

Cualquiera de éstos métodos puede producir de manera aproximada la misma mezcla final luego que se hallan practicado en el campo los ajustes correspondientes. El mejor enfoque, es elegir las proporciones basándose en las anteriores experiencias y en datos confiables de ensayes con una relación ya establecida entre la resistencia y la relación agua/cemento, en los materiales que se van a usar para producir el concreto. Las mezclas pueden ser de volumen relativamente pequeño hechas con precisión de laboratorio o mezclas de gran volumen fabricadas durante el transcurso de una producción normal de concreto. A menudo es necesario el uso de ambas para lograr una mezcla satisfactoria para la obra.

Se deberán seleccionar primero los siguientes parámetros: *resistencia requerida, contenido de cemento mínimo o relación agua/cemento máximo, tamaño máximo de agregado, contenido de aire, y revenimiento deseado.* Entonces, se elaboran las mezclas de prueba variando las cantidades relativas de agregados finos y gruesos así como otros ingredientes. Las proporciones de la mezcla adecuada se seleccionan tomando como base las consideraciones de trabajabilidad y de economía.

Cuando la calidad de la mezcla de concreto ha sido especificada por la relación agua/cemento, el procedimiento de mezcla de prueba consiste esencialmente en combinar una pasta (agua, cemento, y por lo general, una aditivo inclusor de aire), de proporciones correctas con las cantidades necesarias de agregados fino y grueso para producir el revenimiento y la trabajabilidad requeridos. Después se calculan las cantidades por metro cúbico.

Se deberán usar muestras representativas de cemento, agua, agregados, y aditivos. Para simplificar los cálculos y eliminar errores causados por las variaciones en los contenidos de humedad de los agregados, los agregados deberán ser humedecidos y luego secados hasta una condición saturada y superficialmente seca y colocados en recipientes cubiertos para conservarlos en esta condición hasta que sean usados. Se deberán determinar los contenidos de humedad de los agregados y conforme a estos se corregirán los pesos de los materiales para la mezcla.

El tamaño de la mezcla de prueba dependerá del equipo disponible y del número y tamaño de los especímenes a fabricar. Si las mezclas se realizan en forma manual y no se necesitan especímenes de prueba, una mezcla hecha con 4.5 kg. de cemento puede ser adecuada. Sin embargo, las mezclas de mayor tamaño producirán información más adecuada. Se recomienda el mezclado con máquina porque representa de manera más cercana a las condiciones de la obra; su uso es obligatorio si el concreto va a tener aire incluido. Se deberán usar los procedimientos de las normas **ASTM C 192**.

5.4.3. Mediciones y cálculos

Las pruebas de revenimiento, contenido de aire y temperatura deberán efectuarse en la mezcla de prueba, y también deberán desarrollarse las siguientes mediciones y cálculos:

- Peso volumétrico y rendimiento. El peso volumétrico del concreto fresco se expresa en kg/m^3. El rendimiento es el volumen de concreto fresco producido en una mezcla, y normalmente esta expresado en m^3. El rendimiento se calcula dividiendo el peso total de los materiales dosificados entre el peso volumétrico del concreto fresco. El peso volumétrico y el rendimiento se determinan de acuerdo con las normas **ASTM C 138**.
- Volumen absoluto. El volumen (rendimiento) del concreto fresco es igual a la suma de los volúmenes absolutos del cemento, agua (excluyendo a la del interior del agregado), agregados, aditivos cuando existen, y aire. El volumen absoluto se calcula a partir del peso y del peso específico del material como sigue:

$$\textit{Volumen Absoluto} = \frac{Peso.del.material}{Peso.especifico.del.material}$$

Se puede usar un valor de 3150 kg/m^3 para el peso específico del Cemento Portland. El peso específico del agua es igual a 1000 kg/m^3. El peso específico de los agregados de peso normal usualmente varía entre 2400 y 2900 kg/m^3. El peso específico del agregado que se emplea en los cálculos para el diseño de mezclas es el peso específico ya sea del material saturado y superficialmente seco o del material secado al horno. Los pesos específicos de los aditivos, tales como los reductores de agua o los materiales finamente divididos, también deberán considerarse. El volumen absoluto normalmente se expresa en m^3.

El volumen absoluto del aire dentro del concreto, expresado en m^3, es igual al porcentaje de contenido de aire dividido entre 100 (por ejemplo, 7/100) y después multiplicado por el volumen (m^3) de la mezcla del concreto.

Se puede determinar el volumen de concreto en la mezcla por alguno de los dos métodos siguientes:

1. Si se conocen los pesos específicos de los agregados y del cemento, se pueden usar para calcular el volumen del concreto.
2. Si se desconocen o varían los pesos específicos, se pueden calcular el volumen dividiendo el peso total de los materiales en el mezclador entre el peso volumétrico del concreto. En algunas ocasiones se efectúan ambas determinaciones, sirviendo la una para revisar a la otra.

SEGUNDA PARTE

ACTIVIDADES ANTES, DURANTE Y DESPUÉS DEL COLADO

6. DOSIFICACIÓN, MEZCLADO Y TRANSPORTE DEL CONCRETO

6.1. MEDICIÓN Y MEZCLADO

La meta de todos los procedimientos de medición y mezclado es producir un concreto uniforme que contenga las proporciones requeridas de los materiales. Para lograr ésto es necesario asegurarse de que:

- Que los materiales se mantengan homogéneos y no se segreguen antes o durante la medición[28].
- Que el equipo disponible mida adecuadamente las cantidades requeridas de material y que éstas puedan cambiarse fácilmente, cuando así se requiera.
- Que se mantengan las proporciones requeridas de materiales entre carga y carga.
- Que todos los materiales se introduzcan en la mezcladora en la secuencia apropiada.
- Que todos los ingredientes queden completamente entremezclados y todas las partículas de agregado completamente cubiertas con pasta de cemento, durante la operación de mezclado.
- Que el concreto, cuando se descargue de la mezcladora, deberá ser uniforme y homogéneo dentro de cada carga y de carga en carga.

El equipo de dosificación, que existe actualmente en el mercado, operará dentro de las tolerancias de peso de carga usualmente especificadas, mientras se mantenga mecánicamente en buen estado. El documento "concrete plant standards of the concrete plant manufacture's bureau" se utiliza con frecuencia para determinar la exactitud de la báscula y la dosificación. Las tolerancias que por lo general se emplean para la dosificación se proporcionan en la tabla 6.1.[29]

[28] Manual para supervisar obras de concreto, p. 59.
[29] Guía práctica para la colocación de concreto, p. 13, 14.

Tabla 6.1. Tolerancias típicas de dosificación

	Pesos de carga mayores que el 30% de la capacidad de la báscula		Pesos de carga menores que el 30% de la capacidad de la báscula	
Ingredientes	Dosificación Individual	Dosificación Acumulada	Dosificación Individual	Dosificación Acumulada
Cemento y otros materiales cementantes	± 1 % y ± 0.3% de la capacidad de la báscula, el que sea mayor		No menor que el peso requerido ni más de 4% del peso requerido	
Agua (por volumen o peso), en %	± 1	No recomendado	± 1	No recomendado
Agregados por ciento	± 2	± 1	± 2	± 0.3 % de la capacidad de la báscula ± 3% del peso acumulado requerido, el que sea menor
Aditivos (por volumen o peso), por ciento	± 3	No recomendado	± 3	No recomendado

Otros requisitos comúnmente utilizados abarcan básculas de balancín o graduaciones de escala de 0.1% de la capacidad total e intercierre de dosificación de 0.3% de la capacidad total al cero de la balanza; la cantidad de aditivo pesado nunca deben ser más pequeñas que un 0.4% de la capacidad total de la báscula excedida en 3% del peso requerido; es también muy importante el aislamiento del equipo de dosificación respecto de la vibración de la planta; la protección de los controles automáticos, librándolos del polvo y temperatura, y la frecuente comprobación y limpieza de la báscula y de los puntos de apoyo. Con buena inspección y operación de la planta, se puede esperar que el equipo de dosificación se comporte consistentemente dentro de las tolerancias requeridas.

6.2. TIPOS DE PLANTA[30]

Los factores que afectan la selección del sistema apropiado de dosificación son:

- Tamaño de la obra.

[30] Ibídem.

- Volumen / hora requerida.
- Normas de Rendimiento que se requieren en la dosificación.

La capacidad productiva de una planta se determina por una combinación de detalles tales como:

- Sistemas de manejo de materiales.
- Tamaño del silo.
- Tamaño de la tolva dosificadora.
- Tamaño y número de mezcladoras de la planta.

El equipo disponible de dosificación por peso se clasifica en tres categorías generales:

- Manual.
- Semiautomático.
- Parcialmente automático y totalmente automático.

El equipo volumétrico disponible incluye unidades portátiles o estacionarias equipadas con mezcladoras continuas o de dosificación.

6.2.1. Dosificación manual por peso

Como su nombre lo indica, todas la operaciones de pesado y dosificación de los ingredientes del concreto se controlan manualmente. Las plantas manuales son aceptables para trabajos pequeños que no requieren de grandes volúmenes de dosificación. Al incrementarse el tamaño de la obra, la automatización de las operaciones de dosificación se justifican rápidamente. Los esfuerzos para aumentar la capacidad de plantas manuales mediante dosificación rápida puede dar como resultado demasiadas inexactitudes en el peso.

6.2.2. Dosificación semiautomática por peso

En este sistema, las compuertas de las tolvas de los agregados para cargar las tolvas medidoras, se operan manualmente mediante botones o interruptores de presión. Las compuertas se cierran automáticamente cuando el peso estipulado del material se cumple. Con un mantenimiento satisfactorio de la planta, la exactitud de la dosificación se mantendrá dentro de las tolerancias indicadas en el apartado 6.1. el sistema debe de tener interruptores que impidan que la carga y descarga de la dosificadora ocurra

simultáneamente. En otras palabras, cuando la tolva pesadora se carga no se puede descargar y cuando se descarga, no puede cargarse. Es esencial la confirmación visual de la báscula para cada material que se pese.

6.2.3. Dosificación automática por peso

En este sistema la dosificación automática por peso de todos los materiales se maneja por medio de un solo control de mando. Sin embargo, hay interruptores que cortan el ciclo de la dosificación cuando el indicador de la báscula no ha regresado a ± 0.3% del cero de la báscula, o cuando se exceden las tolerancias de peso predeterminadas que se detallan en el apartado 6.1.

6.2.3.1. Dosificación automática por peso acumulado

Se requieren controles de interruptores en secuencia para este Tipo de dosificación. El pesado no empezará, y se interrumpirá automáticamente cuando las tolerancias predeterminadas dentro de cualquier secuencia de pesado, excedan los valores que se dan en el apartado 6.1. el ciclo de carga no iniciará mientras la compuerta de descarga de la tolva dosificadora este abierta, ni tampoco comenzará el ciclo de descarga de la tolva dosificadora si sus compuertas de carga están abiertas, o cuando cualesquiera de los pesos indicados para loas materiales no estén dentro de las tolerancias aplicables. Los pesos prefijados deseados para las mezclas se hacen mediante dispositivos tales como : interruptores digitales o discos rotatorios y computadoras. Los pesos determinados, el comienzo del ciclo de la mezcla y su descarga, se controlan manualmente. Los selectores para el volumen de la mezcla y dosificación, los medidores de humedad de los agregados, los compensadores de humedad del agregado fino, controlados manualmente, y los dispositivos gráficos o digitales para registrar el peso de cada material para la mezcla, constituyen el equipo suplementario que se debe exigir para el buen control de la planta. Este Tipo de sistema de dosificación proporciona mayor exactitud en la producción a alta velocidad que en el caso de los sistemas manuales o semiautomático. Se puede tener un registrador gráfico único para cada báscula o bien una serie de básculas o bien registrar simultáneamente en una sola gráfica. Además, la gráfica para cada báscula no debe ser menor que 10 cm de ancho y debe tener una línea para cada 2% de la capacidad de la báscula, pero no más de 10 líneas por cm (una línea por milímetro). La lectura del registrador debe estar de acuerdo con la lectura que se muestra en la báscula, dentro de una graduación del registrador.

Un registrados digital puede tener un aditamento único de medición para cada báscula o una serie de aditamentos de medición pueden registrar en la misma cinta o marbete. Este Tipo de registrador reproducirá la lectura de la báscula con una variación del 0.1% de la capacidad de la báscula o un incremento de cualquier dispositivo de dosificación volumétrica.

Un registrador digital de documentación de dosificación debe registrar la información sobre cada material en la mezcla junto con la identificación de la mezcla de concreto, tamaño de la dosificación e identificación de la instalación de producción. La información requerida puede ser impresa previamente, escrita o pegada en el documento. El registrador debe producir el número de documentos necesarios y puede identificar la carga por un número de conteo de la dosificación o un número de serie en el marbete.

Si el registrador se conecta con un sistema de dosificación automática debe mostrar una indicación única de que todos los sistemas de dosificación empiezan en cero.

Los registradores deben producir dos o más marbetes con los datos previamente establecidos y espacio para la identificación del trabajo o proyecto, localización de la colocación, contenido de humedad en la arena, vehículo de entrega, firma del chofer, firma del representante del comprador y la cantidad de agua agregada en el sitio del proyecto.

6.2.3.2. Dosificación individual automática por peso

Este sistema provee básculas y tolvas medidoras separadas para cada tamaño de agregado y para cada uno de los otros materiales que entran en la mezcla. El ciclo de pesado se inicia mediante un interruptor sencillo, y las tolvas medidoras individuales se cargan simultáneamente. Los interruptores para cortar los ciclos de pesado y de descarga, cuando las tolerancias se han excedido, los selectores de la mezcla, los medidores y compensadores de humedad en el agregado y los registradores, difieren solamente en detalles de los descritos para los sistemas automáticos para dosificación acumulada.

6.2.4. Dosificación volumétrica

Cuando los agregados o los materiales cementantes se dosifican por volumen el método de dosificación se considera volumétrico. Normalmente es una operación continua acoplada con un mezclado continuo. Una dosificación volumétrica exacta se obtiene al pasar el material a través de un alimentador calibrado de paletas rotatorias que lo llevan a través de una compuerta calibrada o por cualquier otro método que pueda proporcionar un volumen conocido en una unidad de tiempo calibrada.

La dosificación volumétrica es adecuada para la producción de la mayoría de los concretos, con la condición de que el equipo se opere de acuerdo con la norma ASTM C 685 y con la misma atención en los detalles que la requerida en la dosificación por peso. El equipo disponible es de gran movilidad, requiere de poco tiempo o un tiempo nulo para prepararse y con frecuencia sirve como su propio material de transporte. En muchos casos esta equipado con una mezcladora continua, que puede ser ajustada para cambiar las proporciones de la mezcla casi instantáneamente.

6.2.5. Dosificación in situ

Cabe hacer la aclaración que cuando los agregados o materiales cementantes se dosifican en la obra puede haber variaciones del peso volumétrico del 18% en peso. Por lo que se debe tener especial cuidado en los proporcionamientos.

En los países industrializados se maneja un 85% en dosificación industrializada y un 15 % en dosificación in situ, en México este porcentaje es la inversa 85% en obra y 15% industrializada.

6.2.5.1. Calibración

Cuando no se disponga de experiencia reciente con una pieza especifica del equipo o con los materiales que se vallan a usar, se requiere la calibración del equipo. La calibración debe realizarse con la norma **ASTM C 685** y las recomendaciones del fabricante.

6.3. DOSIFICACIÓN DE MATERIALES CEMENTANTES

Para una alta producción que requiera de una dosificación rápida y exacta, se recomienda que los materiales cementantes a granel se pesen con equipo automático, y no semiautomático o manual. Todos los equipos deben estar provistos de un acceso para su inspección y permitir que se tomen muestras en cualquier momento. Las tolvas medidoras se deben equipar, con dispositivos para la ventilación y/o vibradores para ayudar a lograr una suave y completa descarga del material.

Se deben utilizar las mismas tolerancias para la escala en "Cero", y por pesado, descritas en el apartado 6.1. El cemento debe ser dosificado por separado, y mantenerse a parte de todos los ingredientes antes de descargarse. Cuando se valla a dosificar cemento y Puzolana o escoria se deben usar silos separados, sin embargo pueden ser dosificados acumulativamente si el cemento se pesa primero.

Se deben tomar precauciones eficaces para evitar perdidas de los materiales cementantes al cargar la mezcladora. Para mezcladoras de planta, se debe emplear un tubo para descargar los materiales cementantes en un punto cerca del centro de la mezcladora, después de que el agua y los agregados hallan empezado a entrar en ella.

6.4. DOSIFICACIÓN DEL AGUA

Mantener uniformidad en la medición del agua para el mezclado total implica, además del peso exacto del agua añadida, un control de las fuentes de agua adicionales, como son el agua para el lavado de la mezcladora, el hielo y el agua libre en los agregados. Una de las tolerancias especificadas (**ASTM C 94**), para exactitud en la medición del agua de mezclado, es de ± 3%.

6.5. MEZCLADO Y TRANSPORTE[31]

6.5.1. Requisitos generales

Es esencial un mezclado completo para la producción de un concreto de calidad uniforme. Por lo tanto, el equipo y los métodos que se emplean deben ser capaces de mezclar con eficacia los materiales para concreto que contengan el mayor tamaño de agregado especificado, para producir mezclas uniformes con el menor revenimiento que sea práctico para el trabajo. Las recomendaciones sobre el tamaño máximo del agregado y del revenimiento que se han de emplear para diversos tipos de construcción se dan en la norma ACI 211.1 para concretos hechos con cemento de acuerdo con las normas **ASTM C 150 y C 595** y en la norma ACI 223 para concretos hechos con cementos hidráulicos expansivos de acuerdo con la norma **ASTM C 845**. Se debe proveer suficiente mezclado así como los medios para transportarlo y colocarlo, para que exista continuidad y quede libre de juntas frías.

6.5.2. Equipo para mezclado.

Las mezcladoras son o bien partes estacionarias de plantas de mezclado central o equipo portátil. Las mezcladoras de diseño satisfactorio tienen un arreglo de aspas en espiral y una forma de tambor, para asegurar de extremo a extremo el intercambio de materiales paralelo

[31] Guía práctica ... p. 19.

al eje de rotación, o un movimiento envolvente que voltea y esparce la mezcla sobre sí misma al mezclarse. Para una descripción adicional de los diversos tipos de mezcladora.

Los tipos más comunes de equipo para mezclado son:

Mezcladora de tambor basculante.

Esta es una mezcladora de tambor giratorio que descarga al inclinar el eje del tambor. En el modo de mezclado, el eje de mezclado puede estar ya sea en posición horizontal o a un cierto ángulo con respecto a la horizontal.

Mezcladora de tambor no reclinable.

Esta es una mezcladora de tambor giratorio que se carga, mezcla y descarga con el eje del tambor en posición horizontal.

Mezcladora de eje vertical.

Con frecuencia a esta mezcladora se le conoce como mezcladora de tipo turbina o de batea. El mezclado se efectúa con hojas o paletas giratorias montadas en un eje vertical, en una batea, ya sea estacionaria o que gira en dirección opuesta a las hojas. La mezcla puede ser fácilmente observada y se puede ajustar con rapidez si fuera necesario. Un mezclador rápido y un perfil general bajo son otras ventajas significativas. Esta mezcladora hace un trabajo excelente en concretos relativamente secos y con frecuencia se usa para mezclado de laboratorio y por los fabricantes de concretos.

Mezcladora de paleta.

Esta mezcladora usa hojas horizontales y es apropiada para mezclas de concreto grueso y áspero; se emplea principalmente en la producción de unidades de bloques de concreto.

Camiones mezcladores.

Actualmente existen en uso dos tipos de camiones mezcladores de tambor giratorio: de descarga posterior y de descarga frontal. Predomina la mezcladora de eje inclinado y de descarga posterior. Ambos utilizan aletas pegadas al tambor para mezclar en el concreto en el modo mezclado y las mismas aletas descargan el concreto cuando se invierte la rotación del tambor.

Equipos de mezclado continuo.

La mezcla se lleva a cabo por medio de una aspa en espiral que gira a velocidades relativamente altas en el interior de una artesa encerrada inclinada de 15 a 25 grados de la horizontal.

6.5.3. Concreto de mezclado central.

El concreto de mezclado central se mezcla por completo en una mezcladora estacionaria y luego se transporta a otra unidad del equipo para su transportación. Este equipo de transporte puede ser un camión de premezclado que opera como un agitador, o un camión con la parte superior abierta, con o sin agitador. La tendencia del concreto a segregarse limita la distancia a la que puede ser transportado en equipos que no tengan un agitador.

A veces la mezcladora central mezclara parcialmente el concreto por lo que el mezclado y transporte finales se realizaran en un camión mezclador de tambor giratorio. Este proceso con frecuencia se llama "mezclado de contracción". El volumen total que el camión puede manejar se limita al 63% del volumen del tambor.

6.5.4. Concreto mezclado en camiones.

El mezclado en camiones es un proceso por el cual los materiales de concreto previamente proporcionados desde una planta de dosificación, se cargan en un camión de premezclado para el mezclado y entrega al sitio de la construcción. A fin de obtener un mezclado completo el volumen total absoluto de los ingredientes dosificados en un camión mezcladora de tambor giratoria no debe exceder el 63% del volumen del tambor (véase **ASTM C 94**).

6.5.5. Carga y mezclado.

El método y la secuencia de carga de las mezcladoras es de gran importancia para determinar si el concreto estará apropiadamente mezclado.

Para las mezcladoras de planta central es esencial obtener un efecto de precombinación o premezclado, al tiempo que el chorro de materiales fluye dentro de la mezcladora.

En los camiones mezcladores todos los procedimientos de carga deben ser diseñados de modo que se evite el amontonamiento del material, particularmente arena y cemento, en la cabeza del tambor durante la carga. La probabilidad del amontonamiento disminuye si se coloca al rededor del 10% del agregado grueso y agua en el tambor de la mezcladora antes de la arena y el cemento.

El manejo del agua merece atención especial, generalmente se debe agregar alrededor de 1/4 a 1/3 al extremo de descarga del tambor y después de que todos los ingredientes han sido cargados. Las tuberías para cargar el agua deben ser de diseño apropiado y de

tamaño suficiente, de manera que el agua entre bien en la mezcladora y termine de introducirse dentro de un 25% inicial del tiempo de mezclado.

Mezclado central.

Los procedimientos para la carga de las mezcladoras centrales son menos restrictivos que los necesarios para camiones mezcladores. Esto se debe a que no se carga una mezcladora central de tambor giratorio tan llena como un camión mezclador y la acción del mezclado y agitación con paletas es bastante diferente. En un camión mezclador muy poca acción de envolvimiento, en comparación con la que hay en una mezcladora estacionaria. Sin embargo, el tamaño de la mezcla no debe exceder la capacidad nominal del fabricante, señalada en la placa de la mezcladora.

El tiempo del mezclado se debe basar en la capacidad de la mezcladora para producir un concreto uniforme en cada mezcla y mantener la misma calidad en las mezclas siguientes. Las recomendaciones del fabricante y las especificaciones usuales, tales como un minuto por tres cuartos de metro cubico, mas un cuarto de minuto por cada metro cubico adicional de capacidad, pueden utilizarse como guías satisfactorias para establecer el tiempo inicial de mezclado. Sin embargo los tiempos de mezclado que se determine emplear se deben basar en los resultados de las pruebas de efectividad de la mezcladora que se practiquen a intervalos regulares mientras dure la obra (ASTM C 94).

El tiempo de mezclado se debe medir a partir del momento en que todos los ingredientes estén dentro de la mezcladora.

Mezclado en camiones.

Generalmente se especifican de 70 a 100 revoluciones a velocidad de mezclado cuando la mezcla se hace en los camiones. Con secuencias de cargas óptimas, muchos camiones/mezcladores son capaces de producir concreto uniformemente mezclado en 30 a 40 revoluciones.

La norma **ASTM C 94** limita el número total de revoluciones a un máximo de 300, esto es con el fin de evitar el molido de agregados suaves, la pérdida de revenimiento, el desgaste de la mezcladora y otros efectos indeseables en el concreto en clima caliente.

El mezclado final se puede hacer en el patio del productor, en la ruta hacia el proyecto, o más comúnmente, en el sitio del proyecto.

Si transcurre un tiempo adicional después del mezclado y antes de la descarga la velocidad del tambor se reduce a la velocidad de agitación o se detiene. Luego, antes de la descarga, la mezcladora se debe operar a velocidad de mezclado por aproximadamente 30 revoluciones para aumentar la uniformidad.

Extendiendo el tiempo de transportación.

Estos procedimientos con frecuencia se llaman "Dosificación en seco" y se desarrollaron para los largos tramos de acarreo y para demoras inevitables en la colocación, tratando de posponer el mezclado del cemento con el agua. Sin embargo, cuando el cemento y el agregado húmedo entran en contacto uno con otro, la humedad libre en el agregado da como resultado algo de hidratación en el cemento; por lo tanto los materiales no se deben mantener, de esta manera indefinidamente.

En un método los materiales secos se dosifican en el camión de premezclado y se transportan en el sitio de la obra en donde se agrega toda el agua de mezclado. El agua se debe agregar bajo presión preferentemente, tanto en la parte frontal como en la posterior del tambor girando éste a velocidad de mezclado y después el mezclado se completa con las 70 a 100 revoluciones usuales. El volumen total de concreto que se puede transportar en los camiones/mezcladoras por este método es el mismo que para el mezclado regular en camiones, 63% del volumen del tambor (véase **ASTM C 94**).

Agua

La cantidad de agua que se requiere para la apropiada consistencia (revenimiento) del concreto, se ve afectada por factores tales como magnitud y velocidad del mezclado, la distancia del transporte, el tiempo de descarga y las condiciones de temperatura ambiente. En clima fresco, o para distancias cortas y entregas rápidas, rara vez existen problemas de pérdida o variación en el revenimiento, requerimientos excesivos de agua de mezclado, y problemas de descargas, manejo y colocación. Sin embargo, esto puede suceder cuando la velocidad de entrega es lenta o irregular, las distancias de transporte son largas y el clima es caluroso. La pérdida de trabajabilidad en clima cálido bien puede minimizarse si se hace más expedita la entrega y la colocación y se controla la temperatura del concreto. También puede ser deseable el uso de un retardante para prolongar el tiempo en que el concreto responda a la vibración después de ser colocado. Cuando sea factible, toda el agua de mezclado se debe dosificar en la planta central. Sin embargo, en clima caluroso con frecuencia será deseable retener parte del agua de mezclado hasta que la mezcladora llegue a la obra. Con la adición del agua que falte se requerirán de otras 30 revoluciones a velocidad de mezclado para incorporar adecuadamente el agua adicional a la mezcla.

Agua de lavado

La mayoría de los productores encuentra necesario enjuagar las aletas traseras entre una carga y otra, efectuándose el lavado y la descarga total de la mezcladora únicamente al final del día. En clima cálido y en diseños de mezcla poco usuales puede ser necesario el lavado y la descarga del agua de lavado después de cada carga. No se debe permitir que el agua

de lavado permanezca en la mezcladora a menos que se pueda compensar con exactitud en la dosificación subsecuente. Las regulaciones del control de la contaminación hacen cada vez más difícil el lavado después de cada carga, y han generado interés en sistemas para volver a usar tanto el agua de lavado como los agregados de concreto devueltos.

La Norma **ASTM C 94** describe el rehuso del agua de lavado con base en pruebas prescritas. Es necesaria una atención particular cuando se usen aditivos, ya que las dosis requeridas pueden cambiar dramáticamente. Cuando se use agua de lavado, los aditivos se deben dosificar en una cantidad limitada de agua limpia o en arena húmeda.

6.5.6. Descarga

Las mezcladoras deben ser capaces de descargar concreto del revenimiento más bajo que llegare a requerir la construcción en que se trabaja y sin segregación (separación del agregado grueso del mortero). Antes de descargar el concreto transportado en camiones/mezcladores, el tambor debe girar nuevamente a velocidad de mezclado por aproximadamente 30 revoluciones para remezclar posibles puntos atascados en la mezcla cerca del extremo de la descarga.

6.5.7. Funcionamiento de la mezcladora.

El funcionamiento de las mezcladoras generalmente está determinado por una serie de pruebas de uniformidad hechas sobre muestras tomadas de dos o tres puntos dentro de la mezcladora de concreto, después de que ha sido mezclado por un cierto periodo de tiempo. Los requisitos del funcionamiento de las mezcladoras se basan en diferencias permisibles de los resultados de pruebas de muestras tomadas de dos puntos cualquiera o entre puntas individuales y el promedio de todos los puntos.

6.5.8. Otros métodos de transporte

El transporte de concreto también se realiza por métodos de bombeo y mediante banda transportadora (véase ACI 304). Se ha usado la entrega por medio de helicópteros en áreas difíciles de alcanzar, donde otros equipos de transporte no podrían ser usados. Este sistema usualmente emplea uno de los otros métodos para transportar el concreto hasta el helicóptero, el cual eleva entonces el concreto en un bote ligero hasta el área de colocación.

7. COLOCACIÓN Y MANEJO DEL CONCRETO[32]

La colocación de concreto se efectúa con recipientes, tolvas, carretillas propulsadas a mano o con motor, conductos o tubos de caída, bandas transportadoras, bombeo, tubo, embudo y equipo para pavimentar.

7.1. PLANEACIÓN

Un requisito básico en todo lo que se refiere al manejo del concreto es que tanto la calidad como uniformidad del concreto se deben conservar en términos de la relación agua/cemento, revenimiento, contenido de aire y homogeneidad. La selección del equipo se debe basar en su capacidad para manejar eficientemente el concreto en las condiciones más ventajosas, de tal modo que pueda ser fácilmente consolidado en su lugar mediante vibración. No es recomendable emplear equipo en el que sea necesario ajustar las proporciones de la mezcla fuera de los límites recomendados por el ACI 211.1.

Una planeación anticipada debe asegurar una provisión adecuada y consistente del concreto. Se debe prever suficiente capacidad de colocación, de manera que el concreto se mantenga plástico y libre de juntas frías mientras se coloca. Todo el equipo para la colocación debe estar limpio y en buen estado. También, se debe arreglar de modo que el concreto se entregue en su posición final sin segregación objetable. Así mismo el equipo debe estar dispuesto, adecuada y apropiadamente de modo que la colocación se desarrolle sin tardanzas indebidas, y la mano de obra debe ser la suficiente como para asegurar la apropiada colocación, consolidación y acabado del concreto. Si el concreto ha de ser colocado en la noche, el sistema de iluminación debe ser suficiente para iluminar el interior de las cimbras y para proporcionar un lugar seguro de trabajo.

La colocación del concreto no debe empezar cuando exista probabilidad de temperaturas de congelación, a menos que se haya previsto instalaciones adecuadas para la protección contra el frío (véase ACI 306R). Se debe tener a la mano equipo para el rápido comienzo del curado o para la aplicación de compuestos de sellado (véase ACI 308). En los casos en que sea práctico, es ventajoso tener comunicaciones por radio o por teléfono entre el sitio de las colocaciones más importantes y la planta de mezclado y dosificación, a fin de controlar mejor los programas de entrega y evitar retrasos excesivos y desperdicios de concreto.

[32] Guía práctica ..., p. 25.

Es aconsejable que el concreto se entregue en el sitio a un ritmo uniforme compatible con el equipo y la mano de obra que se estén usando en los procesos de colocación y acabado. Cuando una interrupción en el proceso del vaciado del concreto constituya un problema, se debe considerar el aprovisionamiento de equipo de apoyo.

Se debe realizar una inspección final detallada de los cimientos, juntas de construcción, cimbras, tapajuntas, refuerzo, y otros detalles de la colocación del concreto, antes de que se coloque. Es necesario desarrollar un método para documentar tal inspección y éste deberá ser aprobado por todas las partes interesadas antes del comienzo del trabajo. Todos estos detalles se deben examinar cuidadosamente para asegurarse que coinciden con los planos, especificaciones y con una práctica correcta.

7.2. REFUERZO Y PIEZAS AHOGADAS

Al momento de colocar el concreto, el acero de refuerzo y las piezas ahogadas deben estar limpias y libres de lodo, aceite u otros recubrimientos que pudieran afectar adversamente la capacidad de adherencia. La mayor parte del acero de refuerzo, está cubierto ya sea con escamas o herrumbre de cierta severidad; tales recubrimientos se consideran satisfactorios a condición de que la herrumbre y las escamas sueltas sean removidas y que las dimensiones mínimas del acero no sean menores que las requeridas en el ACI 318.

Se debe tener cuidado en asegurarse de que todo el acero de refuerzo sea del tamaño y longitud apropiadas y de que sea colocado en la posición correcta y empalmado de acuerdo con los planos. Debe mantenerse un recubrimiento adecuado de concreto al acero de refuerzo.

No habrá necesidad de retirar el recubrimiento de mortero de las piezas ahogadas mientras en pocas horas se complete una colada, pero el mortero seco suelto sobre piezas ahogadas que se proyecten para futuras coladas se deberá retirar antes de colocar otras coladas.

El método de mantener tapajuntas en las cimbras debe asegurar que no existe deformación ni produzca cavidades durante el colado del concreto.

Las varillas y las piezas ahogadas se deben mantener en la posición apropiada por medio de soportes y amarres convenientes para evitar desplazamientos durante el colado del concreto. A veces se usan bloques de concreto para soportar el acero de refuerzo. Más comúnmente se emplean silletas metálicas con o sin extremos protegidos con plástico. Cualquiera que sea el sistema empleado, se debe tener la seguridad de que los apoyos también son los adecuados para soportar las cargas esperadas antes y durante la

colocación y que no manchará las superficies de concreto expuesto, que no desplazará cantidades excesivas de concreto ni permitirá que las varillas se muevan de su posición.

En algunos casos, cuando se esté colando concreto reforzado, puede ser ventajoso tener una persona competente que atienda el ajuste y la corrección de la posición de cualquier refuerzo que pudiera ser desplazado. Los ingenieros en estructuras deben identificar las áreas críticas en donde tal supervisión adicional podría ser ventajosa.

7.3. COLOCACIÓN.

7.3.1. Precauciones.

El equipo debe disponerse de tal manera que el concreto tenga una caída vertical libre hasta el punto de colado o hasta el interior del contenedor que lo reciba. El chorro de concreto no debe separarse, permitiendo que caiga libremente sobre varillas, espaciadores, refuerzos u otros materiales ahogados. Si la cimbras están suficientemente abiertas y libres, de manera que no estorben la caída vertical del concreto en el lugar de colocación, generalmente es preferible la descarga directa y sin el empleo de tolvas, conductos o vertedores. El concreto debe ser depositado en o cerca de su posición final durante su colocación, ya que presenta la tendencia a segregarse cuando tiene que hacerse fluir lateralmente hasta su lugar.

Si se desea colocar concreto de manera monolítica en una viga peraltada, muro o columna con una losa o marco, se debe programar una demora que permita el asentamiento del concreto inferior antes de colocar el concreto de la losa o marco. El tiempo de demora dependerá de la temperatura y las características del fraguado de concreto que se emplee, generalmente alrededor de una hora, pero la colocación se debe empezar lo suficientemente pronto como para permitir la liga de la capa nueva con la anterior por medio de vibración.

7.3.2. Equipo

Al elegir el equipo de colocación se debe considerar su capacidad para colocar el concreto en el sitio correcto de manera económica y sin alterar su calidad.

La selección del equipo es influenciada por el método de producción del concreto. Ciertos tipos de equipo, tales como cubetas, tolvas, carretillas, etc., serán mejores para producción

intermitente, mientras que otros equipos, como bandas transportadoras y bombas, son más apropiados para producción continua.

7.3.2.1. TOLVAS DE SECCIÓN CIRCULAR Y RECTANGULARES.

Las tolvas de sección circular con descarga en la parte inferior, diseñadas apropiadamente, permiten la colocación del concreto con el menor revenimiento practico, compatible con la consolidación mediante vibración. Esta tolva de sección circular debe ser del Tipo de autolavado en el momento de la descarga y el flujo de concreto debe empezar al abrirse la compuerta de descarga. Las compuertas de descarga deben tener una salida libre que equivalga a, por lo menos, cinco veces el tamaño máximo del agregado que se emplee. Las paredes laterales deben ser inclinadas, por lo menos, 60 grados con respecto a la horizontal.

El control de la tolva y de su compuerta de descarga se deben hacer de tal manera que asegure, en lo posible, un chorro continuo de concreto descargado contra el concreto previamente colocado. El amontonamiento de concreto por las descarga de las tolvas demasiado cerca de la superficie o mientras están en movimiento, da lugar a causas comunes de segregación.

A fin de evitar la contaminación, el concreto derramado no se debe palear de nuevo hacia dentro de las tolvas para su uso posterior y el concreto recién terminado se debe proteger evitando balancear las tolvas directamente sobre él.

A fin de agilizar el programa de colocación, se recomienda el uso de dos o más tolvas por cada grúa.

7.3.2.2. Carretillas manuales o motorizadas ("buggies")

Las carretillas deben correr sobre vías lisas y rígidas apoyadas independientemente y bien colocadas sobre el acero de refuerzo. El concreto transportado por estas carretillas tiende a segregarse durante el movimiento. El entarimado debe juntarse a tope en vez de traslaparse, para mantener una superficie lisa y evitar así la separación de los materiales del concreto durante el tránsito.

La distancia máxima de entrega horizontal recomendada para transferir el concreto por medio de carritos manuales es de 60 mts y para los motorizados de 300 mts. Los carritos manuales varían en capacidad desde 0.2 m^3 con una capacidad de colocación que varía de 2 a 4 m^3 por hora los carritos motorizados están disponibles en tamaños de 0.3 m^3, con una

capacidad de colocación que va de 11 a 15 m^3 por hora, dependiendo de la distancia recorrida.

7.3.2.3. Canalones y tubos de caída

Los canalones se emplean con frecuencia para trasladar concreto de elevaciones superiores a inferiores. Deben ser de fondo curvo, construidos o forrados de metal y tener suficiente capacidad para evitar derrames. La inclinación debe ser constante y suficiente para permitir que el concreto del revenimiento requerido en el sitio fluya continuamente por el canalón sin segregarse.

Es necesario controlar el flujo del concreto en el extremo del canalón para evitar la segregación .

Los tubos de caída que se emplean para trasladar verticalmente el concreto desde niveles altos son circulares. El tubo debe tener un diámetro de, por lo menos, 8 veces el tamaño máximo del agregado. Debe ser firme, a plomo, y colocarse de tal manera que el concreto caiga verticalmente.

Se pueden usar tubos de caída de plástico o de hule o tubo - embudos ("tremies") y recortarse en lugar de elevarlos a medida que progresa la colocación. Al emplear tubos de caída de plástico, hay que asegurarse de que no se doblen o arruguen.

7.3.2.4. Concreto bombeado

El concreto bombeado se puede definir como concreto transportado mediante presión a través de tubos rígidos o mangueras flexibles apropiadas.

Este procedimiento se puede emplear en casi todas las construcciones de concreto, pero es especialmente útil donde el espacio o el acceso para el equipo de construcción son limitados.

Las bombas de concreto varían de pequeñas unidades con presiones de bomba de 17 a 21 kg7cm^2 y entregas de 11 a 23 m^3/h hasta grandes unidades que ejercen presiones de más de 70 Kg/cm^2 sobre el concreto y tienen un potencial de entrega de hasta 115 m^3/h. La mayoría de las bombas montadas en camiones, que están equipadas con plumas de colocación operada hidráulicamente, se articula o se reduce y extiende para colocar el concreto donde se necesita.

Equipo de bombeo

- Bombas de pistón

- Bombas neumáticas
- Bombas de presión "squeeze"

El rango de revenimiento utilizado para bombeo normal es de 12-14.

7.3.2.5. Equipos de pavimentación

El empleo de mezcladoras grandes, esparcidoras de alta capacidad y pavimentadoras de cimbra deslizante, hace posible la pavimentación con grandes volúmenes de concreto a un ritmo acelerado. Para una pavimentación bien lograda, se requiere la mayor parte de los mismos principios de control de calidad que se usan en otras formas de colocación de concreto. Debido a la velocidad de la colocación, los procedimientos rutinarios de inspección necesitan ser más frecuentes, de modo que las desviaciones halladas que no cumplan con los requisitos para una calidad aceptable se puedan corregir con rapidez.

Algunos de los problemas más frecuentes que pueden afectar negativamente la calidad deseada en la pavimentación también se comparten con otros Tipos de colocación; por ejemplo, poca uniformidad de mezclado de mezcla a mezcla, variaciones en el revenimiento y en el contenido de aire y distribución inadecuada del mortero en el agregado durante la colocación. La colocación del concreto con equipo de pavimentación se trata en ACI 316.

7.3.2.6. Cimbras deslizantes

Según este método, el concreto se coloca en cimbras prefabricadas, que se deslizan más allá del punto de colocación tan pronto como el concreto ha logrado la estabilidad y rigidez necesarias para conservar su forma de diseño.

Para el empleo de cimbras deslizantes, se requiere un control cuidadoso y consistente del concreto con ajustes apropiados en el mezclado, tomando en cuenta los cambios en la temperatura ambiental.

7.4. COMPACTACIÓN[33]

7.4.1. Generalidades

La compactación, también llamada consolidación, es el proceso que se sigue para eliminar el aire atrapado en el concreto fresco en la cimbra. Son varios los métodos y técnicas

[33] Compactación del concreto, ACI 309 R-87.

aplicables y su elección depende, ante todo, de la trabajabilidad de la mezcla, de las condiciones de colado y del grado de desaereación deseado.

7.4.2. Trabajabilidad y consistencia

La trabajabilidad del concreto recién mezclado es la propiedad que determina la facilidad y homogeneidad con la cual puede mezclarse, colocarse, compactarse y acabarse. La trabajabilidad puede dividirse en tres aspectos principales:

- Estabilidad (resistencia al sangrado y segregación).
- Compactabilidad (facilidad de remover el aire atrapado).
- Movilidad o fluidez, afectada por la viscosidad y cohesión del concreto y el ángulo de fricción interna.

La trabajabilidad se ve afectada por la granulometría, la forma de las partículas y la proporción de los agregados, el contenido de cemento, el uso de aditivos químicos o minerales, el contenido de aire y de agua de la mezcla.

La consistencia es la movilidad relativa o capacidad de flujo del concreto recién mezclado. También determina, en gran parte, la facilidad con que puede consolidarse el concreto.

Descripción de la Consistencia	Revenimiento en cm.	Tiempo Vebe seg.
Extremadamente seca	-	32 a 18
Muy rígida	-	18 a 10
Rígida	0 a 2.5	10 a 5
Rígida Plástica	2.5 a 7.5	5 a 3
Plástica	7.5 a 12.5	3 a 0
Altamente Plástica	12.5 a 20	-
Fluida	más de 20	-

7.4.3. Métodos de consolidación

7.4.3.1. Métodos manuales de consolidación

Debido a la acción de la gravedad sobre el concreto , se logra cierta compactación al depositarlo en las cimbras. Esto se observa especialmente en mezclas fluidas, para las que se requiere muy poco esfuerzo de compactación adicional.

Las mezclas plásticas o más fluidas pueden compactarse mediante varillado (insertando una varilla de apisonamiento u otra herramienta adecuada dentro del concreto). En ocasiones se aplica el paleado para mejorar las superficies en contacto con la cimbras; esto es; se inserta y se saca repetidas veces una herramienta plana, similar a una pala, en sitios adyacentes a la cimbra; las partículas gruesas se empujan fuera de la cimbra y esto facilita el movimiento de los huecos de aire y las bolsas de agua hacia la superficie, por lo tanto se reduce el número y tamaño de burbujas en la superficie del concreto.

El apisonamiento manual puede usarse para consolidar mezclas rígidas. El concreto se coloca en capas delgadas y cada capa se apisona cuidadosamente. Este es un método de consolidación muy efectivo, pero laborioso y costoso.

Los métodos de consolidación manual generalmente se usan solo en colocaciones pequeñas de concreto no estructural.

7.4.3.2. Métodos mecánicos de consolidación

El método de compactación más empleado en la actualidad es el vibrado. El vibrado es un método especialmente adecuado para las consistencias más rígidas, propias de los concretos de alta calidad. El vibrado puede ser tanto interno como externo.

Los compactadores de potencia pueden emplearse para compactar concretos rígidos en unidades prefabricadas. Además de su efecto de apisonamiento, proporcionan una vibración de baja frecuencia que ayuda a la compactación.

Las varillas de apisonamiento operadas en forma mecánica son adecuadas para compactar las mezclas rígidas empleadas en algunos productos prefabricados, incluyendo los bloques de concreto.

Los equipos que aplican elevadas presiones estáticas sobre la superficie de concreto, pueden emplearse para compactar losas delgadas de consistencia plástica o fluida,. En este caso, el concreto se exprime prácticamente dentro de la cimbra, obligando a salir el aire atrapado y parte del agua de mezclado.

La centrifugación (girado) puede compactar concretos de revenimiento moderado y elevado, que suelen utilizarse en la fabricación de tuberías, pilotes, postes y otras secciones huecas de concreto.

Existen muchos vibradores de superficie para construcción de losas, incluyendo reglas vibradoras, rodillos vibradores, apisonadoras vibradoras de placa o de rejilla, así como herramientas vibradoras para acabado.

Las mesas de impacto también llamadas de golpeteo, son adecuadas para compactar concreto de bajo revenimiento. El concreto se deposita en capas delgadas (colados delgados) dentro de moldes resistentes. Conforme se van llenando los moldes, se levanta a poca altura y se deja caer sobre una base sólida. Al detener bruscamente la caída libre del molde con concreto, el impacto provoca que este se compacte para formar una masa densa. La frecuencia varía en el rango de 150 a 200 caídas/minuto, siendo la caída libre entre 3 y 13 mm.

7.4.4. Equipo

7.4.4.1. Vibradores internos

Llamados con frecuencia vibradores de corto alcance o vibradores hurgadores, tienen una cabeza vibradora, que se sumerge en el concreto y actúa en forma directa sobre el. En la mayoría de los casos los vibradores internos dependen del efecto enfriador del concreto que los circunda para evitar el sobrecalentamiento todos los vibradores internos que se utilizan en la actualidad son de tipo rotatorio. Los impulsos vibratorios emanan de la cabeza del vibrador en ángulo recto.

Los tipos de vibradores internos son:

- Tipo de flecha flexible.
- Vibrador de motor eléctrico en la cabeza.
- Vibradores neumáticos.
- Vibradores hidráulicos.

Para la selección de un vibrador interno el requisito principal es su efectividad para compactar el concreto; debe de tener un radio de acción adecuado y ser capaz de licuar y deshacer con rapidez el concreto. En lo posible, el vibrador debe de ser de operación confiable, de peso ligero, fácil de manejar y manipular y resistente al uso.

7.4.4.2. Vibradores externos

Pueden clasificarse a su vez en vibradores para cimbras, vibradores de superficie y mesas vibradoras.

Los *vibradores para cimbra* son vibradores externos fijados al lado exterior de la cimbra o el molde. Hacen vibrar la cimbra la que a su vez transmite las vibraciones al concreto, los vibradores para cimbra son autoenfriantes. Pueden ser de tipo rotatorio o de acción vertical.

Una *mesa vibradora*, consiste, por lo general, en una mesa de acero o de concreto reforzado con vibradores externos montados en el marco de soporte. La mesa y el marco están aislados de la base mediante resortes de acero, en paquetes aislantes de neopreno u otros medios.

Los *vibradores superficiales* se aplican a la superficie superior y consolidan el concreto de arriba hacia abajo manteniendo el concreto enfrente de ellos. Su efecto nivelador ayuda a la operación de acabados. Se usan principalmente en la construcción de losas y existen tres tipos principalmente : vibrador de llana, apisonadores vibradores de placa o de rejilla y vibrador de rodillos.

7.4.5. Control de calidad

Una buena compactación es el resultado de:

- Buenas especificaciones.
- Buen diseño relativo a la geometría y el acero de refuerzo.
- Buen proporcionamiento de la mezcla.
- Uso del equipo adecuado y mantenimiento del mismo a fin de mantenerlo en buenas condiciones de servicio.
- Procedimientos de campo adecuados. Los trabajadores deben entender el por qué están consolidando el concreto y las consecuencias que acarrearía hacerlo de manera equivocada.
- Procedimientos de control de calidad implementados por el contratista.
- Una supervisión completa y pruebas para probar que se hayan seguido los procedimientos adecuados.

7.5. CIMBRAS[34]

Cualquier cimbra, independientemente de su tamaño, debe planearse totalmente antes de ser construida. La cantidad de trabajo de planeación dependerá del tamaño, complejidad e importancia de la misma (considerando sus posibilidades de reutilización). Es necesario analizar el diseño de todas las cimbras; así mismo, la estabilidad y el pandeo son aspectos importantes que deben investigarse en todos los casos.

[34] Guía para el diseño y la construcción de cimbras, ACI 347-R94.

7.5.1. Diseño de cimbras

Las cimbras se fabrican con muchos y distintos materiales, utilizando las normas de diseño más usuales para cada material. Cuando la estructura de concreto se vuelve parte del sistema de cimbrado de soporte, como ocurre en el caso de cimbrado de edificios de varios pisos es importante que el diseñador de la cimbra se de cuenta de que el concreto ha sido comúnmente diseñado para funcionar según el método de resistencia.

La cimbra debe ser diseñada de modo que las losas de concreto los muros y otros elementos tengan las dimensiones, formas, alineamientos y posiciones correctas, dentro de las tolerancias establecidas. Igualmente, el cimbrado se debe diseñar, de modo que proporcione un soporte seguro a las cargas verticales y laterales que podrían aplicarse hasta el momento en que puedan ser soportadas por la estructura de concreto.

Las cargas verticales y laterales deben transferirse al terreno por medio del sistema de cimbrado, o por medio de la construcción in - situ que tenga la resistencia adecuada para hacerlo. La responsabilidad del diseño del cimbrado corresponde al contratista o al ingeniero contratado por aquel para que diseñe y sea el responsable del cimbrado.

7.5.2. Construcción

Los procedimientos de construcción deben planearse por adelantado para garantizar la seguridad del personal y la integridad de la estructura terminada. Algunas de las previsiones de seguridad que deben de tenerse en cuenta son:

- Instalación de señales de seguridad y barricadas a fin de mantener al personal no autorizado fuera de las áreas en las cuales se este llevando a cabo la colocación del concreto o del descimbrado.
- Proveer observadores de cimbras experimentados durante la colocación del concreto para asegurar el reconocimiento temprano de desplazamientos o fallas posibles de la cimbra.
- Tener una provisión extra de puntales, materiales y equipo que pudieran necesitarse en caso de emergencia.
- Adecuada iluminación del cimbrado.
- Incluir puntos para levantamiento en el diseño y detallado de todas las cimbras que se van a manejar con grúa. Esto es de especial importancia en cimbras volantes o cimbras de escalamiento. En el caso de cimbras para muros debe ponerse especial atención a un andamio independiente atornillado al colado previo.

- Incorporación de andamios, plataformas de trabajo y barandas de seguridad en el diseño del cimbrado y en todos los planos del mismo.
- Un programa para inspección en el campo sobre la seguridad de cimbrado.
- Los travesaños, polines y puntales deben empalmarse adecuadamente.
- Las juntas o empalmes de los forros, los paneles de triplay y los travesaños, deben estar escalonados.
- Los puntales deben instalarse a plomo con apoyos y refuerzos adecuados
- deben usarse separadores y tirantes o grapas para cimbras de tamaño y capacidad adecuados.
- Todos los separadores y tirantes o grapas para cimbra deben instalarse y apretarse como se especifica. Todas las cuerdas o roscas deben ajustarse completamente a las tuercas o coples.
- Las cimbras deben ajustarse suficientemente para evitar la pérdida de mortero del concreto.
- Pueden necesitarse agujeros o ventanas en cimbras de muros o en otro tipo de cimbras angostas para facilitar la colocación del concreto.

7.5.3. Materiales

La selección de los materiales adecuados para el cimbrado debe basarse en la economía del contratista, y debe ser consistente con la seguridad durante la construcción y la calidad que se requiere en el trabajo terminado. La aprobación del ingeniero o arquitecto si así se establece en los documentos del contrato, debe basarse en la calidad del trabajo terminado.

Al seleccionar y usar los materiales se deben de considerar los siguientes puntos:

- Resistencia.
- Rigidez.
- Desprendimiento.
- Reutilización y costo por uso.
- Características de la superficie.
- Resistencia al daño mecánico.
- Facilidad de trabajarse en el corte, taladro y unión de sujetadores.

- Adaptabilidad al clima y a condiciones extremas.
- Peso y facilidad de manejo.
- Estabilidad y precisión dimensional.

7.6. COLADO

Después que se han completado las operaciones de dosificación y mezclado, para obtener un concreto satisfactorio se requiere lo siguiente:

1. Transportación, colocación y consolidación sin segregación; la consolidación debe ser lo suficientemente completa para llenar todas las partes de la cimbra, a fin de eliminar las bolsas de aire y de agregados para así formar una fuerte adherencia con el acero y el concreto adyacentes.
2. Mantener la calidad requerida del concreto, especialmente la uniformidad.
3. Un curado apropiado.

El éxito final de las operaciones de concreto involucra la preparación del sitio, la supervisión de la planta de dosificación, la transportación al sitio, el manejo del concreto en el sitio, y el cuidado después de la colocación.

7.6.1. Actividades antes del colado[35]

1. Revisión de las especificaciones del proyecto.
2. Estudio de las normas y reglamentos oficiales aplicables.
3. Estudio y revisión general de los planos del proyecto.
4. Revisión de los detalles estructurales y constructivos del proyecto.
5. Elección de los materiales, diseño, medición y mezclado del concreto.
6. Diseño, revisión, detallado, refuerzo y construcción de cimbras.
7. Especificaciones respecto al descimbrado.
8. Especificaciones de las juntas de construcción estructurales.
9. Revisión de la colocación, grado y tipo del acero de refuerzo.

[35] Apuntes Ing. Rafael Ramírez Alvarez.

10. Revisión y colocación de las instalaciones generales del proyecto con relación al proceso constructivo.
11. Revisión de las cargas de la construcción.
12. Previsión del equipo de construcción y seguridad para el colado.
13. Reuniones previas al colado para cada grupo de trabajo.
14. Especificaciones del curado y protección del concreto.

7.6.2. Actividades durante el colado

1. Control de la hora inicial de mezclado.
2. Revenimiento como medida del control de la consistencia.
3. La consistencia como medida de la colocación y trabajabilidad en el colado.
4. Homogeneización y su transporte.
5. Colocación del concreto (botes, carretillas, bandas, canalones, bombas, tubo tremie, lanzado, extruido).
6. Temperaturas ambientales extremas.
7. Compactación y vibrado (uso adecuado de vibradores y pistones).
8. Conocimiento de los tiempos de fraguado final e inicial del concreto en la obra ... en este rango se tiene la carta de presentación del constructor ... la calidad de los acabados.
9. Velocidad del viento - temperatura alta.
10. Inspección del comportamiento de las cimbras.
11. Aplicación de los acuerdos de las reuniones previas.

7.6.3. Actividades después del colado

1. Reparación, detallado, nivelación y alineamiento de superficies.
2. Protección del concreto.
3. Aplicación de los métodos de curado ... Los reglamentos exigen 7 días continuos como mínimo en concretos normales.
4. Supervisión de las actividades del laboratorio de verificación de calidad.

5. Manejo y supervisión de las juntas frías.
6. Aplicación y construcción de juntas de aislamiento, expansión y contracción del concreto.
7. Supervisión del semidescimbrado, descimbrado y apuntalamiento.
8. Manejo y actualización de la bitácora.
9. Evaluación del cumplimiento de la calidad.

7.6.4. Condiciones del sitio

- ❑ No se debe de dar comienzo a las operaciones a menos que se hayan cumplido los requisitos del contrato.
- ❑ Se debe revisar la secuencia de colocación planeada.
- ❑ No vacíe el concreto en algunos lugares hasta que haya transcurrido el período especificado para permitir el asentamiento, el endurecimiento, o el enfriamiento del concreto previamente colado.
- ❑ La entrega del concreto no debe ser tan rápida que resulte difícil o imposible la colocación y la consolidación.
- ❑ Verifique todo el equipo para una operación apropiada, y tenga a la mano suficiente equipo para asegurar la continuidad en la colocación.
- ❑ Asigne personal suficiente para el trabajo.

7.6.5. Manejo del concreto

El supervisor del colado es responsable de:

- ❑ La transportación.
- ❑ La Colocación.
- ❑ La consolidación.
- ❑ El acabado.
- ❑ El curado del concreto.

Se debe verificar:

- Los contadores de revoluciones en los camiones mezcladores, el mínimo normalmente es de 70 a 100 revoluciones a velocidad de mezclado.
- Los tanques de agua, que estén llenos cuando se descargue el concreto.
- La etiqueta de dosificación de cada camión revolvedor y verifique que la etiqueta esté apropiadamente firmada.

7.6.6. Colocación

Los métodos apropiados de colocación evitarán el desplazamiento de las cimbras y el refuerzo y asegurarán una firme adherencia entre las capas, y minimizarán el agrietamiento por contracción, y producirán una estructura de buena apariencia.

7.6.7. Colado correcto

- De ser posible mantenga la continuidad sin demoras indebidas. En caso de haberlas proteja la superficie del concreto que más tarde recibirá concreto fresco proporcionándole sombra y recubriéndolo con una arpilleria mojada, particularmente durante condiciones de clima caliente, seco o con viento. Un rociado de neblina es otro método apropiado antes de que se reanude la colocación.
- No camine sobre el concreto fresco o el refuerzo, ni permita otras actividades que afecten la uniformidad, el acabado o adherencia.
- En los trabajos de losas anchas procure plataformas sobre las que se pueda caminar y que cubran todo el ancho de la losa para evitar cualquier tipo de perturbación en el concreto recién colado.
- Tome datos de las mediciones antes, durante y después del colado del concreto. Los asentamientos lentos con frecuencia pasan inadvertidos y la excesiva deflexión o asentamientos de los ademes durante y después de la colocación es un signo de perturbación.

Incluya las provisiones para hacer los ajustes de los ademes.

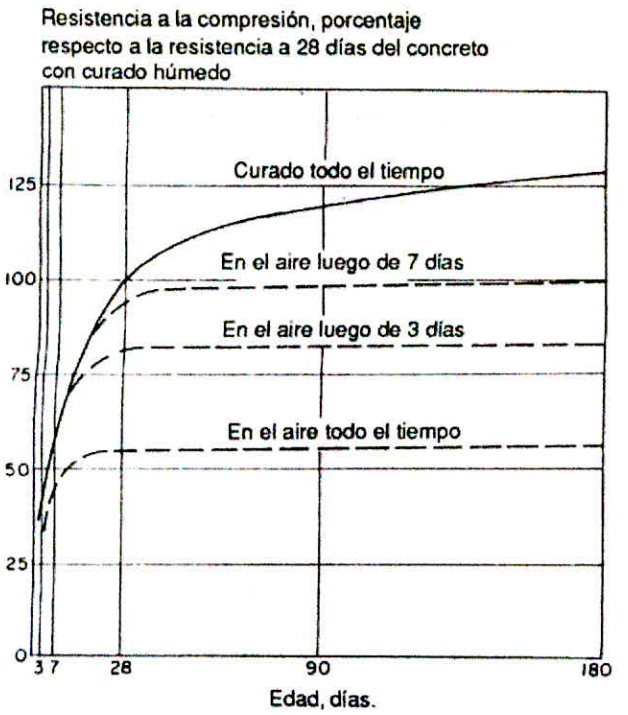
8. CURADO Y PROTECCIÓN

8.1. CURADO DEL CONCRETO[36]

El curado consiste en el mantenimiento de contenidos de humedad y temperaturas satisfactorios en el concreto durante un período definido inmediatamente después de la colocación y acabado, con el propósito que se desarrollen las propiedades deseadas. Nunca se exagerará al enfatizar la necesidad de un curado adecuado. El curado tiene una gran influencia sobre las propiedades del concreto endurecido como lo son la durabilidad, resistencia, hermeticidad, resistencia a la abrasión, estabilidad volumétrica, y resistencia a la congelación y deshielo y a las sales para descongelar. Las superficies sujetas a la exposición son especialmente sensibles al curado, pues el desarrollo de la resistencia en la superficie puede llegar a reducirse de manera importante cuando el curado es defectuoso.

Al mezclar cemento portland con agua, se lleva a cabo la reacción química denominada hidratación. El grado hasta el cual esta reacción se llegue a completar, influye en la resistencia, la durabilidad y en la densidad del concreto. La mayoría de los concretos frescos contienen una cantidad de agua considerablemente mayor a la requerida para que tenga lugar la hidratación completa del cemento; sin embargo, cualquier pérdida de agua apreciable por evaporación o por otra manera retrasará o evitará la completa hidratación. Si la temperatura es favorable, la hidratación es relativamente rápida los primeros días después de haber colado el concreto; es importante que el agua sea retenida durante este período, es decir, que se impida o que al menos se reduzca la evaporación.

[36] Manual del supervisor ..., p. 93.



Incrementos de resistencia en el concreto

8.2. OBJETIVOS

Los objetivos del curado son:

1.- Prevenir (o reaprovisionar) la pérdida de humedad del concreto.

2.- Mantener una temperatura favorable en el concreto durante un período definido.

Con un curado adecuado, el concreto se volverá mas fuerte, impermeable, y resistente a los esfuerzos, a la abrasión, congelación y deshielo. La mejora es inmediata en las edades tempranas, aunque continúa dándose más lentamente durante un periodo indefinido.

El método de mayor efectividad para curar concreto depende de las circunstancias. Para la mayoría de los trabajos, el curado normal resulta adecuado, pero en algunos casos, como ocurre en los climas cálidos y en los climas fríos, se requiere de cuidados especiales.

Cuando se interrumpe el curado húmedo, el desarrollo de resistencia continúa presentándose durante un periodo corto y se detiene luego que la humedad relativa interna

del concreto cae a aproximadamente 80%. Sin embargo, si el curado húmedo se reanuda, el desarrollo de resistencia será reactivado. Aunque se puede restaurar concreto en el laboratorio, es difícil hacerlo en el campo. Por eso lo mejor es curar continuamente al concreto desde el momento en que es colado hasta que haya adquirido la suficiente resistencia mecánica, impermeabilidad, y resistencia a la abrasión, a la congelación y al deshielo, y al ataque químico.

La pérdida de agua también va a provocar que el concreto se contraiga, creando así esfuerzos de tensión en el concreto. Si estos esfuerzos se presentan antes que el concreto haya adquirido la resistencia a la tensión adecuada, se podría tener como resultado agrietamientos superficiales. Todas las superficies expuestas, incluyendo los rebordes y las juntas que queden expuestos, deberán protegerse contra la evaporación de la humedad.

Cuando la temperatura del concreto es baja, la hidratación avanza a una velocidad mucho menor. Las temperaturas inferiores a los 10° C son desfavorables para el desarrollo de la resistencia a edad temprana; debajo de los 4.5° C el desarrollo de la resistencia a edad temprana se retrasa en gran medida; y a temperaturas de congelación o por debajo de ellas, hasta los -10° C, el desarrollo de resistencia es mínimo o nulo.

En años recientes se ha introducido el concepto de madurez para evaluar el desarrollo de la resistencia cuando existe una variación en la temperatura de curado del concreto. La madurez se define como el producto de la edad del concreto y de su temperatura de curado promedio por encima de una cierta temperatura base. Se deduce que debe protegerse al concreto de manera tal que su temperatura se mantenga favorable para la hidratación y que no se pierda humedad durante el periodo inicial de endurecimiento.

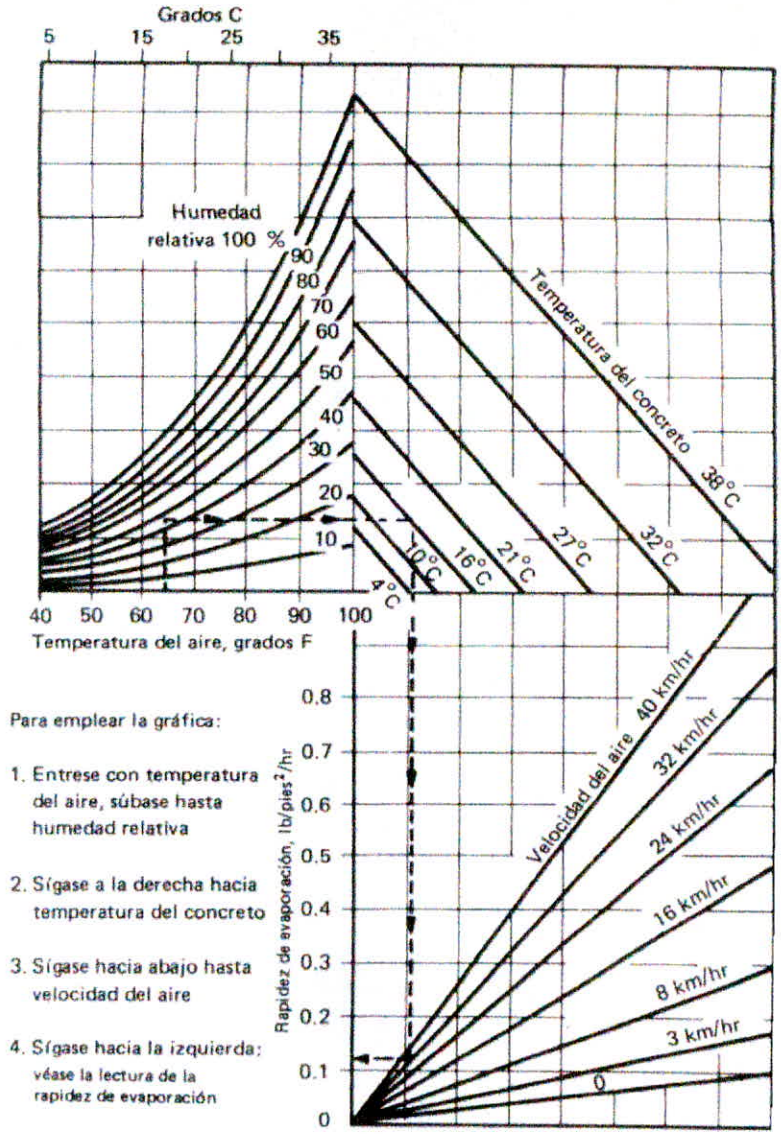


Fig. 8.2. Efecto de las temperaturas del concreto y del aire, de la humedad y de la velocidad del aire, sobre la rapidez de evaporación de la humedad de la superficie del concreto

8.2.1. Métodos y materiales de curado.

El concreto puede mantenerse húmedo (y en ciertos casos a temperatura favorable) con el uso de tres métodos de curado:

1. Métodos que mantengan la presencia de agua de mezclado en el concreto durante el periodo inicial de endurecimiento. Entre éstos se incluye al estancamiento o inmersión, al rociado y a las cubiertas húmedas saturadas. Estos métodos proporcionan un cierto enfriamiento a través de la evaporación, lo cual es benéfico en climas cálidos.
2. Métodos que evitan la pérdida del agua de mezclado del concreto sellando la superficie. Esto se puede lograr cubriendo al concreto con papel impermeable o con hojas de plástico, o aplicando compuestos de curado que formen membranas.
3. Métodos que aceleren la ganancia de resistencia suministrando calor y humedad adicional al concreto. Esto se logra normalmente con vapor directo, serpentines de calentamiento, cimbras o almohadillas calentadas eléctricamente.

El método o la combinación de métodos elegida dependerá de factores tales como la disponibilidad de los materiales de curado, el volumen y forma del concreto, las instalaciones de producción (en obra o en planta), la apariencia estética, y la economía.

8.3. ACABADOS

La calidad de una superficie de concreto se juzga en gran medida por la condición y apariencia de la superficie acabada. Las superficies expuestas están sujetas a condiciones (que van de benignas a severas) de humedecimiento o secado, cambios de temperatura y desgaste mecánico.

Además la mayoría de las superficies de concreto están sujetas a agrietamiento debido a excesiva contracción por secado. Para mejorar estas condiciones, el concreto debe contener la mezcla apropiada sin excesivo contenido de agua, estar apropiadamente consolidada y acabada, y correctamente curada el tiempo especificado, de acuerdo con el ACI 302-IR.

8.4. CAMBIOS DE VOLUMEN[37]

Es de utilidad analizar las obras de concreto, la comprensión de la naturaleza de ciertos cambios pues el concreto cambia ligeramente su volumen debido a varias razones. Si el concreto estuviera libre de todas la restricciones para deformarse, los cambios normales de volumen tendrían consecuencias mínimas; pero como el concreto en servicio normalmente queda restringido por las cimentaciones, las subrasantes, el refuerzo, o los miembros conectores, se pueden llegar a desarrollar esfuerzos de consideración. Lo anterior es particularmente cierto con los esfuerzos a tensión.

En ocasiones se desarrollan grietas, pues el concreto es relativamente débil a la tensión aunque muy resistente a la compresión. Los esfuerzos elevados y los agrietamientos se pueden evitar o minimizar si se controlan las variables que afectan los cambios de volumen. Cuando se permita que el concreto reforzado se agriete o cuando no se pueda evitar el agrietamiento, en el diseño estructural se deberá considerar los anchos de grietas tolerables. (Tabla 8.4)

Tabla 8.4. Anchos de grietas tolerables para concreto reforzado

Condición de Exposición	Ancho de grieta tolerable, mm.
Secado al aire o membrana protectora.	0.41
Humedad, aire húmedo, suelo.	0.30
Productos químicos descongelantes.	0.10
Agua de mar y brisa de agua de mar.	0.15
Estructuras de retención de agua	0.10

[37] Diseño y control de mezclas de concreto, p. 167.

9. CONTROL DE CALIDAD

9.1. REQUISITOS DE CALIDAD PARA CONCRETO HIDRÁULICO NXM C 155

9.1.1. Resistencia

Cuando la resistencia es la base de la aceptación del concreto, se deben elaborar especímenes de acuerdo con la NMX C 160.

El número de muestras debe estar de acuerdo con lo indicado en el inciso 9, que considera para la prueba de resistencia como mínimo dos especímenes a la edad especificada, de la muestra según la NMX C 161.

El resultado de la prueba debe ser el promedio de las resistencias obtenidas en los especímenes, excepto que si en alguno de ellos se observó una deficiencia de muestreo, elaboración, manejo, curado o prueba, no se toman en cuenta y el promedio de las resistencias de los especímenes restantes debe ser considerado como el resultado de la prueba.

El que se obtenga una resistencia inferior a la especificada, no es motivo para rechazar el espécimen.

Para cumplir los requisitos de resistencia de esta Norma, con un nivel de confianza del 98% los resultados de las pruebas de resistencia, deben cumplir con los requisitos que se indiquen.

9.1.1.1. Grado A

El concreto debe cumplir con lo siguiente:

- ◊ Se acepta que no más del 20% del número de pruebas de resistencia a compresión tengan valor inferior a la resistencia especificada f'c. Se requiere de un mínimo de 30 pruebas.
- ◊ No más del 1 % de los promedios de 7 pruebas de resistencia a compresión consecutiva será inferior a la resistencia especificada.

9.1.1.2. Grado B

El concreto debe cumplir con lo siguiente:

◊ Se acepta que no más del 10% del número de pruebas de resistencia a compresión, tengan valores inferiores a la resistencia especificada. Se requiere un mínimo de 30 pruebas.

◊ No más 1% de los promedios de 3 pruebas de resistencia a compresión consecutiva, será inferior a la resistencia especificada.

De acuerdo con los métodos comunes de diseño, es recomendable utilizar concreto grado A , cuando se diseñe por el método de esfuerzos de trabajo, pavimentos y usos generales y concreto de grado B, cuando se diseñe por el método de resistencia última, para concreto presforzado y para estructuras especiales.

9.1.2. Revenimiento

En caso de que el revenimiento sea inferior al límite especificado, se puede aceptar el concreto si no existen dificultades para su colocación.

Cuando se llegue al lugar de la obra y el revenimiento del concreto sea menor que el solicitado incluyendo su tolerancia, el fabricante puede agregar agua para obtener un revenimiento dentro de los límites requeridos, mezclando adicionalmente para cumplir con los requisitos especificados. Para lo cual la olla o las aspas deben girar 30 revoluciones adicionales como mínimo a la velocidad de mezclado.

El revenimiento del concreto debe estar dentro de los valores permisibles, durante los primeros 30 minutos, medidos a partir de que llega a la obra, a excepción del primer y último medio m^3. El período máximo de espera en el sitio de entrega es de 30 minutos a la velocidad de agitación.

En el momento de la entrega, la aceptación o rechazo del concreto, debe hacerse en base a la prueba de revenimiento.

9.2. PRUEBAS PARA CONTROLAR LA CALIDAD DEL CONCRETO

Para que tanto las construcciones en que se emplea concreto como su posterior comportamiento resulten satisfactorios, se requiere que el concreto posea ciertas propiedades específicas. El control de calidad y las pruebas son parte indispensable del proceso constructivo porque confirman que se están obteniendo las propiedades antes mencionadas. La experiencia y el buen juicio deberán apoyarse en la evaluación de las pruebas y en la estimación de su importancia con respecto al comportamiento último del concreto.

9.2.1. Clases de pruebas

En general, las especificaciones para el concreto y para los materiales que lo componen dan requisitos detallados en cuanto a los límites de su aceptabilidad. Estos requisitos pueden afectar :

- Las características de la mezcla, tales como el tamaño máximo del agregado o el contenido mínimo de cemento.
- Las características del cemento, agua, agregados y aditivos;
- Las características del concreto fresco[38]:
  1. Estabilidad volumétrica.
  2. Durabilidad.
  3. Módulo de elasticidad.
  4. Resistencia a la compresión simple.
  5. Grado de calidad (Reglamento de Construcción).
  6. Edad de Endurecimiento.
  7. Permeabilidad.
  8. Resistencia al desgaste por abrasión.
  9. Peso volumétrico.
  10. Módulo de ruptura.
  11. Fluencia plástica.
  12. Contracción con la edad.
  13. Reacción álcali - agregado.
  14. Adherencia con el acero.

[38] Apuntes del Ing. Rafael Ramírez Alvárez.

15. Reacción con aluminio y acero de alto carbono.
16. Características especificas.

- Las características del concreto fresco[39]:
  1. Consistencia.
  2. Aspecto.
  3. Tamaño máximo del agregado.
  4. Granulometría continua o discontinua.
  5. Tipo de cemento.
  6. Calidad de los agregados.
  7. Calidad del agua de concreto.
  8. Tipo de aditivos.
  9. Fraguado inicial y final del concreto.
  10. Contracción plástica.
  11. Sangrado y segregación.
  12. Revibración.
  13. Tixotropia.
  14. Peso volumétrico del concreto fresco.
  15. Contenido de aire incluido.
  16. Temperatura del concreto fresco.

Los cementos se prueban para verificar su conformidad con los estándares establecidos a fin de evitar cualquier comportamiento anormal como lo sería la presencia de endurecimientos prematuros, fraguados retrasados o resistencias bajas en el concreto.

La prueba de los agregados tiene dos objetivos fundamentales: Primero, determinar la adecuación del material para su uso en el concreto, incluyéndose las pruebas de abrasión, sanidad, peso específico, y análisis petrográficos y químicos; segundo, para asegurar la uniformidad, como son las pruebas para control de humedad y de granulometría de los agregados. Algunas pruebas se emplean para ambos propósitos.

Las pruebas para concreto se hacen con la finalidad de evaluar el comportamiento de los materiales disponibles, establecer las proporciones de las mezclas, y controlar la calidad del concreto en el campo incluyen: revenimiento, contenido de aire, peso volumétrico y resistencia. Las pruebas de revenimiento, contenido de aire y resistencia se exigen normalmente en las especificaciones de proyecto para el control de calidad del concreto, en

[39] Ibídem

tanto que la prueba para determinar el peso volumétrico se usa más para el proporcionamiento de mezclas.

La norma Mexicana **NMX C 155-1987**, hace referencia a los métodos de prueba que se deben utilizar y que se indican en las siguientes normas:

- NMX C 83-88 Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto.
- NMX C 109-85 Cabeceo de especímenes, cilíndricos.
- NMX C 156 Determinación del revenimiento.
- NMX C 157-88 Determinación del contenido de aire de concreto fresco por el método de presión.
- NMX C 160-86 Elaboración y curado en obra de especímenes de concreto.
- NMX C 161-87 Muestreo de concreto.
- NMX C 162-85 Determinación del peso unitario, cálculo del rendimiento y contenido de aire del concreto fresco por el método gravimétrico.

Tabla 9.1.1. Requisitos de uniformidad de mezclado del concreto

Prueba	Diferencia máx. Permisible entre resultados de prueba con muestras de 2 porciones diferentes de la descarga *.
1. Masa volumétrica (NMX C 162 en Kg/m^3)	15
2. Contenido de aire en % del volumen del concreto (NMX C 157) para concretos con aire incluido.	1
3. Revenimiento.	
- Si el revenimiento promedio es menor de 6 cm.	1.5
- Si el revenimiento promedio está comprendido entre 6 y 12 cm.	2.5
Si el revenimiento promedio es superior a 12 cm.	3.5
4. Contenido del agregado grueso retenido en la criba G 4.75, expresado en % de la masa de la muestra.	6
5. Promedio de la resistencia a la compresión a 7 días de edad de cada muestra **, expresado en % (NMX C 83).	10

* Las dos muestras para efectuar las determinaciones de esta tabla deben obtenerse de dos porciones diferentes tomadas al principio y al final de la descarga. (Principio: del 10 al 15%; final: del 85 al 90% del volumen).

** La aprobación tentativa de la mezcladora puede ser otorgada antes de obtener los resultados de la prueba de resistencia.

9.2.2. Frecuencia de las pruebas

La frecuencia de las pruebas es un factor importante en la efectividad del control de calidad del concreto. La frecuencia de las pruebas de los agregados y del concreto en las instalaciones típicas que trabajan por mezclas dependerá en gran medida de la uniformidad

de los agregados, incluyendo su contenido de humedad. Al principio será recomendable realizar las pruebas varias veces al día, aunque muchas veces se podrá reducir la frecuencia conforme el trabajo vaya avanzando.

Normalmente las pruebas de humedad se efectúan una o dos veces por día. Por la mañana la primera carga de agregado fino a menudo se encuentra demasiado humedad porque durante la noche la humedad se desplaza hasta el fondo del depósito de almacenamiento. A medida que el agregado fino se va sacando del fondo, el contenido de humedad se debe estabilizar en un nivel menor y se puede realizar la primera prueba de humedad. Luego de unas cuantas pruebas, los cambios en el contenido de humedad pueden juzgarse con exactitud razonable con la vista y la percepción. Las pruebas subsecuentes normalmente serán necesarios sólo cuando un cambio sea aparente a simple vista.

Las pruebas de revenimiento deberán efectuarse para la primera mezcla de concreto cada día, siempre que la consistencia del concreto parezca variar, y siempre que se fabriquen cilindros para pruebas a compresión en el sitio.

Las pruebas de contenido de aire deberán hacerse en el punto de entrega con la frecuencia suficiente para asegurarse que el contenido de aire sea el adecuado, particularmente cuando varíen la temperatura y la granulometría del agregado. Es deseable una prueba de contenido de aire para cada muestra de concreto con la que se fabriquen cilindros ; también se deberá llevar un registro de la temperatura de cada muestra de concreto.

El número de pruebas de resistencia que se haga dependerá de las especificaciones del trabajo y de la ocurrencia de variaciones. Las especificaciones del Reglamento de construcciones para concreto reforzado del ACI, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318)", indican que para cada clase de concreto colado por día deberán hacerse pruebas de resistencia no menos de una vez al día, y no menos de una vez por cada 465 m^2 de superficie de losas o muros. Para cada prueba se requiere tomar la resistencia promedio de dos cilindros. Se pueden llegar a necesitar especímenes adicionales cuando se trabaje con concretos de alta resistencia o cuando los requerimientos estructurales sean críticos. Los especímenes deberán curarse en el laboratorio. Las especificaciones pueden exigir que se fabriquen especímenes adicionales y se curen en campo, casi de igual manera que para el concreto en la estructura. Para proporcionar una indicación anticipada del desarrollo de la resistencia, a menudo se elabora y prueba un cilindro a 7 días, junto con los dos cilindros de prueba a 28 días. Como regla práctica, la resistencia a 7 días aproximadamente es 60 a 75% de la resistencia a los 28 días, dependiendo del tipo y cantidad de cemento, relación agua - cemento, temperatura de curado así como otras variables.

9.3. PROCESO DE CALIDAD DE UNA OBRA DE CONCRETO

1. Elección y análisis de los materiales componentes.
2. Conocimiento de las propiedades del concreto.
3. Especificaciones de construcción del concreto.
4. Diseño de mezclas de concreto.
5. Dosificación y medición de las mezclas de concreto.
6. Mezclado de concreto fresco.
7. Transporte del concreto fresco.
8. Colocación y manejo del concreto fresco.
9. Compactación y vibrado del concreto fresco.
10. Nivelación y acabado final del concreto.
11. Protección y curado del concreto endurecido.
12. Descimbrado y apuntalamiento del concreto endurecido.
13. Detallado final del concreto endurecido.

El control, la verificación y la supervisión en cada etapa, es igual a la calidad de la obra de concreto, con todos sus beneficios o perjuicios.

10. PROCEDIMIENTOS DE SUPERVISIÓN Y ORGANIZACIÓN

10.1. NECESIDADES DE SUPERVISIÓN

La razón de ser de la supervisión es la necesidad de garantizar el cumplimiento exacto de lo estipulado en los planos y especificaciones de los documentos contractuales. (Los supervisores que no representen directa o indirectamente al propietario de la obra, tendrán otras responsabilidades que se describen más adelante).

El concepto de supervisión como se usa en el campo de la construcción con concreto, incluye no sólo observaciones y mediciones de campo sino también pruebas de laboratorio, con obtención y análisis de sus resultados. De manera similar, el término supervisor se aplica también en muchos casos a individuos clasificados como técnicos de laboratorio encargados de efectuar las pruebas, especialmente en la obra.

Una responsabilidad importante del supervisor de concreto consiste en verificar la calidad de los materiales, procesos y sistemas constructivos utilizados en la cadena siguiente:

A veces se pueden utilizar fuentes de materiales de baja calidad, en especial como agregados, para producir concreto de calidad satisfactoria, siempre que sean mejorados o adecuadamente procesados. Sin embargo, los componentes finales utilizados en la mezcla de concreto deben ser de la calidad especificada. Resulta difícil y rara vez posible el producir concreto satisfactorio a partir de materiales inadecuados.

Por otra parte, el principal ingrediente para una construcción de concreto específica, es una buena mano de obra en cada una de sus etapas y operaciones. El verificar esto constituye la mayor responsabilidad del supervisor de concreto. Se sabe que la mayoría de los buenos concretos contiene: cemento probado y certificado, agregados sanos, durables, de buena granulometría y adecuadamente probados, aditivos apropiados, y agua pura y limpia que son los mismos buenos materiales que se usan en la mayoría de los concretos inadecuados.

Las habilidades manuales, la preparación técnica, la motivación y orgullo del trabajo bien hecho contribuyen a una mano de obra de calidad, que es la verdadera clave para lograr construcciones de concreto de buena calidad. Los trabajadores de las cuadrillas de colado pueden haber recibido algún tipo de capacitación pero rara vez es la adecuada. Muchos obreros se enorgullecen de su trabajo y se esfuerzan realmente en obtener una calidad satisfactoria. Sin embargo la necesidad de no exceder el presupuesto previsto con frecuencia implica prestar atención a la producción y si prevalece este criterio, normalmente se descuida la calidad. La ironía de esto consiste en que la búsqueda indiscriminada de mayor producción, puede subir costos y retrasar el programa ya que muchas de las técnicas de colado rápido implican una o más de las siguientes condiciones: mayor costo de materiales, operaciones adicionales en el acabado o su reparación y aumento en el tiempo de curado.

El reto de la calidad ha llevado al establecimiento de empresas de supervisión que vigilen y controlen el campo de la construcción de concreto. La siguiente cita proporciona un ejemplo del modo de pensar y de los problemas concernientes a la construcción de estructuras de concreto que se tiene desde tiempos remotos:

"..... ni hay obra que requiera más cuidado que aquélla que debe soportar la acción del agua; por esta razón, todas las etapas del trabajo, deben hacerse exactamente de acuerdo con las reglas del arte, que todos los obreros conocen, pero que pocos cumplen".

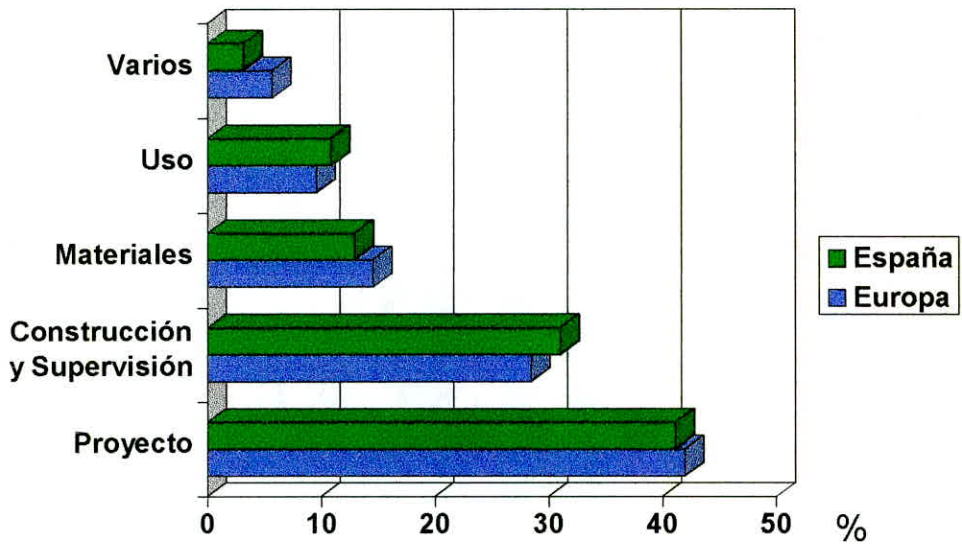
Así escribió Sexto Julio Frontinus, comisionado de aguas de Roma en el año 97. Esto nos muestra que los tiempos han cambiado pero el problema aun existe.

Jacob Feld, uno de los investigadores más notables de fallas estructurales, menciona ejemplos en su libro Lessons from Frailures of Concrete Structures, para mostrar que en un

alto porcentaje, las fallas en estructuras por él investigadas, se debieron en gran medida a la mala construcción; en otras palabras, a la mala mano de obra. Por esto escribió:

"La supervisión competente y estricta, parece ser la clave de la respuesta al problema de cómo prevenir fallas". Y posteriormente agregó: "De estas fallas se puede concluir que para que sea una buena construcción de concreto deberá someterse a una supervisión estricta ... Se cree que sólo mediante este grado de supervisión es posible evitar la falla de las estructuras de concreto".

De acuerdo a un estudio estadístico realizado por el Instituto Técnico de Materiales y Construcciones[40], los materiales tienen una incidencia relativamente baja en la producción de fallos en comparación con el proyecto y la ejecución.



Por cada colapso estructural importante hay innumerables casos de fallas menores, si se definen éstas como el incumplimiento de los requisitos del diseño. Esto es particularmente aplicable a lo que se refiere a apariencia, durabilidad, impermeabilidad y otras cualidades deseables.

[40] J. Calavera, Patología de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado, tomo 1, INTEMAC, España, p. 13-23

Pero se requiere aun algo más que todo lo anterior para asegurar un buen trabajo en concreto. Hace cincuenta años el conocido autor F. R. Mc Millen, ya desaparecido, lo dijo en el prólogo a la primera edición de su famoso libro "Concrete Primer":

"Muchos interesados en la obtención de un mejor concreto han sentido la dificultad de hacer cualquier progreso real hasta que alguien con autoridad se convence de que se puede tener buen concreto, de que debe tenerse y de que una vez convencido, notifica que tiene que lograrse".

10.2. IMPORTANCIA DE LAS ESPECIFICACIONES

Los documentos del diseño constituyen el criterio básico que rige las decisiones y acciones del supervisor y por lo tanto es fundamental contar con los planos y especificaciones completos, claros y oportunos. (Aunque el supervisor no es responsable de los documentos del diseño para el proyecto que supervisa, puede colaborar a la obtención de mejores resultados, retroalimentando a los diseñadores con sugerencias pertinentes los cambios que se puedan aplicar en su caso en los documentos contractuales subsecuentes.) La mayoría de las controversias en el proyecto, provienen de las diferencias en la interpretación de los documentos contractuales, producto de indefiniciones o información incompleta. Los documentos del diseño no necesitan ser muy extensos pero si completos, concisos y claramente redactados.

10.3. DESARROLLO DE EMPRESAS DE SUPERVISIÓN

Las empresas de supervisión actuales se desarrollaron a partir de las establecidas originalmente en el pasado por dependencias gubernamentales con el propósito de supervisar las operaciones de los contratistas que construían para la dependencia como propietaria. Algunas veces tal supervisor degeneraba convirtiéndose en una relación antagónica entre el supervisor y el personal del contratista. Reconociendo que todos se benefician de un trabajo bien hecho, la supervisión actual se ha convertido en un esfuerzo conjunto entre el supervisor y el personal que controla la calidad por parte del contratista. En tiempos remotos la supervisión con frecuencia se realizaba en una forma tan profunda y detallada que el contratista consideraba innecesario y redundante el realizar revisiones y pruebas como parte del control de las operaciones. Al utilizar fechas se ha invertido la tendencia y se está procurando revolver la responsabilidad de la supervisión y de las pruebas al contratista, que es quien debe hacerlo.

10.4. CLASIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Los alcances y responsabilidades de la supervisión en la construcción de concreto, se han diversificado y ampliado de tal forma que en la actualidad se puede contratar a empresas de supervisión con alguno de estos objetivos:

1. Representar al propietario de la estructura en construcción y garantizar que reciba en obra lo que está pagando por ella.
2. Garantizar el cumplimiento de planos y especificaciones, elaborando los documentos que certifiquen dicho cumplimiento.
3. Representar al constructor, como miembro de su equipo y realizar las funciones de supervisión de las operaciones como parte del programa de control de calidad. Esto contribuye a garantizar que el producto terminado cumplirá los requerimientos de los documentos del diseño y que por lo tanto será recibido por el representante del propietario.
4. Actuar como miembro del equipo de algún fabricante o proveedor de materiales o productos de concreto para la industria de la construccion en general, mas que para algún proyecto específico. Tal es el caso de las fábricas de cemento, productores de agregados, premezcladoras de concreto y plantas de precolados o presforzados. En este caso la participación es similar a la descrita en el punto 2, colaborando para garantizar que los productos terminados satisfacen los requerimientos de los documentos del diseño para algún proyecto específico.
5. Representar a organismos gubernamentales (oficina de peritos, oficina de licencias de construcción, etc.) encargados de hacer cumplir los reglamentos de construcción. En este caso, los supervisores tendrán como responsabilidad únicamente el verificar que la estructura terminada cumpla con las normas y reglamentos vigentes.

10.5. ORGANIZACIÓN DE LA SUPERVISIÓN

Independientemente de su clasificación, un equipo de supervisión puede estar formado por varias personas o una sola en proyectos muy pequeños, llegando inclusive a dedicar tiempo parcial a un proyecto específico. La supervisión (incluyendo las pruebas) puede ser responsabilidad de grupos tales como los siguientes:

1. Grupo de supervisión dependiente del propietario. Un ejemplo lo constituyen los equipos permanentes o semipermanentes de las dependencias gubernamentales o de las grandes industrias que tienen programas continuos de construcción.
2. Grupo de supervisión dependiente de una empresa comercial de diseño (de ingeniería y arquitectura) para trabajar en los proyectos diseñados por la misma.
3. Grupo de supervisión de un laboratorio comercial contratados para dar servicios de pruebas y supervisión.
4. Grupo de supervisión que forma parte del personal del contratista y está enterado para proporcionar la supervisión de control de calidad (como parte del proceso) en los proyectos que la empresa construye.
5. Grupo de supervisión que forma parte del personal de un proveedor de la industria de la construcción y está entrenado para proporcionar (como parte del proceso) las pruebas y supervisión que requiere el control de calidad interno.

10.6. RESPONSABILIDADES DEL SUPERVISOR

10.6.1. Como representante del propietario

(supervisión para la recepción).

Para protección del propietario y público en general, la responsabilidad de la supervisión debe recaer en el proyectista, como una extensión de su responsabilidad de diseño. Este puede cumplir con esa responsabilidad en persona a través de empleados o delegándola en una empresa de supervisión elegida directamente por él.

En los caso en que el propietario proporciona los servicios de ingeniería, él debe elegir a la empresa de supervisión. Los honorarios por supervisión deben ser un concepto independiente y pagarse directamente por el propietario al diseñador o a la empresa de supervisión. Como en última instancia la responsabilidad final de la supervisión recae en el diseñador, se deberá mantener una estrecha vigilancia sobre cualquiera de las partes que realice operaciones de supervisión. En ningún caso la supervisión de recepción o de pruebas de laboratorio podrá ser realizada por el contratista o por alguien bajo su responsabilidad, salvo cuando así lo indique la legislación vigente o el propietario considere que en esa forma quedan mejor protegidos sus intereses. Además, por tratarse de servicios profesionales, la selección del supervisor deberá hacerse en función de experiencia.

El diseñador debe evitar la mala costumbre de incluir los honorarios de supervisión, de recepción y de pruebas de laboratorio como parte del contrato del constructor y que él paga al supervisor y al laboratorio. Esta práctica no se considera favorable a los intereses del propietario ya que hace más difícil en estas circunstancias un servicio profesional e imparcial y, en última instancia, el propietario indirectamente acaba pagándolos, muchas veces aumentados por el cargo de indirectos.

10.6.2. Como representante del contratista

La supervisión y pruebas de laboratorio denominadas como supervisión de control de calidad o supervisión como parte del proceso la realiza personal del contratista ya sea el de planta o el contratado específicamente para un proyecto. En algunos contratos particularmente con dependencias gubernamentales, se exige al contratista el establecimiento de un programa formal de control de calidad con un mínimo de pruebas y revisiones.
Aunque no sea requisito contractual, muchos contratistas tienen establecidos programas de control de calidad cuyas pruebas y revisiones las realiza personal que no es de línea y que reporta directamente a la dirección. El costo de estos programas representa generalmente una pequeña fracción de los ahorros obtenidos por la reducción de los rechazos y disminución de reparaciones y reposiciones. A veces este trabajo de supervisión no constituye una labor independiente sino que es realizado por personal de línea como una parte automática y rutinaria de su proceso de producción.

La supervisión realizada a nombre del contratista sobre todo por exigencia contractual, normalmente es más detallada que la hoy usada para recepción. El personal del contratista realizara revisiones más minuciosas de nivel, línea y limpieza de cimbra, posición de varillas, limpieza de la cimbra y de otros elementos ahogados, etc. Aunque no sea requisito contractual el contratista con frecuencia la utiliza como un seguro contra el rechazo de algún elemento complejo que pudiera tener altos costos de reparación o reposición. Si estas revisiones no estuvieran a cargo de un equipo formal de control de calidad, deberán ser llevadas a cabo por los maestros o jefes de cuadrilla del contratista.

Cuando las especificaciones exigen al contratista una supervisión muy intensa con muchas pruebas de laboratorio, no es conveniente que el propietario reduzca o elimine su propia supervisión, ya que el programa de supervisión de control de calidad del contratista se convertiría en un programa de supervisión para recepción y perdería su eficacia. Las objeciones serían las mismas que se establecieron anteriormente contra la costumbre de que los pagos de supervisión y de laboratorio se hagan a través del contratista que a nombre del propietario.

Cuando el propietario exige que el contratista tenga un programa de control de calidad el propietario debe mantener revisiones formales para recepción de calidad que le garanticen el cumplimiento de los objetivos del programa de control de calidad.

10.6.3. Como representante de el proveedor

Estos programas funcionan en forma paralela a los del contratista y sus características varían dependiendo de los requisitos contractuales y del control de calidad del proveedor.

10.6.4. Como representante de organismos gubernamentales reguladores

La supervisión normalmente la realizan empleados permanentes de la dependencia. El nivel de supervisión es generalmente menor que en los casos anteriores, por lo que un supervisor puede vigilar muchos proyectos en forma simultánea, visitando los pequeños solo una vez y en los medianos y grandes verificando la supervisión realizada por otros.

10.7. OBLIGACIONES DEL PERSONAL DE SUPERVISIÓN.

Aunque la técnica de supervisión sea la misma, las acciones específicas y el enfoque pueden variar para los diferentes equipos de supervisión involucrados de un proyecto. El personal de la supervisión que representa al propietario a menudo hará hincapié al producto terminado, en los componentes en el momento de cargar la revolvedora y en las pruebas de concreto tanto en estado fresco como ya fraguado. Por otra parte, el personal de supervisión de control de calidad del contratista pondrá atención en la revisión de los procesos de producción de los materiales y en el cimbrado, armado, colado, etc., dejando al propietario la supervisión de la estructura acabada. Las actividades que se realizan con más frecuencia son las siguientes:

1. Identificación, examen y aceptación de los materiales. Incluye la verificación de la calidad, con base a los certificados y resultados de pruebas entregados por los productores y proveedores, lo mismo que el muestreo y prueba de los materiales como se entreguen en obra.
2. Control del proporcionamiento, dosificación, mezclado y ajustes de la mezcla, pruebas de la consistencia, contenido de aire, temperatura y peso volumétrico del concreto.

3. Revisión de la estructura de la cimbra y sus apoyos, de los moldes del acero de refuerzo y de otros elementos ahogados, y de la limpieza y demás trabajos previos al colado.
4. Supervisión del mezclado, transportación, colocación, consolidación, acabado, curado y protección del concreto.
5. Preparación de las probetas de concreto requeridas para pruebas de laboratorio incluyendo su curado y protección.
6. Revisión somera de la planta y equipo del contratista, de las condiciones de trabajo, del clima y de otros factores que puedan afectar al concreto o a otros elementos de la estructura.
7. Evaluación de los resultados de las pruebas y de las gráficas de comportamiento.
8. Verificación de que se hayan corregido los procedimientos y elementos inaceptables.
9. Preparación de registros e informes.

10.8. CARACTERÍSTICAS DEL SUPERVISOR

El supervisor debe ser una persona íntegra, con experiencia práctica en la parte del proyecto que se le ha asignado y la preparación teórica que le permita conocer los principios técnicos pertinentes. Debe conocer cómo se hacen las cosas y por qué se hacen así. Las personas con preparación teórica pero sin experiencia práctica, deben adquirirla en la obra trabajando bajo la dirección de supervisores experimentados antes de dejarlos trabajar por su cuenta.

Conforme aumenta la importancia que se da al control de calidad y se emplean nuevos métodos de construcción con concreto, aumentan también los estándares requeridos para materiales y mano de obra, en relación a los anteriormente aceptados. Los nuevos y más complicados métodos de diseño, se basan principalmente en la garantía de un concreto de alta calidad con menores márgenes de desviación. Un concreto de alta calidad con menores márgenes de desviación. Un concreto de alta calidad puede producirse sin costos excesivos si sus productores planean y vigilan el cumplimiento de sus especificaciones.

La supervisión sólo puede ser efectiva si se cuenta con un apoyo sólido por parte de la alta dirección. Los supervisores deben tener la capacidad de jerarquizar los distintos conceptos para poder concentrar su atención en los más importantes. Por encima de todo deben estar familiarizados con las tolerancias y criterios de recepción establecidos en los documentos del diseño. Los supervisores deben registrar de inmediato las desviaciones

encontradas e informar al momento tanto a la gerencia del contratista como a sus superiores.

10.9. CAPACITACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE SUPERVISORES

Los supervisores capacitados adecuadamente, son mucho más efectivos que los no entrenados. Los supervisores pueden recibir su instrucción básica en escuelas intermedias, escuelas técnicas e instituciones educativas similares pero deben tener un proceso de capacitación continua. Todos los estímulos y apoyos que brinden en este sentido, son muy convenientes y redituables para los patrones. Estos deben proporcionar cursos de capacitación periódicos para asegurarse de que los supervisores reciben conocimientos y capacitación actualizados.

La certificación de supervisores y técnicos de laboratorio es cada vez más frecuente y debería ser obligatoria. Ella garantiza a terceros que el supervisor o técnico posee al menos los conocimientos y habilidades mínimas para realizar el trabajo. Algunos estados de la Unión Americana exigen explícitamente en su legislación la certificación, pero en la mayoría de los casos el requisito queda implícito dentro de las normas de la industria o para luego aplicarla a los reglamentos de construcción. En la actualidad las normas abajo citadas incluyen como requisito una certificación del ACI:

ACI 311.4R	ASTM C94
ACI 311.5R	ASTM C1077
ACI 349	ASTM E329

10.10. AUTORIDAD DEL SUPERVISOR

Al inicio de cada trabajo, es indispensable que el jefe de supervisión en forma clara y precisa delegue su autoridad al supervisor, indicando las acciones que deben tomarse en diferentes situaciones que puedan presentarse . Se recomienda que las obligaciones y responsabilidades se proporcionen por escrito.

Un supervisor debe tener autoridad para:

1. Detener la autorización para un colado hasta que las condiciones previas (como cimbra, preparación de juntas, colocación de varillas, etc.) se puedan aprobar y esté disponible el personal para supervisar el colado.

2. Negar la autorización para la utilización de materiales, equipo y mano de obra que no satisfagan los requerimientos de los documentos del diseño o que puedan conducir a un producto terminado que no los cumpla.

En los dos casos anteriores el supervisor normalmente tiene autoridad para tratar directamente con los jefes de cuadrilla del contratista, informando de inmediato a su jefe. El supervisor sólo debe suspender los trabajos como último recurso, cuando es evidente que de seguir los trabajos como van, se producirá un concreto no aprobable y siempre con la previa autorización de su jefe. En conceptos secundarios no explícitamente contenidos en los criterios de recepción de las especificaciones, el supervisor debe aplicar su criterio personal, resolviendo lo más posible sobre la marcha. Cuando se trata de conceptos importantes o políticas generales no explícitamente incluidas en las especificaciones, que deberá someterlos de inmediato a la consideración de su jefe.

10.11. RELACIONES CON EL CONTRATISTA, JEFES DE CUADRILLA Y OBREROS

10.11.1. Supervisores que representan al propietario.

Mientras se cumplan los requerimientos de los documentos del diseño, el contratista tiene libertad de utilizar los procedimientos que le permitan realizar el trabajo al menor costo posible. Siempre que se salvaguarden los intereses del propietario, las sugerencias del supervisor que conduzcan a una reducción de costos, ganarán la buena voluntad del contratista y su colaboración. Las revisiones deben realizarse en cuanto sean solicitadas. La supervisión debe ser preventiva y anticipar en lo posible las condiciones que pudieran llevar a un producto final inadecuado, indicándoselo al contratista a la brevedad posible para evitar el desperdicio de tiempo, materiales y mano de obra. El supervisor no debe retrasar al contratista innecesariamente, ni interferir en sus procedimientos a menos que sea evidente que el producto estará fuera de especificación. Nunca se deberá pedir al contratista algo fuera de los documentos del diseño. Si éstos dan libertad al contratista sobre los procedimientos constructivos a utilizar, el supervisor debe hacer sugerencias pero nunca exigir que se adopte algún procedimiento específico.

Supervisor debe mantener una actitud impersonal, agradable y de colaboración hacia el contratista y su personal. Deben evitarse las familiaridades y jamás deben aceptarse favores personales del contratista o de su personal. Actuando honestamente, reconociendo y elogiando el trabajo bien hecho, normalmente el supervisor logrará el respeto y

colaboración de los jefes de cuadrilla y obreros del contratista. En especial el supervisor deberá abstenerse de hacer críticas a la empresa o trabajadores del contratista, así como de hacer alarde de los errores descubiertos.

Sólo deben darse instrucciones a los representantes autorizados del contratista. De preferencia algo del tipo: "Me parece que de seguir así, el producto final no cumplirá con los requerimientos de los documentos del diseño". En asuntos que involucren la posibilidad de un cambio en tiempo o costo u otros factores importantes, las comunicaciones deberán ser por escrito y entregarse al representante autorizado del contratista, estableciendo claramente una línea de acción. Las instrucciones que puedan originar controversia, deben darse por escrito. Si el supervisor dice cómo realizar algún concepto, podrá involuntariamente afectar los derechos del propietario. Esto debe evitarse salvo aprobación del propietario ya que la responsabilidad de esa parte del trabajo recaería automáticamente en el propietario o su representante. El supervisor no debe llevar la obra, per sí observar cuidadosamente las diferentes operaciones.

El supervisor normalmente trata directamente con los jefes de cuadrilla de los subcontratistas, pero si no se atienden sus instrucciones, deberán reportarse al contratista general los conceptos que requieren corrección, ya que este es el legalmente responsable.

Un buen arranque es importante ya que un procedimiento equivocado, es más fácil de corregir la primera vez que se hace y no cuando ya se ha hecho repetidas veces en esa forma. Debido a que los errores se presentan más frecuentemente al principio o fin de la jornada de trabajo, el supervisor deberá estar presente en la obra en esos lapsos y mientras esté colando, acabando o reparando concreto.

Una cuestión importante que a menudo no se entiende en forma adecuada es que las muestras deben tomarse en forma aleatoria y las revisiones de los diversos conceptos deben realizarse a intervalos irregulares.

El revenimiento del concreto es el punto en que con mayor frecuencia se presentan diferencias de opinión importantes entre la supervisión y la cuadrilla de colado, ya que esta quiere un revenimiento alto (15 a 20 cm) para que la mezcla fluya a su lugar sin necesidad de paleo u otro esfuerzo. Ahora el uso de los modernos superfluidizantes, se logra una solución práctica a la controversia ya que en lugar de añadir agua que aumentaría la relación agua/cemento o reduciría la resistencia, se puede usar un superfluidizante para lograr un fuerte incremento en el revenimiento y obtener un concreto fluido, sin que reduzca su resistencia. Utilizando los modernos vibradores y equipos de colado, puede colarse y puede compactarse un concreto con bajo revenimiento, sin aumentar considerablemente los costos del contratista. El supervisor debe insistir en que el concreto se cuele con el

revenimiento dentro del intervalo de variación especificado, a menos que el diseñador autorice lo contrario.

10.11.2. Supervisores empleados por el contratista.

Aunque lo tratado acerca de la supervisión y las relaciones del supervisor representante del propietario con las cuadrillas de trabajadores puede aplicarse también cuando el supervisor es empleado del contratista en muchos casos sin embargo el enfoque será distinto ya que ahora todos son empleados del contratista. En todo caso las relaciones específicas estarán sujetas a las instrucciones detalladas que les proporcione la gerencia.

10.12. MEDIDAS Y TOLERANCIAS

Con frecuencia se supone equivocadamente que las tolerancias marcadas para líneas, pendientes, dimensiones y acabados de superficies deben aplicarse a la colocación de cimbras, maestras y referencias de pendiente, pero no es así ya que las tolerancias se aplican únicamente al producto final. De ahí que la cimbra y otros componentes, se deberán colocar lo más cerca posible de lo que indican los planos para que el concreto resultante quede dentro de las tolerancias especificadas.

Normalmente el trazo de ejes, niveles y pendientes principales lo realiza o verifica el personal de los diseñadores. El personal de supervisión verifica la posición, alineamiento y nivel de cimbras, maestras y demás elementos así como la colocación del acero de refuerzo y de los elementos ahogados, volumen y peso necesarios para garantizar que las cantidades de materiales y producto terminado cumplan con todos los requerimientos.

Aceptando el hecho que aún las medidas más cuidadosas nunca pueden ser exactas, el supervisor debe aplicar su criterio en cuanto a la tolerancia permisible en casos particulares en que las especificaciones no establezcan valores límite o tolerancias permisibles. Las medidas se deben evaluar con el criterio suficiente para que se puedan aclarar las dudas y revisar por parte de una autoridad superior. en la práctica es imposible la colocación o alineamiento de cimbras o varillas al décimo de milímetro más cercano del valor exacto y por lo tanto la desviación que se acepte deberá tomar en cuenta el efecto que esta última produzca en el comportamiento o apariencia de la estructura. Considerando por ejemplo el corrimiento de 1 cm. en una varilla, para una cimentación sería intranscendente, pero en una losa delgada, el mismo centímetro podría debilitarla en forma importante o afectar la resistencia a la corrosión del acero de refuerzo.

El criterio para fijar las tolerancias en los conceptos no estipulados en los documentos del diseño deberá establecerse al principio de la obra.

10.13. SEGURIDAD

El supervisor debe estar siempre enterado de las normas y reglamentos de seguridad y en especial de los requerimientos locales y de los de la OSHA, que cambian con frecuencia. Este conocimiento tendrá un efecto determinante en su actuación y el ignorar los aspectos de seguridad pone en un predicamento no sólo su empleo sino también la posibilidad de aceptar futuras responsabilidades. Toda situación que represente un riesgo debe ser informado de inmediato al contratista o a la autoridad correspondiente así como al jefe de supervisión. El trabajo en un ambiente de seguridad debe promoverse a través de la identificación de las situaciones inseguras y de los focos de peligro potencial. Sin embargo, los supervisores por parte del propietario o de los diseñadores podrían en ciertos casos verse impedidos de señalar al contratista las violaciones al reglamento de seguridad, porque al hacerlo así podría dar lugar a una suposición de responsabilidad no intencional para el patrón del supervisor. Los supervisores deberán solicitar de su jefe orientación sobre cuando y como intervenir en asuntos de seguridad.

10.14. REGISTROS E INFORMES

Los documentos del contrato, los reglamentos y las agencias reguladoras, exigen reportes e informes escritos de las supervisiones y de las pruebas. Los documentos del contrato deben considerar las necesidades del proyecto y los requisitos reglamentarios al definir los informes y registros específicos que deben ser desarrollados. Muchos reportes se deben conservar durante toda la vida del proyecto y, por lo tanto, deben ser legibles, completos y confiables. Ellos proporcionan un registro durante la construcción, incluyendo la verificación de la misma, realizada de acuerdo con los documentos del contrato, e incluyen cualquier incumplimiento y las acciones correctivas que se tomen. Muchas veces, se usan para resolver disputas, y como una base para futuras modificaciones de la estructura. Cuando está involucrada la seguridad pública, se debe tener particular atención para incluir todos los atributos requeridos para satisfacer los requisitos de los reglamentos y de la autoridad jurisdiccional.

Los registros e informes mencionados en este capítulo son ilustrativos de los que pudieran usarse cuando sean exigidos por las condiciones del proyecto o los documentos del contrato. Al final de este capítulo se muestran 8 formularios modelo. Obviamente, las necesidades detalladas para la supervisión (y por lo tanto los registros e informes para

verificarla) se ven afectadas por muchos factores. Algunos de éstos, pero de ninguna manera todos, son los requisitos legales de la jurisdicción en la localidad del proyecto, los requisitos del contrato, el tamaño del proyecto, su localización, estado crítico del concreto que está siendo colado, etc. Por lo tanto, las listas de verificación y los formularios en este capítulo son sólo sugerencias, y no tienen el carácter de obligatorios. Se ha encontrado que son de gran utilidad en unos proyectos pero ciertamente, no en todos. La parte responsable de determinar el programa de supervisión, que generalmente es el diseñador, encontrará útiles estas listas y cuadros y tendrá que determinar cuales puede, y cómo puede usarlos para satisfacer tanto los requisitos legales apropiados, así como también las necesidades del cliente. Al igual que en la preparación de los documentos del contrato para acomodarse a las necesidades de cada proyecto particular, así también los requisitos de supervisión están determinados para cada proyecto y los registros e informes requeridos para su verificación. La discusión, las listas de verificación, y los formularios de informes que siguen deben ser de utilidad para lograr esto. No pueden y no deben usarse a ciegas para cada proyecto más bien, aquellos que sean útiles deberán adaptarse a las necesidades legales y prácticas que gobiernan el proyecto individual.

10.15. GRÁFICAS DE CONTROL

Algunos registros e informes se usan para controlar la construcción y asegurar la acción oportuna al tomar las medidas correctivas para evitar una calidad por debajo de la estándar. Los registros típicos de este tipo se incluyen en el ACI214, Recommended Practice for Evaluation of Strenght Test Results of Concrete. Véase la gráfica de control de calidad en ACI214 . Se hacen los trazos de la resistencia temprana para proporcionar una representación gráfica de las tendencias de la cálida. Estas gráficas también se usan para establecer que se han logrado los criterios de resistencia especificados, o para indicar cuándo se requiere de una acción correctiva.

10.16. SUPERVISIÓN DE LA PLANTA DE DOSIFICACIÓN Y DEL MEZCLADO

La supervisión de la dosificación y de el mezclado del concreto incluye la documentación de las pruebas requeridas y la verificación de que se han utilizado los materiales apropiados, que la dosificación se ha hecho en las proporciones adecuadas, y que se ha completado el mezclado apropiado. Antes de la dosificación para la producción se debe llevar a cabo la verificación de que la planta de dosificación cumple con los estándares especificados. La verificación puede estar basada en el certificado de cumplimiento expedido por la National ready Mixed Concrete Association o en un reporte de supervisión de la planta que incorpore

los resultados de calibraciones, pruebas de uniformidad, y condiciones de la planta. Todo informe de las pruebas de uniformidad de las mezclas debe estar basado en las proporciones y los materiales para la mezcla similares a los usados para el proyecto. La verificación del tiempo apropiado de mezclado para las mezcladoras centrales o las revoluciones para los camiones mezcladores deberán estar bien fundamentadas y registradas. Se deben verificar y registrar la capacidad y el comportamiento de la planta para que cumpla con los límites especificados de precisión en el pesaje de cada material.

10.17. INFORME DE LA SUPERVISIÓN PRELIMINAR A LA DOSIFICACIÓN

El informe de la supervisión preliminar a la dosificación puede incluir lo siguiente:

a) Verificación de que las básculas han sido calibradas contra los pesos de prueba antes de la fecha de vencimiento. La evidencia de la precisión de los pesos de prueba y el certificado de aprobación de las básculas se deben exhibir en un lugar donde pueda ser fácilmente vistos y examinados. Esto debe incluir las fechas efectivas, y de recalibración.

b) Verificación de que los dispositivos medidores de agua y los dispersadores de aditivos han sido apropiadamente calibrados, y que no se ha vencido la fecha de validez de la calibración.

c) Verificación de que las sondas de compensación de la humedad han sido calibradas para las determinaciones de humedad de la arena, efectuadas por el método de prueba que sea aplicable.

10.18. REGISTROS DE SUPERVISIÓN DE LA PRODUCCIÓN DEL CONCRETO

Algunas de las siguientes cuestiones de la lista de verificación se realizan durante las operaciones de cada día, y otras pueden ser a otras frecuencias, dependiendo de las condiciones y los documentos del contrato. El reporte de supervisión de la planta de dosificación y de la planta central de mezclado debe verificar y documentar:

a) Que el almacenamiento de el cemento y los agregados estén de acuerdo con los documentos del contrato y los estándares aplicables.

b) Que haya disponibles cantidades suficientes para cada colocación específica.

c) Que la entrega para el colado y con la mezcla apropiada se realice como lo exijan los procedimientos del proyecto.

d) Que el dispositivo automático compensador de humedad esté puesto para el agua libre en el agregado fino. Indique el tiempo, la cantidad y la correlación con el resultado real de la prueba.

e) La compensación de humedad hecha para el agregado grueso. Indique el tiempo, la cantidad, y la correlación con los resultados reales de la prueba.

f) El registrar la temperatura de los materiales para verificar el cumplimientos con los documentos del contrato.

g) Que se verifique el uso de la tarjeta de dosificación apropiada, incluyendo el tiempo de mezclado aprobado por las pruebas de uniformidad, si es aplicable.

h) Que se verifiquen las proporciones en las básculas y las correlaciones con el registrador, cuando sean aplicables.

i) Que se verifique el agua total usada, comparada con la permisible para mantener la relación agua - cemento requerida de la mezcla.

El informe - resumen diario de la supervisión de la planta de concreto debe incluir, al menos, la siguiente información:

a) Fecha

b) Volumen total dosificado por cada clase de concreto

c) Identificación de la colocación

d) Marca y tipo de cemento y fechas en las cuales se recibieron y se usaron los embarques

e) Contenido de humedad de los agregados

f) Temperatura de los materiales

g) Tiempos de mezclado para la mezcladora central

10.19. INFORME DE LOS CAMIONES MEZCLADORES DE CONCRETO

Cuando para el mezclado se usen camiones mezcladores de concreto premezclado, los informes deben incluir los siguientes resultados de la supervisión comparados con los límites especificados:

a) Revoluciones de mezclado y de agitación.

b) Tiempo en que se completó la entrega del concreto después de la dosificación, comparado con los límites especificados.

c) Agua total, incluyendo el agua agregada, para demostrar que cumple con el requisito de relación agua - cemento.

10.20. COLOCACIÓN DEL CONCRETO

Para ayudar a la evaluación de la calidad, el informe del colado del concreto debe incluir los siguientes datos obtenidos en los tiempos especificados:

a) Contenido de aire (anotar el límite de la especificación y el método de prueba)

b) Temperatura del concreto fresco

c) Revenimiento (enlistando el límite de la especificación y el método de prueba)

d) Identificación y localización de los cilindros de prueba, incluyendo el número de camión, el número de carga, y el tiempo de muestreo

e) Fecha

f) Ubicación de la colocación (porción de la estructura) y el número de la colocación cuando sea aplicable

g) Proyecto y estructura

h) Condiciones del clima, incluyendo temperaturas ambientales

i) Hora del comienzo y terminación del colado

j) Cantidad total del concreto colocado

k) Concreto rechazado y sus causas

l) Firma del supervisor

m) Clase del concreto

n) Métodos de colocación y compactación

o) Métodos de curado y protección

p) Agua añadida en el sitio

q) Tiempo transcurrido

r) Condiciones de la cimbra y del refuerzo

10.21. TARJETAS DE COLADO DEL CONCRETO

Algunos grandes proyectos de construcción usan un sistema de tarjetas de colado del concreto para controlar todas las condiciones de precolocación. Esta tarjeta contiene la identificación de cada actividad que debe ser completada antes del colado del concreto. El supervisor responsable de cada una de estas actividades debe firmar y fechar la actividad cuando todos los requisitos de los documentos del contrato hayan sido terminados para esa colocación específica. Estas actividades incluyen: subrasante, juntas de construcción, cimbras, acero de refuerzo y elementos ahogados, ductos eléctricos y elementos ahogados, tuberías y sus elementos ahogados, y ahogados estructurales. Usualmente un ingeniero responsable o el supervisor general verifica todas las comprobaciones y autoriza el colado del concreto.

10.22. REMISIÓN DE ENTREGA DEL CONCRETO

Generalmente se exige que el proveedor de concreto extienda una remisión de entrega con cada carga de concreto. Estas remisiones sirven como una certificación de las proporciones y las cantidades entregadas. La información mínima debe incluir:

a) Nombre de la planta de dosificación del concreto premezclado

b) Número de serie de la etiqueta

c) Fecha y número del camión

d) nombre del contratista

e) Designación específica de la obra (nombre y dirección)

f) Clase específica o designación del concreto de acuerdo con lo requerido por los documentos del contrato

g) Cantidad de el concreto entregado m^3

h) Hora en que fue cargada la mezcladora u hora del primer mezclado del cemento y los agregados

i) Hora de llegada al sitio

j) Hora en que empezó la descarga

k) Hora en que se completó la entrega

l) Cantidad de agua agregada por quien recibe el concreto y sus iniciales

m) Tipo, número, y cantidad de aditivos

La información adicional que puede incluirse en la remisión de entrega es:

a) Lectura del contador de revoluciones en la primera adición de agua

b) Firma del representante del concreto premezclado

c) Tipo y marca del cemento

d) Cantidad de cemento

e) Contenido total de agua suministrada por el productor

f) Tamaño máximo del agregado

g) Peso de los agregados finos y gruesos

h) Agua libre sobre el agregado

i) Indicación de que todos los materiales se han certificado o aprobado previamente.

11. ANEXO

NORMAS MEXICANAS (NMX)

ADITIVOS

NMX C 45-83 Aditivos para concreto. Muestreo.

NMX C 81-81 Aditivos para concreto. Curado compuestos líquidos que forman membrana.

NMX C 90-78 Método de prueba para aditivos expansores y estabilizadores de volumen del concreto.

NMX C 117-78 Aditivos estabilizadores de volumen de concreto.

NMX C 140-78 Aditivos expansores del concreto.

NMX C 199-86 Aditivos para concreto y materiales complementarios. Terminología y clasificación.

NMX C 200-78 Aditivos inclusores de aire para concreto.

NMX C 255-88 Aditivos que reducen la cantidad de agua y/o modifican el tiempo de fraguado del concreto.

NMX C 298-80 Aditivos minerales. Determinación de la efectividad para prevenir una expansión excesiva del concreto debida a la reacción álcali - agregado.

NMX C 304-80 Aditivos. Determinación de la retención de agua por medio de compuestos líquidos que forman membrana para el curado del concreto.

NMX C 309-80 Aditivos para concreto. Determinación del factor de reflectancia de membrana de color blanco para el curado del concreto.

AGREGADOS

NMX C 30-86 Agregados. Muestreo.

NMX C 71-83 Agregados. Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznables.

NMX C 72-83 Agregados. Determinación de partículas ligeras.

NMX C 73-83 Agregados para concreto. Masa volumétrica. Método de prueba.

NMX C 75-85 Agregados. Determinación de la sanidad por medio del sulfato de sodio sulfato de magnesio.

NMX C 76-83 Agregados. Efecto de las impurezas orgánicas en los agregados finos sobre la resistencia de los morteros. Método de prueba.

NMX C 77-87 Agregados para concreto. Análisis granulométrico. Método de prueba.

NMX C 84-83 Agregados. Partículas más finas que la criba F 0.075 por medio de lavado. Método de prueba.

NMX C 88-86 Determinación de impurezas orgánicas en el agregado fino.

NMX C 111-88 Concreto. Agregados. Especificaciones.

NMX C 164-86 Agregados. Determinación de la masa específica y absorción de agua del agregado grueso.

NMX C 165-84 Agregados. Determinación de la masa específica y absorción de agua del agregado fino. Método de prueba.

NMX C 166-83 Agregados. Contenido total de humedad por secado. Método de prueba.

NMX C 170-86 Agregados. Reducción de las muestras de agregados, obtenidas en el campo al tamaño requerido para las pruebas.

NMX C 180-86 Agregados. Determinación de la reactividad potencial de los agregados con los álcalis del cemento por medio de barras de mortero.

NMX C 196-84 Agregados. Resistencia a la degradación por abrasión e impacto de agregado grueso usando la máquina de los Ángeles. Método de prueba.

NMX C 245-86 Agregados. Determinación de las correcciones en masa por la humedad de los agregados en dosificaciones de concreto.

NMX C 265-84 Agregados para concreto. Examen petrográfico. Método de prueba.

NMX C 270-85 Agregados. Resistencia al rayado de las partículas del agregado grueso. Método de prueba.

NMX 271-84 Agregados para concreto. Determinación de la reactividad potencial (Método químico).

NMX C272-87 Reactividad potencial de rocas de carbonatos de agregados para concreto con los álcalis.

NMX C 282-84 Agregados para concreto. Cambio de volumen de combinaciones cemento agregado. Método de prueba.

NMX C 299-87 Agregados ligeros. Concreto estructural. Especificaciones.

NMX C 305 80 Agregados para concreto. Descripción de sus componentes minerales naturales.

AGUA

NMX C 122-82 Agua para concreto.

NMX C 277-79 Agua para concreto. Muestreo.

NMX C 283-82 Agua para concreto. Análisis.

CEMENTO

NMX C 1-80 Cemento Portland.

NMX C 2-86 Cemento Portland Puzolana.

NMX C 21-81 Cemento Mortero Portland.

NMX C 49-70 Método de prueba para la determinación de la finura de cementantes hidráulicos mediante el tamiz No. 130M.

NMX C 55-66 Método de prueba para determinar la finura de los cementantes hidráulicos (Método Turbidimétrico).

NMX C 56-78 Determinación de la finura de los cementantes hidráulicos (Método de permeabilidad al aire).

NMX C 57-83 Cementantes Hidráulicos. Determinación de la consistencia normal.

UPAEP BIBLIOTECA CENTRAL

NMX C 58-67 Determinación del tiempo de fraguado en cementantes hidráulicos (Método de Gillmore).

NMX C 59-75n Determinación del tiempo de fraguado de cementantes hidráulicos (Método de Vicat).

NMX C 60-68 Método de prueba para determinar la resistencia a la tensión de los cementantes hidráulicos.

NMX C 61-76 Determinación de la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos.

NMX C 62-68 Método de prueba para determinar la sanidad de cementantes hidráulicos.

NMX C 85-82 Método de mezclado mecánico de pastas y morteros de cementantes hidráulicos.

NMX C 130-68 Muestreo de cementantes hidráulicos.

NMX C 131-76 Determinación del análisis químico de cementos hidráulicos.

NMX C 132-70 Método de prueba para la determinación del fraguado falso del Cemento Portland por el método de pasta.

NMX C 133-80 Cemento. Coadyuvantes de molienda empleados en la elaboración de cementos hidráulicos.

NMX C 144-68 Requisitos para el aparato usado en la determinación de morteros con cementantes hidráulicos.

NMX C 148-81 Gabinetes y cuartos húmedos y tanques de almacenamiento para las pruebas de cementantes de concreto hidráulico.

NMX C 150-73 Determinación de la finura de cementantes hidráulicos mediante el tamiz No. 80 M (200).

NMX C 151-77 Determinación del calor de hidratación de cementantes hidráulicos.

NMX C 152-70 Método de prueba para la determinación del peso específico de cementantes hidráulicos.

NMX C 153-71 Método de prueba para la determinación del sangrado en pasta de cemento y en mortero.

NMX C 175-69 Cemento Portland de escoria de alto horno.

NMX C 184-70 Cemento de escoria.

NMX C 185-79 Morteros de Cemento Portland. Determinación de su expansión potencial debido a la acción de sulfatos.

NMX C 208-72 Método de prueba para la determinación del contenido de anhidro sulfúrico en los cementantes hidráulicos.

NMX C 272-78 Determinación de la actividad puzolánica.

NMX C 300-80 Cemento hidráulico. Determinación del contenido de aire en el mortero.

NMX C 313-81 Pigmentos. Cemento Portland, mortero y concreto.

NMX C 315-81 Cemento. Cementaciones primarias y secundarias de pozos petroleros o de gas.

UPAEP BIBLIOTECA CENTRAL

12. BIBLIOGRAFÍA

- Kosmatka, Steven H. & Panarese, William C.,
  DISEÑO Y CONTROL DE MEZCLAS DE CONCRETO,
  IMCYC, México 1992.
- Comité ACI 304
  GUÍA PRÁCTICA PARA LA COLOCACIÓN DEL CONCRETO,
  IMCYC, México 1993.
- Comité ACI 305,
  ELABORACIÓN, COLOCACIÓN Y PROTECCIÓN DEL CONCRETO EN CLIMA CALUROSO,
  IMCYC, México 1992.
- Comité ACI 311 - 92,
  MANUAL PARA SUPERVISAR OBRAS DE CONCRETO,
  IMCYC, México 1994.
- Comité ACI 302,
  CONSTRUCCIÓN DE LOSAS Y PISOS DE CONCRETO,
  IMCYC, México 1992.
- Comité ACI 318,
  REGLAMENTO DE LAS CONSTRUCCIONES DE CONCRETO REFORZADO ACI 318 - 89,
  IMCYC, México 1991.
- Comité ACI 301 - 89,
  ESPECIFICACIONES PARA EL CONCRETO ESTRUCTURAL EN EDIFICIOS,
  IMCYC, México 1994.
- Comité ACI 211.1,
  PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS, Concreto normal, pesado y masivo,
  IMCYC, México 1993.
- Comité ACI 309,
  COMPACTACIÓN DEL CONCRETO,
  IMCYC, México 1992.

UPAEP
BIBLIOTECA CENTRAL

- Comité ACI 347 - R94,
  GUÍA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CIMBRAS,
  IMCYC, México 1996.
- **MANUAL DE PRÁCTICAS ESTÁNDAR DEL ACERO DE REFUERZO**,
  IMCYC, México 1994.
- **NORMAS ASTM, Muestreo del concreto, revenimiento, contenido de aire y peso unitario**,
  IMCYC, México 1995.
- Comisión Federal de Electricidad & Instituto de Ingeniería de la UNAM,
  MANUAL DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO,
  Sección 1, 2 y 3.
  Limusa, México 1994.