

NOTA IMPORTANTE:

La entidad sólo puede hacer uso de esta norma para si misma, por lo que este documento NO puede ser reproducido, ni almacenado, ni transmitido, en forma electrónica, fotocopia, grabación o cualquier otra tecnología, fuera de su propio marco.

ININ/ Oficina Nacional de Normalización

NORMA CUBANA

NC

412: 2005

**GUÍA PARA LA PREPARACIÓN, MEZCLADO, TRANSPORTE
Y VERTIDO DEL HORMIGÓN**

**Guide for measuring, mixing, transporting and placing
concrete**

ICS: 91.100.30

**1. Edición Enero 2005
REPRODUCCIÓN PROHIBIDA**

**Oficina Nacional de Normalización Calle E No. 261 Vedado, Ciudad de La Habana.
Cuba. Teléfono: 830-0835 Fax: (537) 836-8048 Correo electrónico: nc@ncnorma.cu**



Cuban National Bureau of Standards

NC 412: 2005

Prefacio

La Oficina Nacional de Normalización (NC), es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba que representa al país ante las Organizaciones Internacionales y Regionales de Normalización.

La elaboración de las Normas Cubanas y otros documentos se realiza generalmente a través de los Comités Técnicos de Normalización. Su aprobación es competencia de la Oficina Nacional de Normalización y se basa en las evidencias del consenso.

Esta Norma Cubana:

- Ha sido elaborada por el NC/CTN 37 “Hormigón reforzado y morteros” en el que están representadas las instituciones siguientes:
 - Ministerio de la Construcción
 - Oficina del Historiador
 - Ministerio de Educación Superior (ISPJAE)
 - Oficina Nacional de Normalización
 - Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias
- Es una adopción idéntica por el método de traducción de la versión en inglés de la Guía del American Concrete Institute (ACI) “Guide for Measuring, Mixing, Transporting and Placing Concrete”
- Los cambios editoriales que se han hecho del texto original han sido indicados en recuadros dentro del texto normal, con letras cursivas y se refieren esencialmente a la eliminación de los aspectos relativos al clima frío y a la congelación y el deshielo, así como otros aspectos de actualización de la problemática en la tecnología del hormigón de carácter general.
- Esta Guía sustituye a la Norma Cubana NC 52-01:1978 “Colocación del hormigón. Especificaciones constructivas” y a la Regulación de la Construcción RC 3034 “Estructuras de Hormigón Armado en la Obra. Preparación y transporte”.

© NC, 2005

Todos los derechos reservados. A menos que se especifique, ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida o utilizada en alguna forma o por medios electrónicos o mecánicos, incluyendo las fotocopias, fotografías y microfilmes, sin el permiso escrito previo de:

Oficina Nacional de Normalización (NC)

Calle E No. 261, Vedado, Ciudad de La Habana, Habana 4, Cuba.

Impreso en Cuba

GUÍA PARA LA PREPARACIÓN, MEZCLADO, TRANSPORTE Y VERTIDO DEL HORMIGÓN

REPORTE DEL COMITÉ 304 DELCOMITE AMERICANO DEL HORMIGÓN (ACI)

Esta Guía presenta información sobre la manipulación, medición y dosificación de todos los materiales empleados en la producción de hormigón de peso normal, ligero estructural y pesado. Cubre la dosificación gravimétrica; el mezclado en planta centralizada y en camiones hormigoneras, y el vertido del hormigón empleando cubetas, vagonetas, bombas y cintas transportadoras. Se cubre también en esta Guía el vertido del hormigón bajo el agua y el hormigón con áridos pre-colocados, así como los procedimientos para alcanzar un hormigón de buena calidad en estructuras completas.

No se ha incluido en esta adopción la medición volumétrica de los materiales para la producción del hormigón

Palabras clave: Dosificación; cinta transportadora; hormigones pesados; hormigones ligeros; manipulación de los materiales; mezclado; vertido; hormigón con áridos pre-colocados; hormigón bombeado; Hormigón colocado con tremie; mezclado continuo.

CONTENIDO

Capítulo 1 – Introducción

- 1.1 – Alcance
- 1.2 – Objetivos
- 1.3 – Otras consideraciones

Capítulo 2 – Control, manipulación y almacenaje de los materiales

- 2.1 – Consideraciones generales
- 2.2 – Los áridos
- 2.3 – El cemento
- 2.4 – Escorias granuladas y puzolanas
- 2.5 – Los aditivos
- 2.6 – El agua y el hielo
- 2.7 – Refuerzo con fibras

Capítulo 3 – Medición y dosificación

- 3.1 – Requisitos generales
- 3.2 – Tolvas y dosificadores gravimétricos
- 3.3 – Tipo de planta
- 3.4 – Materiales cementicios
- 3.5 – Medición de la cantidad de agua y hielo
- 3.6 – Medición de los aditivos
- 3.7 – Medición de los materiales para trabajos pequeños
- 3.8 – Otras consideraciones

Capítulo 4 – Mezclado y transporte

- 4.1 – Requisitos generales
- 4.2 – Equipamiento de mezclado
- 4.3 – Hormigón mezclado en planta

- 4.4 – Hormigón mezclado en el camión
- 4.5 – Carga y mezclado
- 4.6 – Temperatura de la mezcla
- 4.7 – La descarga
- 4.8 – Desempeño de la mezcladora
- 4.9 – Mantenimiento
- 4.10 – Consideraciones generales para el transporte del hormigón
- 4.11 – Hormigón retornado

Capítulo 5 – Vertido del hormigón

- 5.1 – Consideraciones generales
- 5.2 – Planificación
- 5.3 – Refuerzo y elementos embebidos
- 5.4 – El vertido
- 5.5 – Compactación
- 5.6 – Hormigonado masivo

Capítulo 6 – Encofrados, preparación de las juntas y terminación

- 6.1 – Los encofrados
- 6.2 – Preparación de la junta
- 6.3 – Terminación de superficies no encofradas

Capítulo 7 – Hormigón con áridos pre-colocados

- 7.1 – Consideraciones generales
- 7.2 – Los materiales
- 7.3 – Dosificación del mortero
- 7.4 – Control de la temperatura
- 7.5 – Los encofrados
- 7.6 – Sistema de tuberías para el mortero
- 7.7 – Vertido del árido grueso
- 7.8 – Mezclado y bombeo del mortero
- 7.9 – Juntas de construcción
- 7.10 – Acabado
- 7.11 – Control de calidad

Capítulo 8 – Hormigón vertido bajo agua

- 8.1 – Consideraciones generales
- 8.2 – Los materiales
- 8.3 – Diseño de la mezcla
- 8.4 – Producción del hormigón y ensayos
- 8.5 – El tremie y el procedimiento del vertido
- 8.6 – Bombeo directo
- 8.7 – Características del hormigón
- 8.8 – Precauciones
- 8.9 - Aplicaciones especiales
- 8.10 – Aditivos contra el lavado

Capítulo 9 – Bombeo del hormigón

- 9.1 – Consideraciones generales
- 9.2 – Equipos de bombeo

- 9.3 – Las tuberías y los accesorios
- 9.4 – Diseño del hormigón bombeable
- 9.5 – Experiencias de campo
- 9.6 – Control de campo

Capítulo 10 – Hormigón transportado por cinta

- 10.1 – Consideraciones generales
- 10.2 – Operación de la cinta transportadora
- 10.3 – Diseño de la cinta transportadora
- 10.4 – Tipos de cintas transportadoras
- 10.5 – Práctica de campo

Capítulo 11 – Hormigón pesado y de protección contra radiaciones

- 11.1 – Consideraciones generales
- 11.2 – Los materiales
- 11.3 – Características del hormigón
- 11.4 – Equipamiento de mezclado
- 11.5 – El encofrado
- 11.6 – El vertido
- 11.7 – Control de calidad

Capítulo 12 – Hormigón ligero estructural

- 12.1 – Consideraciones generales
- 12.2 – Medición y dosificación
- 12.3 – El mezclado
- 12.4 – Control del trabajo

Capítulo 13 – Equipamiento de medición volumétrica y de mezclado continuo del hormigón

El Capítulo 13 se ha eliminado en esta adopción, pues los equipamientos de este tipo están prohibidos en el país por la autoridad competente.

Capítulo 14 – Referencias

- 14.1 – Normas y reportes de referencia
- 14.2 – Referencias citadas

CAPITULO 1 — INTRODUCCION

1.1 – Alcance

Esta Guía establece los procedimientos para alcanzar buenos resultados en la preparación y el mezclado de los ingredientes del hormigón, el transporte de la mezcla hasta el lugar y su vertido. Los primeros 6 capítulos son generales y se aplican a todos los tipos de proyectos y de hormigón. Los siguientes 4 capítulos tratan sobre el hormigón con áridos pre-colocados, el vertido del hormigón bajo el agua, el bombeo y el transporte con cintas. Los últimos 2 capítulos abarcan el hormigón de alta densidad de protección contra las radiaciones y el hormigón ligero.

1.2 Objetivos

En la preparación de esta Guía se ha seguido la siguiente estrategia:

- A los efectos del progreso en el mejoramiento de las construcciones con hormigón es más efectiva la presentación de normativas con fuertes requerimientos, que el cumplimiento de prácticas comunes.
- En muchos casos (si no en la mayoría) la práctica resultante de la producción y vertido de un hormigón de alta calidad puede ser ejecutada tan económicamente como aquella que da como resultado un hormigón pobre. Muchas de las prácticas recomendadas en este documento mejoran tanto la uniformidad del hormigón como su calidad, dando como resultado una operación más precisa y más elevados ritmos de producción y ambas cosas compensan los costos potenciales adicionales, y
- Cualquiera que prevea utilizar esta Guía debe tener un conocimiento básico de las buenas prácticas generales en los trabajos de hormigón. Si se desea más información específica sobre la preparación, el mezclado, transporte y vertido del hormigón, el lector debe dirigirse a los documentos listados en las referencias al final del documento, y particularmente al trabajo del Buró de reclamación de los EEUU (1981), el Departamento de Comercio de los EEUU (1996), el Cuerpo de Ingenieros (1994a), la norma ASTM C94, el ACI 311.1R y el ACI 318. Para representar más claramente ciertos principios necesarios para alcanzar una máxima uniformidad, homogeneidad y calidad del hormigón en el lugar, se han incluido también en esta Guía, figuras que ilustran las prácticas buenas y deficientes

1.3 Otras consideraciones

Todo aquel que esté relacionado con los trabajos de hormigón tienen que conocer la importancia de mantener el contenido de agua en la mezcla tan bajo como sea posible y la consistencia adecuada con los requerimientos del vertido (Mielenz 1994; Lovern 1996). Si se mantiene constante la relación agua/material cementicio (a/mc), un incremento unitario del contenido de agua incrementa la fisuración potencial de retracción por secado, y con esta fisuración, el hormigón puede perder una parte de su durabilidad y de otras características favorables, tales como las propiedades de monolitismo y de baja permeabilidad. La adición indiscriminada de agua, que incrementa la relación a/mc afecta de forma muy adversa tanto la resistencia como la durabilidad.

El hormigón resultante será mejor en la medida en que la mayor parte del encofrado se llena con una correcta combinación de sólidos y la menor parte con agua. Se utilizará solo la cantidad de cemento requerida para alcanzar la adecuada resistencia, durabilidad, laborabilidad y otras propiedades especificadas. Es particularmente importante minimizar el contenido de cemento en

secciones masivas sujetas a retracción, pues la elevación de la temperatura asociada con la hidratación del cemento puede provocar fisuración debido al cambio de volumen. Se utilizará solamente el agua y árido fino que se requiera para alcanzar una adecuada laborabilidad para un vertido apropiado y su compactación por medio de vibración.

CAPITULO 2 — CONTROL, MANIPULACIÓN Y ALMACENAJE DE LOS MATERIALES

2.1 - Consideraciones generales

Los áridos gruesos y finos, el cemento, las puzolanas y los aditivos químicos deberán ser adecuadamente almacenados, dosificados y manipulados para mantener el hormigón resultante.

2.2 - Los áridos

Los áridos finos y gruesos serán de buena calidad, no contaminados, uniformes en su gradación granulométrica y en su contenido de humedad. A menos de que se haga una efectiva selección, preparación y manipulación de los áridos (Ver la figura 2.1), la producción de un hormigón uniforme será muy difícil de lograr (Mielenz 1994).

2.2.1 Árido grueso - El árido grueso se controlará para minimizar su segregación y su sobredimensionamiento. Los apartados siguientes tratan acerca de la prevención de la segregación y del control del infra-dimensionamiento del material.

2.2.1.1 Fracciones - Un método práctico para minimizar la segregación del árido grueso es separar el material en varias fracciones y dosificar estas fracciones separadamente. En la medida en que el rango de tamaños en cada fracción decrece y el número de separaciones de los tamaños se incrementa, se reducirá la segregación. Es más fácil tener un control efectivo de la segregación y de un sobredimensionamiento del material, cuando la relación entre el tamaño máximo y mínimo de cada fracción es no mayor que 4 para los áridos menores de 25 mm y no mayor de 2 para los áridos de mayor tamaño. A continuación se indican algunas fracciones apropiadas de áridos agrupadas:

Ejemplo 1:

Designación de los tamices:

No. 8 a 3/8 pulg. (2,36 a 9,5 mm)

No. 4 a 1 pulg. (4,75 a 25,0 mm)

3/4 a 1-1/2 pulg (19,0 a 37,5 mm)

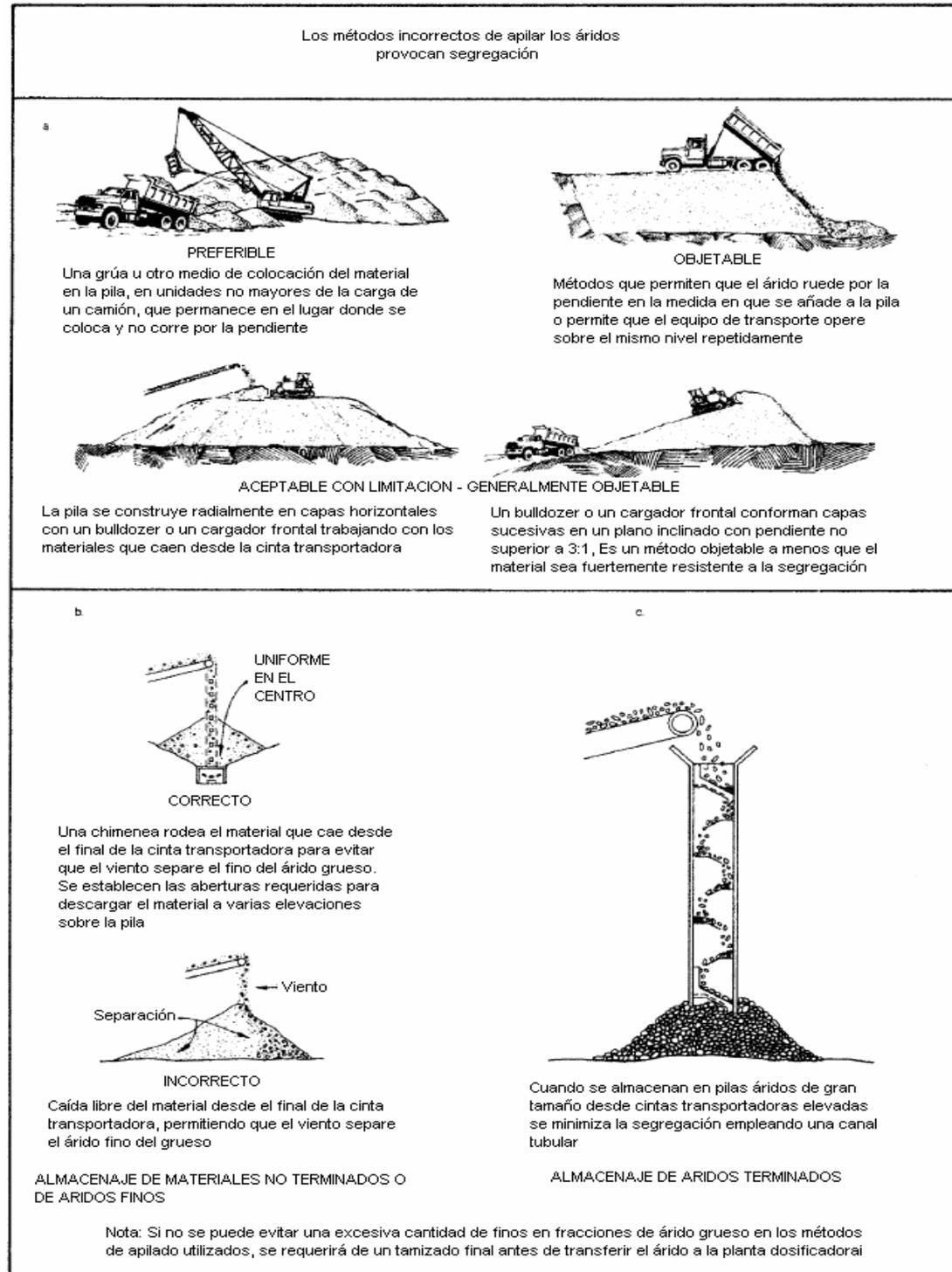


Figura 2.1 — Métodos correctos e incorrectos de manipulación y almacenaje de los áridos

Ejemplo 2:

Designación de los tamices:

No 4 a 3/4 pulg. (4,75 a 19,0 mm)

3/4 a 1-1/2 pulg. (19,0 a 37,5 mm)

1-1/2 a 3 pulg. (37,5 a 75 mm)

3 a 6 pulg. (75 a 150 mm)

2.2.1.2 Control del material infra-dimensionado - El material infra-dimensionado para una fracción dada de árido se define como el material que pasa por el tamiz que tiene una abertura 5/6 del tamaño máximo nominal de cada fracción de árido. En el ejemplo 2 del apartado 2.2.1.1, sería el material que pasa por los tamices siguientes: No 5 (4,0 mm), 5/8 pulg. (16,0 mm), 1-1/4 pulg. (31,5 mm) y 2-1/2 pulg. (63 mm). Para un control efectivo de la gradación granulométrica, son esenciales las operaciones de manipulación que no incrementen los materiales infra-dimensionados de los áridos antes de ser utilizados en el hormigón (Ver las figuras 2.1 y 2.2). La gradación de los áridos será uniforme y estará dentro de los límites de las especificaciones, cuando éstos se incorporan a la mezcla de hormigón. Deberán hacerse los análisis granulométricos del árido grueso con una frecuencia suficiente para asegurar que se cumplen los requisitos de gradación. Cuando se emplean dos o más tamaños de áridos, puede ser necesario hacer cambios en las proporciones de los tamaños para mantener la gradación completa del árido combinado. Cuando no se pueden cumplir de forma consistente los límites de las especificaciones, se tendrán que instituir métodos especiales de manipulación. Si los materiales tienden a segregarse durante la transportación, entonces puede ser necesario efectuar un remezclado. Un retamizado del árido grueso cuando se carga en las tolvas de la planta dosificadora, para remover los materiales infra-dimensionados, eliminará con efectividad los finos indeseables cuando los métodos usuales de almacenaje y manipulación no son satisfactorios. Los materiales infra-dimensionados en las fracciones más pequeñas del árido grueso puede ser reducidas consistentemente hasta por debajo del 2% mediante un retamizado (ver la figura 2.2). No obstante aunque el retamizado es efectivo al remover las partículas infra-dimensionadas, no ayudará a homogenizar los áridos segregados.

2.2.2 Arido fino (Arena) – El árido fino se controlará para minimizar sus variaciones en granulometría, dándole especial atención a mantener uniformes las fracciones finas y evitando la excesiva remoción de finos durante el proceso.

Si la relación árido fino/árido grueso está de acuerdo con las recomendaciones que se dan para el diseño de la mezcla, se puede utilizar un amplio rango de áridos fino (Tynes 1962). Las variaciones en la granulometría del árido fino durante el proceso de producción del hormigón deben ser minimizadas, no obstante se exigirá que el módulo de finura del árido fino se mantenga dentro de 0,2 del valor de diseño.

Se dará especial atención a la cantidad y naturaleza de material más fino que el tamiz No. 200 (tamiz de 74 μm). Si el material es polvo de trituración, esencialmente libre de arcilla o esquistos, son permisibles mayores porcentajes de material más fino que el tamiz No. 200 (tamiz de 74 μm). Si es todo lo contrario, entonces las cantidades permitidas deben ser reducidas significativamente. En ocasiones se utiliza el ensayo de arena equivalente de California para determinar cuantitativamente el tipo, cantidad y actividad de este material fino (Mielenz 1994). Una excesiva cantidad de material más fino que el tamiz No. 200 (tamiz de 74 μm), incrementa el requerimiento de agua de amasado, el ritmo de pérdida de asentamiento y la retracción por secado y por lo tanto reduce la resistencia del hormigón.

Hay que evitar el mezclar dos tipos de áridos finos mediante la colocación alternada de ciertas cantidades en tolvas o pilas de almacenaje, o cuando se cargan carros o camiones. Se han

alcanzado resultados satisfactorios cuando fracciones de diferente tamaño se mezclan en la medida en que fluyen a través de una corriente regulada por compuertas o alimentadores. Un método más confiable de control para un amplio rango de plantas o condiciones de trabajo es el almacenaje, la manipulación y la dosificación por separado de las fracciones finas y gruesas.

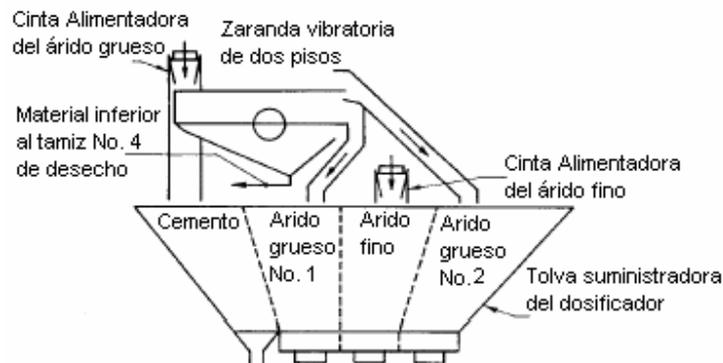


Figura 2.2 — Instalación de retamizado en la Planta Dosificadora

2.2.3 Almacenaje – Las pilas de almacenaje de áridos gruesos deben ser reducidas a la mínima expresión, pues los finos tienden a asentarse y acumularse. Cuando sea necesario el almacenaje en pilas, hay que emplear métodos correctos que minimicen los problemas con los finos, la segregación, la trituración, la excesiva variación en la gradación y la contaminación. Las pilas de almacenaje deben ser levantadas en capas horizontales o suavemente inclinadas, no mediante volteo al final. Los camiones, cargadores y dozers, o cualquier otro equipo no debe ser operado sobre las pilas porque, además de provocar la trituración del árido, frecuentemente depositan suciedad sobre las pilas. (Figura 2.1).

Hay que garantizar una base dura con un buen drenaje para evitar la contaminación del material subyacente. Hay que evitar la mezcla de diferentes tamaños de áridos mediante paredes adecuadas o un amplio espacio entre las pilas. El árido fino seco se protegerá de que sea separado por el viento, empleando cortinas rompevientos. No se pueden contaminar las pilas mediante el balanceo de las cubetas o las jaibas llenas de áridos sobre otras pilas. Además el árido fino que se transporta sobre equipos rodantes húmedos, no beneficiados, puede llegar contaminado con terrones de arcilla. La fuente de esta contaminación es usualmente la acumulación de barro entre los neumáticos y en los guardafangos, que se sale durante el volteo de la unidad de transporte. Los remolques que voltean por detrás son particularmente susceptibles a provocar contaminación cuando se conducen a través de pilas descargadas. Los terrones de arcilla pueden usualmente ser eliminados del árido fino colocando una pantalla de escalpe sobre la tolva de la planta dosificadora.

Hay que mantener las tolvas de almacenaje tan llenas como sea práctico con vistas a minimizar la trituración y los cambios en la gradación cuando los materiales son retirados. Es necesario depositar los materiales dentro de las tolvas de forma vertical y directamente sobre la compuerta de la tolva (Figura 3.1b). Hay que prestar particular atención al almacenaje de áridos para hormigones especiales, incluyendo los áridos ligeros, de alta densidad y de terminación arquitectónica. La contaminación de estos materiales tiene efectos compuestos sobre otras propiedades del hormigón en el que van a ser utilizados (Capítulos 11 y 12).

2.2.4 Control de la humedad - Es necesario asegurar, tan prácticamente como sea posible, un contenido de humedad estable y uniforme en el árido que va a ser dosificado. El empleo de áridos con cantidades variables de agua libre es una de las causas más frecuentes de pérdida de control sobre la consistencia del hormigón (asentamiento). En algunos casos, puede ser necesario humedecer a los áridos gruesos en las pilas de almacenaje, para compensar su elevada absorción o para enfriarlos. Cuando esto se hace, el árido grueso debe ser drenado para evitar que transfiera una excesiva cantidad de agua libre a las tolvas.

Hay que garantizar un tiempo adecuado para el drenaje del agua libre del árido fino antes de transferirlo a las tolvas de la planta dosificadora. El tiempo de almacenaje requerido depende en primer lugar de la granulometría y la forma de las partículas del árido. La experiencia ha mostrado que un contenido de agua libre tan alto como del 6%, y en ocasiones hasta de un 8% puede ser estable en el árido fino. Sin embargo para ciertos trabajos puede requerirse un control más severo. La utilización de medidores de humedad para indicar las variaciones de la humedad del árido fino en el momento de ser dosificado y el empleo de compensadores de humedad para efectuar ajustes rápidos del peso dosificado, pueden minimizar la influencia de las variaciones de la humedad del árido fino (Van Alstine 1955, Lovern 1966).

2.2.5 Muestras para efectuar ensayos - Se deben obtener muestras representativas de áridos de diferentes tamaños tan cerca como sea posible al punto de su introducción en el hormigón. La dificultad para la obtención de muestras representativas se incrementa con el tamaño del árido, por lo tanto los instrumentos de muestreo requieren ser cuidadosamente diseñados para asegurar resultados de ensayos significativos. Los métodos para el muestreo de los áridos se perfilan adecuadamente en la norma ASTM D 75.

Es una buena práctica mantener un promedio corriente de los resultados de 5 a 10 ensayos previos de granulometría, desechando los resultados más viejos y adicionando los más recientes al total sobre el cual se calcula el promedio. Esta granulometría promedio puede entonces ser utilizada tanto para el control de calidad como para el diseño de las dosificaciones.

2.3 - El cemento

Todos los cementos deben ser almacenados en estructuras impermeables al agua y adecuadamente ventiladas para evitar la absorción de humedad. Las facilidades de almacenaje para el cemento a granel incluirán compartimentos separados para cada tipo de cemento utilizado. El interior del silo de cemento será liso, con una inclinación mínima en el fondo de 50 grados con respecto a la horizontal para un silo circular y de 55 a 60 grados para un silo rectangular. Los silos deben estar equipados con un difusor de aire de paletas de flujo, no atascable, a través del cual se pueda introducir aire a baja presión, a aproximadamente 20 a 35 kPa, para el cemento perdido que se ha asentado fuertemente en los silos. Los silos de almacenaje deben ser limpiados frecuentemente, preferiblemente una vez al mes, para evitar que se recubran de cemento.

Cada compartimento de la tolva a partir de la cual se dosifica el cemento, tiene que incluir una compuerta por separado, un transportador de tornillo sinfín, un tobogán de aire, un alimentador rotatorio u otro tipo de transportador que permita lograr efectivamente tanto un flujo constante como un corte preciso para obtener una dosificación precisa del cemento.

Es necesario estar seguros de que el cemento se transfiere al silo correcto mediante el monitoreo detallado de los procedimientos y del equipamiento. El polvo fugitivo se controlará durante la carga y transferencia.

Los sacos de cemento deben ser apilados sobre pallets o plataformas similares para permitir una adecuada circulación del aire. Para un período de almacenaje de menos de 60 días, se apilan los

sacos a alturas no mayores de 14 capas y para períodos mayores, no mayor de 7 capas. Como precaución adicional el cemento más viejo tiene que ser utilizado primero.

2.4 – Escorias granuladas y puzolanas

Las cenizas volantes, las escorias granuladas y otras puzolanas se manipularán, se transportarán por cintas y se almacenarán de igual forma que el cemento. Sin embargo las tolvas estarán completamente separadas de las del cemento, sin paredes comunes que puedan permitir que el material se escape hacia la tolva del cemento. Hay que asegurarse de que ninguno de estos materiales se carguen dentro de una tolva de cemento durante la entrega.

2.5 – Los aditivos

La mayoría de los aditivos químicos se entregan en fase líquida y deben protegerse de los agentes del intemperismo.

Hay que evitar el almacenaje de los aditivos líquidos a largo plazo en tanques con respiraderos. La evaporación del líquido puede afectar de forma adversa el desempeño de los aditivos (ACI 212.3R).

2.6 – El agua y el hielo

El agua para la producción de hormigón se suministrará desde los sistemas municipales o de la ciudad, o desde cualquier otra fuente que se determine previamente que resulta adecuada. Si la fuente es cuestionable, la calidad del agua será ensayada para verificar que cumple los requerimientos establecidos en la ASTM C94. El hormigón producido con agua reciclada de lavado puede mostrar variaciones en su resistencia, en el tiempo de fraguado y en su respuesta a los aditivos químicos y a la incorporación de aire. El agua reciclada de lavado se requiere que cumpla con los requisitos químicos establecidos en la ASTM C94. Puede ser necesario hacer alguna compensación para los sólidos presentes en el agua reciclada, de manera de mantener el rendimiento del hormigón y el contenido total de agua en el mismo.

El dosificador del agua y las tuberías de agua tienen que estar libres de salideros.

Si se utiliza hielo, las facilidades para el hielo, incluyendo el equipamiento para la dosificación y el transporte del mismo a la mezcladora, tienen que estar adecuadamente aisladas para evitar que el hielo se derrita antes de que esté dentro de la mezcladora.

2.7 – Refuerzo con fibras

El refuerzo con fibras sintéticas está disponible por la mayoría de los fabricantes, para un metro cúbico o para varios metros cúbicos. Estas unidades pre-empacadas deben estar fácilmente asequibles de manera que se puedan añadir directamente a la mezcladora durante el proceso de dosificación.

Las fibras de acero se empaquetan en varios tamaños; los más comunes son en incrementos de 23 o de 45 kg. Se debe emplear el equipamiento adecuado para dispersar las fibras dentro de la mezcladora, para minimizar la formación potencial de bolas de fibras. Las fibras de acero se almacenarán de manera que no sean expuestas a la humedad u otras materias extrañas. Para mayor información sobre el trabajo con las fibras de acero, vea el ACI 544.3R.

CAPITULO 3 – MEDICION Y DOSIFICACIÓN

3.1 – Requisitos Generales

3.1.1 Objetivos – Un importante objetivo en la producción del hormigón es alcanzar la uniformidad y homogeneidad en los parámetros indicados por las propiedades físicas tales como el peso unitario, el asentamiento, el contenido de aire, la resistencia y el peso unitario del mortero libre de

aire tanto en dosificaciones individuales, como en dosificaciones sucesivas de la mezcla con las mismas proporciones (Departamento de Reclamaciones de los EE.UU 1981, Departamento de Comercio 1966, Bozarth 1967, ASTM C94, Cuerpo de Ingenieros 1994b). Durante las operaciones de medición, los áridos se manipularán de manera que se mantenga la granulometría deseada y todos los otros materiales se medirán dentro de las tolerancias consideradas como Aceptables según la reproducibilidad deseada de la mezcla de hormigón seleccionada. Otro objetivo importante de una dosificación exitosa es dar la secuencia y el mezclado adecuados de los ingredientes (Departamento de Comercio de los EEUU 1966, Bozarth 1967). De mucha ayuda en alcanzar estos objetivos es la observación visual de cada material en la medida en que es dosificado.

3.1.2 Tolerancias – la mayoría de las especificaciones emitidas por las organizaciones ingenieriles, contienen requerimientos detallados para el equipamiento de dosificación para hormigón manual, semiautomático, parcialmente automático y automático (Buró de Reclamaciones de los EE.UU.1981, Cuerpo de Ingenieros 1994a, ASTM C94, AAASHTO 1993). El equipamiento de dosificación que se encuentra corrientemente en el mercado opera dentro de las tolerancias de pesaje usuales especificadas, cuando el equipamiento se mantiene en buenas condiciones mecánicas. Las “Normas de plantas de hormigón del Buró de fabricantes de plantas de hormigón” (Buró de Fabricantes de plantas de hormigón 1996a) y el Código de Buena Práctica para el equipamiento de dosificación y los sistemas de control en las Plantas dosificadoras de hormigón” (Buró de Fabricantes de plantas de hormigón 1996a) se utilizan frecuentemente para establecer las especificaciones de la dosificación y la precisión de la báscula. Las tolerancias de dosificación comúnmente empleadas se indican en la Tabla 3.1.2.

Otros requerimientos comúnmente utilizados incluyen: Las divisiones de la escala de la báscula serán del 0,1% de su capacidad total y el entrelazado de la dosificación del 0,3% de la capacidad total a balance cero (Buró de Fabricantes de plantas de hormigón 1996a); la cantidad de aditivo que se pesa, nunca debe ser tan pequeña que el 0,4% de la capacidad total de la báscula exceda el 3% del peso requerido; el aislamiento del equipamiento dosificador de la vibración de la planta; la protección del sistema de control automático del polvo y del intemperismo; y el chequeo y limpieza frecuente de la báscula y del punto de pivote de la barra. Con una buena inspección y operación de la planta, el equipamiento dosificador debe desempeñarse de forma consistente dentro de las tolerancias requeridas.

Tabla 3.1.2 — Tolerancias típicas para la dosificación

Ingredientes	Peso de la amasada mayor del 30% de la capacidad de la báscula		Peso de la amasada menor del 30% de la capacidad de la báscula	
	Dosificación individual	Dosificación acumulativa	Dosificación individual	Dosificación acumulativa
Cemento y otros materiales cementicios	± 1% de la masa requerida o ± 0,3% de la capacidad de la báscula (se toma el valor mayor)		No menos del peso requerido o un 4% más que el peso requerido	
Agua (por volumen o peso), %	± 1	No se recomienda	± 1	No se recomienda
Áridos, %	± 2	± 1	± 2	± 0,3% de la capacidad de la báscula o ± 3% del peso acumulativo requerido (se toma el menor valor)
Aditivos (por volumen o peso), %	± 3	No se recomienda		No se recomienda

3.2 – Tolvas y dosificadores gravimétricos

Las tolvas de las plantas y sus componentes serán de magnitud adecuada para complacer la capacidad productiva de la planta. Los compartimientos en las tolvas tienen que separar los diferentes materiales del hormigón y la forma y disposición de las tolvas de áridos tienen que conducir a evitar a toda costa la segregación del árido y su trituración. Las tolvas de los áridos se diseñarán de manera que el material no pueda quedarse colgado en la tolva o verterse de un compartimiento a otro.

Los dosificadores gravimétricos se cargarán con compuertas bivalvas o de tipo radial que sean fácilmente operables. Las compuertas utilizadas para los dosificadores con carga semiautomática y totalmente automáticas se operan con dosificadores accionados mecánicamente con un adecuado control paulatino para permitir la precisión deseada en el pesaje. Los dosificadores gravimétricos tienen que estar accesibles para obtener muestras representativas, y tienen que ser ubicados de manera de obtener la secuencia apropiada en el mezclado de los áridos durante la carga de la mezcladora.

En la Figura 3.1 se ilustra el diseño apropiado e inapropiado y la disposición de las tolvas de la planta dosificadora y de los dosificadores gravimétricos.

3.3 – Tipo de planta

Los factores que afectan la selección de los sistemas de dosificación son: 1) La magnitud del trabajo; 2) El ritmo requerido de producción; y 3) Las normas requeridas del desempeño de la dosificación. La capacidad de producción de una planta dosificadora se determina mediante una combinación del sistema de manipulación de los materiales, la magnitud de la tolva, el tamaño del dosificador y el número y magnitud de la mezcladora.

El equipamiento disponible para la dosificación gravimétrica cae dentro de cuatro categorías generales: manual, parcialmente automática, semiautomática y completamente automática (Buro de fabricantes de plantas de hormigón 1966a)

3.3.1 Dosificación gravimétrica manual – Como el nombre indica, todas las operaciones de pesaje y dosificación de los ingredientes del hormigón se controlan manualmente, Las plantas manuales son aceptables para pequeños trabajos que tengan requerimientos de bajos ritmos de dosificación.

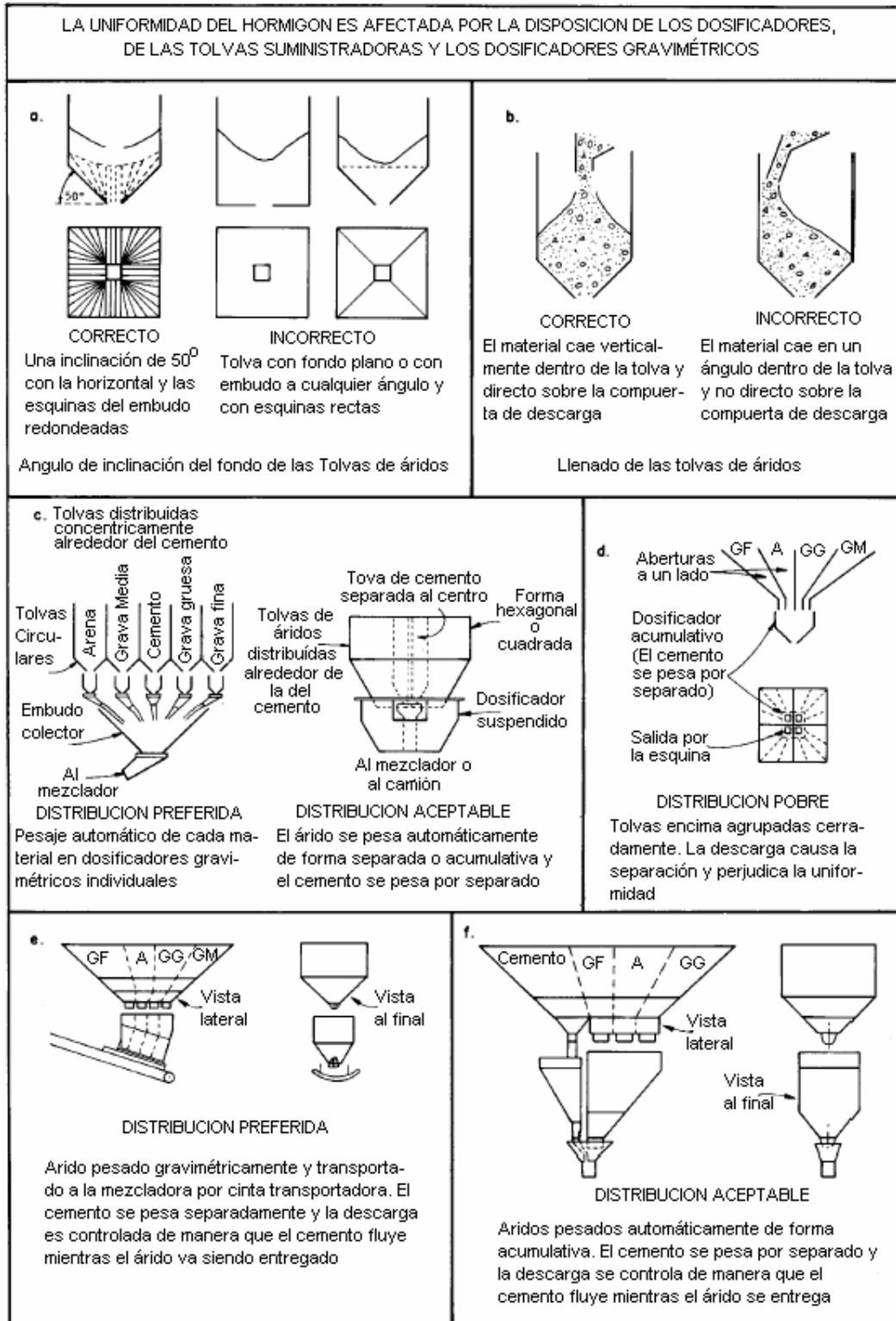


Figura 3.1 — Métodos correctos e incorrectos de dosificación

En la medida en que se incrementa el volumen de los trabajos se justifica rápidamente la automatización de las operaciones de dosificación. Los intentos de incrementar la capacidad de las plantas con control manual mediante una dosificación más rápida, dan por lo general como resultado excesivas inexactitudes en el pesaje.

3.3.2 Dosificación gravimétrica parcialmente automática – Un sistema parcialmente automático consiste en una combinación de controles de dosificación donde como mínimo uno de los controles de pesaje ya sea para el cemento o los áridos es semiautomático o automático, como se describe a continuación. El pesaje de los restantes materiales se controla manualmente y el entrelazado mínimo del sistema de dosificación es en cualquier grado opcional. Este sistema puede también perder exactitud cuando se requiera una dosificación rápida.

3.3.3 Dosificación gravimétrica semiautomática – En este sistema, las compuertas de las tolvas de los áridos para la carga, se abren mediante botones o interruptores operados manualmente. Las compuertas se cierran automáticamente cuando se ha entregado el peso diseñado de los materiales. Con un mantenimiento satisfactorio de este tipo de planta, las tolerancias de la dosificación cumplirán las tolerancias indicadas en la sección 3.1.2. El sistema contiene entrelazados que evitan que la carga del dosificador y la descarga del mismo ocurran simultáneamente. En otras palabras, cuando el dosificador está siendo cargado, no puede ser descargado, y cuando está siendo descargado, no puede ser cargado. Es esencial poder efectuar la confirmación visual de la lectura de la báscula para cada material que es pesado.

3.3.4 Dosificación gravimétrica automática – La dosificación gravimétrica automática de todos los materiales se activa mediante un simple interruptor de inicio. El entrelazado del sistema sin embargo, interrumpe el ciclo de dosificación cuando la báscula no retorna al 0,3% del balance cero, o cuando se excedan las tolerancias de peso previamente establecidas y que están detalladas en el apartado 3.1.2.

3.3.4.1 Dosificación gravimétrica automática acumulativa – Se requieren controles secuenciales entrelazados para este tipo de dosificación. El pesaje no comenzará y será automáticamente interrumpido cuando las tolerancias preestablecidas en cualquiera de los pesos sucesivos excede los valores mostrados en la sección 3.1.2. El ciclo de carga no comenzará cuando la compuerta de descarga del dosificador está abierta y cuando cualquiera de los pesos indicados de los materiales no está dentro de las tolerancias aplicables. El preestablecimiento de los pesos de los materiales deseados se completa mediante equipos tales como ponchadoras de tarjetas, interruptoras digitales, diales rotatorios y computadoras. Se establecen los pesos, comienza el ciclo de dosificación y la descarga del material dosificado es manualmente controlada. Para un buen control de la planta se requieren selectores de la magnitud de la mezcla y la amasada, medidores de la humedad de los áridos, compensadores manuales controlados de la humedad del árido fino y dispositivos digitales para llevar un récord del pesaje de cada material (Van Alstine 1955; Lovern 1966). Este tipo de sistema dosificador garantiza mayor aproximación para producciones de elevada velocidad en comparación con los sistemas de control manual y semiautomáticos. Un registrador digital puede tener un dispositivo sencillo de medición para cada báscula o una serie de dispositivos de medición pueden registrarse en la misma cinta o ticket. Este tipo de registrador reproducirá la lectura de la báscula dentro de 0,1% de la capacidad de la báscula o de un incremento de cualquier dispositivo de medición volumétrica. Un registrador digital de la documentación de la dosificación registrará la información sobre cada material en la mezcla, junto con la identificación de la mezcla, la magnitud de la amasada y la identificación de la instalación de producción. La información requerida puede ser impresa, escrita o estampada en el documento. El registrador identificará la carga mediante un número de conteo de la amasada o

mediante un número de serie del ticket. El registrador, si está entrelazado con un sistema de dosificación automático, mostrará una indicación simple de todos los sistemas dosificadores puestos en cero, o un balance de entrelazado vacío. Todos los registradores producirán dos o más vales o albaranes que contienen la información previamente establecida y también dejarán espacio para la identificación del trabajo o proyecto, la ubicación del lugar, el contenido de humedad de la arena, el vehículo de entrega, la firma del chofer, la firma del representante del comprador y la cantidad de agua o aditivo añadido en el lugar de vertido.

3.3.4.2 Dosificación gravimétrica automática individual – Este sistema garantiza básculas separadas y dosificadores para cada tipo de árido y para cualquier otro material dosificado. El ciclo de pesaje se inicia mediante un simple interruptor de arrancada y los dosificadores individuales se cargan simultáneamente, están entrelazados para la interrupción del pesaje y los ciclos de descarga cuando se exceden las tolerancias. Los selectores de la mezcla, los medidores de humedad de los áridos y los compensadores y registradores difieren solo ligeramente de los descritos para los sistemas de dosificación acumulativos.

3.4 – Materiales cementicios

3.4.1 Dosificación – Para elevados volúmenes de producción se requiere una dosificación rápida y precisa. Los materiales cementicios a granel se pesarán con equipamiento automático mejor que con semiautomático o manual. Todo equipamiento tiene que garantizar el acceso para la inspección y para permitir el muestreo en cualquier momento. Las tolvas y los dosificadores gravimétricos tienen que ser equipados con dispositivos de presión de aire, o vibradores, o ambos, para ayudar a la descarga completa y suave del dosificador. Se tienen que utilizar los entrelazados del retorno a "cero" y de la tolerancia de pesaje que fueron descritos en el apartado 3.1.2. El cemento se dosificará de forma separada y se mantiene separado de todos los ingredientes antes de la descarga. Cuando se dosifican cementos y puzolana, o escoria, se tienen que utilizar silos separados, ellos se pueden dosificar de forma acumulativa sólo si el cemento es pesado primero.

3.4.2 La descarga - Hay que tomar precauciones efectivas para evitar la pérdida de los materiales cementicios durante la carga de la mezcladora. En las plantas de paradas múltiples, donde los materiales se cargan separadamente, se pueden minimizar las pérdidas durante la descarga de los materiales cementicios, empleando una canal de caída, de caucho. En las plantas de una sola parada, el cemento y la puzolana puede ser cargados con éxito conjuntamente con el árido mediante una canal de descarga telescópica, de caucho. Para las plantas mezcladoras, se utilizará una tubería para descargar los materiales cementicios en un punto cercano al centro de la mezcladora, después de que el agua y los áridos han comenzado a entrar a la mezcladora. Una secuencia adecuada y consistente y el mezclado de los ingredientes dentro de la mezcladora durante la operación de carga, contribuirá significativamente a un mantenimiento de la uniformidad de amasada a amasada y quizás a un reducido tiempo de mezclado, cuando sea confirmado por el ensayo del desempeño de la mezcladora (Departamento de Comercio de los EEUU 1966, Gaynor y Mullarky 1975, ASTM C94).

3.5 - Medición de la cantidad de agua y hielo

3.5.1 Equipo dosificador – En trabajos de gran magnitud en plantas centralizadas dosificadoras y mezcladoras, donde se requiere un elevado volumen de producción, la medición con precisión de la cantidad de agua y hielo solo se puede obtener mediante la utilización de dosificadores gravimétricos o medidores automáticos. EL equipamiento y los métodos utilizados tienen que ser capaces bajo las condiciones de operación, de una medición de rutina que esté dentro del 1% de

la tolerancia especificada en el apartado 3.1.2. Se pueden permitir tanques o cilindros verticales con sifón de descarga central como una parte auxiliar del pesaje, pero no se pueden utilizar como medios directos de medición del agua. Para una medición de precisión, se utilizará un medidor digital de litros. Todo el equipamiento para la medición de la cantidad de agua será diseñado para una fácil calibración, de manera que la precisión pueda ser rápidamente verificada. El equipamiento para la dosificación de hielo estará aislado para evitar que el hielo se derrita.

3.5.2 Determinación de la humedad del árido y compensación de la dosificación – La medición correcta de la cantidad de agua de mezclado depende de conocer la cantidad y variación de la humedad en el árido (particularmente en el árido fino, cuando éste es dosificado). El árido que no está saturado y con la superficie seca absorberá agua de la mezcla de hormigón. Frecuentemente se utilizan en las plantas medidores de humedad del árido fino y cuando son mantenidos de forma adecuada, indican satisfactoriamente los cambios en el contenido de la humedad del árido fino. La utilización de los medidores de humedad se recomienda también en los tamaños finos del árido grueso, si éstos materiales varían su contenido de humedad. Los medidores de humedad se calibrarán para muestras secas en estufa hasta peso constante para lograr una consistencia óptima de las lecturas.. Los medidores de humedad deben ser recalibrados mensualmente o cuando se detecten inconsistencias en el asentamiento del hormigón producido.

El equipamiento para la compensación de la humedad puede también ser utilizado de manera que pueda reproporcionar los pesos del agua y del árido fino, cuando se produzca un cambio en la humedad del árido, con una sencilla colocación de ajuste. Los compensadores se utilizan usualmente en el árido fino, pero ocasionalmente se emplean también en las fracciones más pequeñas del árido grueso. La fijación de la humedad en los compensadores se hace manualmente con diales de calibración, botones, o niveladores. La utilización de compensadores de humedad es recomendable cuando se emplean conjuntamente con medidores calibrados de humedad o con ensayos convencionales de control de humedad que se ejecutan regularmente. Bajo estas condiciones, los compensadores pueden ser herramientas útiles para mantener un control satisfactorio del contenido del árido fino y del agua.

La mayoría de los sistemas de control computarizado poseen ahora softwares que están interconectados con los medidores de humedad o los equipos de compensación con la medición del árido fino y del agua. Las lecturas se toman automáticamente y se incorporan dentro de la dosificación de estos ingredientes. Algunos sistemas trabajan con una lectura individual, mientras que otros pueden registrar continuamente la humedad del árido fino que es dosificado. Independientemente del sistema utilizado, el software debe imponer los límites de humedad superiores e inferiores definidos por el usuario y deben alertar al operador cuando los valores de humedad están fuera de estos límites. Un mantenimiento y una calibración apropiados son esenciales para un desempeño satisfactorio y una producción consistente de hormigón.

3.5.3 *Agua de mezclado total* – Además de una medición precisa del agua añadida, la uniformidad en la medición del agua total incluye el control de las fuentes adicionales de agua, como es el agua de lavado de la mezcladora, el hielo y la humedad libre en los áridos. Una tolerancia especificada (ASTM C 94) para la precisión de la medición del agua total proveniente de todas las fuentes es de $\pm 3\%$. El mecanismo de los dispositivos de medición de agua debe ser de tal forma que no ocurran derrames (por goteo o arrastre) cuando se cierra la válvula. Los tanques de agua sobre los camiones hormigoneros o sobre cualquier otra mezcladora portátil deberán ser construidos de manera que el dispositivo indicador registrará la cantidad de agua descargada (dentro de la precisión especificada), independientemente de la inclinación de la mezcladora.

3.6 - Medición de los aditivos

Para los aditivos se preverán también las tolerancias de dosificación (Ver la sección 3.1.2) y las interconexiones de carga y descarga descritas previamente para los restantes ingredientes de la mezcla. Los equipamientos para la dosificación y dispensado deben ser fácilmente capaces de calibrar. Cuando se empleen dispensadores activados por temporizadores para aditivos en grandes volúmenes, como el cloruro de calcio, se utilizará un contenedor con un tubo visible calibrado para mostrar la cantidad de aditivo en el mismo (usualmente referido como "tubo de calibración"), para permitir una confirmación visual de que el volumen deseado se está dosificando correctamente. En la práctica se instalan tubos de calibración usualmente para todos los aditivos líquidos.

Para cualquier información adicional sobre las prácticas recomendadas en el uso y dispensado de los aditivos en el hormigón, dirigirse al ACI 212.3R.

3.7 - Medición de los materiales para trabajos pequeños

Si el volumen de hormigón en un trabajo es pequeño, puede ser que no sea práctico el establecimiento y mantenimiento de una planta dosificadora y mezcladora en el lugar de construcción. En estos casos puede ser preferible utilizar hormigón premezclado o la preparación del hormigón a pie de obra en mezcladoras volumétricas. En este caso, hay que tomar precauciones para garantizar la medición y dosificación adecuada de los materiales que se mezclan en el lugar de trabajo. Los sacos de materiales cementicios se protegerán de la humedad y no se deben utilizar fracciones de sacos a menos que estas sean pesadas. El dispositivo para medir el agua tiene que ser preciso y serio y no se puede exceder la capacidad de la mezcladora.

3.8 - Otras consideraciones

Además de la medición precisa de los materiales, hay que utilizar procedimientos de operación correctos si se desea mantener la uniformidad del hormigón. Hay que asegurar que los materiales se dosifican y mezclan en la secuencia correcta, de manera que sean cargados uniformemente dentro de la mezcla (Departamento de Comercio de los EEUU, 1966; Bozarth 1967). Organice la sala de control de la planta dosificadora, siempre que sea posible, de manera que el operador en su ubicación pueda ver con detalles y claridad las básculas y los dispositivos de medición durante la dosificación del hormigón, así como durante la carga, el mezclado y la descarga de la mezcla, sin abandonar la consola de operaciones. Algunas deficiencias comunes en la dosificación que deben evitarse son: Un solape de las dosificaciones, pérdidas de materiales, pérdida o eliminación de una parte de una dosificación, o su inclusión en otra

CAPITULO 4 - MEZCLADO Y TRANSPORTE

4.1 - Requisitos generales

Para la producción de un hormigón uniforme, de calidad, es esencial un minucioso mezclado, por lo tanto los métodos y los equipamientos deben ser capaces de garantizar un efectivo mezclado de los materiales componentes del hormigón que contienen el árido especificado de mayor tamaño, para producir mezclas uniformes del más bajo asentamiento práctico para el trabajo. En el ACI 211.1 se dan las recomendaciones sobre el tamaño máximo del árido y el asentamiento máximo para varios tipos de construcciones, para hormigones fabricados con cementos tipo ASTM C150 y C595M, y en el ACI223R para los hormigones fabricados con cementos hidráulicos expansivos ASTM C845. Hay que garantizar suficiente capacidad de mezclado, transporte y vertido, de

manera que las capas de hormigón sin terminar se mantengan en estado plástico y libre de juntas frías.

4.2 - Equipamiento de mezclado

Las mezcladoras pueden ser partes fijas de plantas mezcladoras centrales o de plantas portátiles. Las mezcladoras también pueden ser montadas sobre camión. Las mezcladoras diseñadas satisfactoriamente tienen una cuchilla o aleta y tendrán forma de tambora de manera que aseguren un intercambio de fin a fin de los materiales de forma paralela al eje de rotación, o un movimiento de ondulado, plegado y dispersión de la amasada sobre sí misma en la medida en que va siendo mezclada. Para descripciones adicionales de algunos de los variados tipos de mezcladoras hay que dirigirse a las publicaciones del Buró de fabricantes de plantas de hormigón (1966c) y al Buró de fabricantes de camiones hormigoneras (1966). Los tipos más comunes de mezcladoras son:

4.2.1 Mezcladora de tambor basculante - Es una mezcladora de tambor revoledor que descarga basculando el eje de la tambora. En la posición de mezclado, el eje de la tambora puede estar horizontal o a un ángulo con la horizontal.

4.2.2 Mezcladora de tambor no basculante - Es una mezcladora de tambor revoledor que carga, mezcla y descarga con el eje de la tambora en posición horizontal.

4.2.3 Mezcladora de eje vertical - Es frecuentemente denominada una mezcladora a turbina o de olla. El mezclado se efectúa mediante unas cuchillas o paletas rotatorias montadas sobre un eje vertical ya sea con una olla o tambora estacionaria o con una olla que rota en sentido contrario a las paletas. La amasada puede ser fácilmente observada y rápidamente ajustada si es necesario. Otras ventajas significativas son un mezclado rápido y en su conjunto no ser demasiado llamativas. Este tipo de mezcladora hace un excelente trabajo en el mezclado de hormigones secos y es frecuentemente utilizada para el mezclado en el laboratorio y para productos manufacturados de hormigón.

4.2.4 Mezcladoras de paletas de eje horizontal - Estas mezcladoras se definen en el ACI 116R como "mezcladoras que tienen un compartimiento cilíndrico estacionario, con el eje del cilindro horizontal y uno o más ejes rotatorios a los cuales se unen cuchillas o paletas", no obstante esta es una definición aproximada, hay muchos tipos, estilos y configuraciones. Estas mezcladoras pueden tener uno o dos ejes. Ellos pueden tener una cuchilla de configuración curva o paletas configuradas perpendicularmente al eje. En cualquier caso están diseñadas para plegar y mover el hormigón de un extremo de la mezcladora al otro. Estas mezcladoras son adecuadas para mezclas de hormigón secas y duras. Fueron en primer lugar utilizadas en la producción de bloques, bases de pavimento tratadas con cemento y hormigón compactado con rodillos. Nuevas versiones de estas mezcladoras son utilizadas en la producción de hormigones normales y de alta resistencia, con asentamientos por el cono de hasta 20 cm.

4.2.5 Camiones hormigoneras - Hay dos tipos de camiones hormigoneras en uso corriente: Con descarga trasera y con descarga frontal. Predominan las de descarga trasera con la mezcladora de eje inclinado. En ambas, las aletas pegadas al interior de la tambora mezclan el hormigón en la forma de mezclado y también lo pueden descargar, cuando la tambora gira en sentido contrario.

4.2.6 Equipos para el mezclado continuo - Hay dos tipos de equipos disponibles para el mezclado continuo. En el primer tipo, todo los materiales entran juntos en la base de la canal de mezclado. El mezclado se efectúa mediante una cuchilla en espiral que rota a una velocidad relativamente alta dentro de la canal cerrada, que está inclinada entre 15 y 25 grados con la

horizontal. Esta puede ser móvil (montada sobre un chasis de camión o un remolque) o estacionaria. El segundo tipo es una mezcladora de paletas de eje horizontal que se utiliza generalmente para el hormigón compactado con rodillos y para las bases tratadas con cemento. Los áridos, el cemento y las cenizas volantes se dosifican por peso y se alimentan en el extremo de carga de la mezcladora mediante una cinta transportadora de velocidad variable. El agua se mide ya sea mediante un tanque adjunto o una fuente externa. El mezclado se ejecuta mediante las paletas que están unidas a uno o dos ejes rotatorios horizontales. La mezcla es levantada y volteada en la medida en que se mueve desde el punto de carga al de descarga de la mezcladora, donde la mezcla ya acabada se descarga sobre una cinta transportadora elevada para una fácil carga dentro del camión. Estos tipos de mezcladoras de alimentación continua pueden ser utilizadas para hormigones normales en general. Pueden ser consideradas plantas semi-móviles ya que se montan sobre ruedas y se pueden dismantelar para el transporte.

Se ha excluido aquí la referencia al Capítulo 13 sobre el equipamiento de mezclado continuo y de medición volumétrica de los materiales.

4.2.7 Mezclado separado de la pasta – Los trabajos experimentales han mostrado que el mezclado del cemento y el agua formando una pasta, antes de combinar estos materiales con los áridos, puede incrementar la resistencia a compresión del hormigón resultante (Mass 1989). La pasta se mezcla generalmente en una mezcladora de alta velocidad, de tipo de rotura con relación agua/material cementicio en peso de 0,30 a 0,45. La pasta premezclada se combina entonces con los áridos y cierta agua de dosificación remanente y se completa el mezclado final en un equipo convencional de mezclado.

4.3 – Hormigón mezclado en planta

El hormigón mezclado en la planta, se mezcla completamente en una mezcladora estacionaria y se transfiere a otro equipo para su entrega. Este equipo de transporte puede ser un camión de servicio de hormigón premezclado operando como agitador, o un camión de cama abierta con o sin agitador. La tendencia del hormigón a segregarse limita la distancia a la que puede ser transportado en equipos que no están dotados de agitador. Si un camión mezclador o un camión equipado con agitador se emplea con una planta de mezclado central, la norma ASTM C94 limita el volumen de hormigón cargado en el camión al 80% del volumen de la tambora o del camión.

Algunas veces la mezcladora central mezclará parcialmente el hormigón para concluir su mezclado y su transporte en un camión mezclador. Este proceso se denomina frecuentemente “mezclado parcial” y reduce el volumen de mezcla que se puede cargar. Cuando se emplea el mezclado parcial, la norma ASTM C94 limita el volumen de hormigón cargado en el camión al 63% del volumen de la tambora.

4.4 – Hormigón mezclado en el camión

El mezclado en el camión es un proceso por el cual los materiales del hormigón previamente dosificados por una planta dosificadora, se cargan dentro de una camión hormigonera para ser mezclados y entregado el hormigón en el proyecto de construcción. Para lograr el mezclado, el volumen total absoluto de todos los ingredientes dosificados en la tambora del camión revolador no deberá exceder del 63% del volumen de la tambora (Buró de fabricantes de mezcladoras 1996; ASTM C94)

4.5 – Cargado y mezclado

El método y la secuencia de carga de las mezcladoras es de gran importancia en un mezclado apropiado. Para las mezcladoras centrales en plantas, es esencial la obtención de un premezclado íntimo o un efecto de cinta mediante la carga del cemento y los agregados

simultáneamente, como una corriente de material que fluye al interior de la mezcladora (Departamento de Comercio de los EEUU 1966; Bozarth 1967; Gaynor y Mullarky 1975).

En los camiones mezcladores, todos los procedimientos de carga se diseñan para evitar el empaquetamiento del material, particularmente de la arena y el cemento en la cabeza de la tambora durante la carga. La probabilidad del empaquetamiento disminuye colocando aproximadamente un 10% del árido grueso y del agua en la mezcladora antes de la arena y el cemento.

Generalmente se añade aproximadamente de 1/4 a 1/3 del agua en el punto de descarga de la tambora después que todos los ingredientes han sido cargados. Las tuberías para la carga del agua serán del diseño adecuado y de suficiente caudal para que el agua entre a un punto bien adentro de la mezcladora y que la carga se complete dentro del primer 25% del tiempo de mezclado (Gaynor y Mullarky 1975). Para cualquier discusión adicional sobre el agua de mezclado vea el apartado 4.5.3.1.

La eficiencia de los aditivos químicos variará en dependencia del momento en que son añadidos durante la secuencia del mezclado. Siga siempre las recomendaciones del suministrador de los aditivos acerca de cuando añadir un producto en particular. Una vez que se determina el tiempo adecuado en la secuencia, los aditivos químicos se cargarán a la mezcladora en el mismo punto en la secuencia de mezclado para cada amasada.

Los aditivos reductores del agua de amasado (plastificantes y superplastificantes) no deben ser cargados con el agua, pues si los áridos tienen cierta capacidad de absorción, se puede perder una parte notable de su efecto. Es recomendable en este caso incorporarlos a la mezcla de hormigón ya preparada.

Los aditivos líquidos cuando se especifique por su fabricante se deben cargar con el agua o sobre la arena húmeda y los aditivos en polvo se deben introducir en la corriente de carga en forma de cinta dentro de la mezcladora, con los otros ingredientes secos. Cuando se utiliza más de un aditivo, cada uno debe ser dosificado separadamente a menos de que el fabricante permita su mezclado previo.

El refuerzo con fibra sintética puede ser añadido en cualquier momento durante el proceso de mezclado, con tal de que se efectúe como mínimo un mezclado de 5 minutos después de la adición de la fibra.

4.5.1 Mezclado central en planta – Los procedimientos para la carga de la mezcladora central son menos restrictivos que los necesarios para los camiones hormigoneras, pues la tambora revoladora de una mezcladora central, no se carga tan llena como la de un camión hormigonera y las cuchillas y la acción mezcladora son muy diferentes. En un camión hormigonera hay una pequeña acción envolvente, si se compara con la de una mezcladora estacionaria. La magnitud de la amasada, sin embargo no excederá la capacidad establecida por el fabricante, indicada sobre la chapilla del nombre de la mezcladora.

El tiempo de mezclado requerido estará basado en la posibilidad de la mezcladora para producir un hormigón uniforme durante la amasada, y de amasada a amasada. Las recomendaciones del fabricante y otras recomendaciones típicas, como la que establece de 1 minuto de mezclado por cada 3/4 de metro cúbico, más 1/4 de minuto para cada metro cúbico adicional, se pueden emplear como guías satisfactorias para establecer un tiempo inicial de mezclado. Los tiempos finales de mezclado, sin embargo estarán basados en los resultados de los ensayos de comportamiento de la mezcladora que se hacen a intervalos frecuentes durante la duración del trabajo (Buró de Reclamación de los EEUU. 1981; Departamento de Comercio de la EE.UU. 1966; Norma ASTM C94; CRD-C 55). El tiempo de mezclado se medirá a partir del momento en que todos los ingredientes están en la mezcladora. En las plantas automáticas se suministran

temporizadores de amasada con indicadores de audio en combinación con conectores que evitan un mezclado insuficiente o el sobremezclado de la amasada, con la descarga después del completamiento de un tiempo de mezclado prefijado. Estos equipos son recomendados para las plantas de control manual. La mezcladora será diseñada para arrancar y parar bajo condiciones de carga llena.

4.5.2 Mezclado en camión - Generalmente se especifican de 70 a 100 revoluciones a velocidad de mezclado para los camiones hormigoneras. La norma ASTM C 94 limita el número total de revoluciones a un máximo de 300. Esto evita la trituración de los áridos blandos, la pérdida de asentamiento, la abrasión de la mezcladora y otros efectos indeseables que pueden ocurrir en tiempo caliente. El mezclado final puede ser hecho en el patio del productor, o más comúnmente en el lugar de la obra.

Si existen plazos adicionales de tiempo después del mezclado y antes de la descarga, la velocidad de la tambora se reduce a velocidad de agitación o se detiene. Entonces antes de la descarga, la mezcladora se operará a velocidad de mezclado durante aproximadamente 30 revoluciones para mejorar la uniformidad.

La carga de la mezcladora, el mezclado y las velocidades de agitación varían con cada camión y con el fabricante. La norma ASTM C94 establece que estas velocidades y la capacidad de mezclar y agitar de cada tambora serán mostradas en la chapilla pegada a la unidad.

El tiempo máximo de transporte se puede extender mediante varios procedimientos diferentes. Estos procedimientos son frecuentemente denominados dosificación en seco y se desarrollan para satisfacer transportes largos y demoras inevitables en el vertido intentando posponer el mezclado del cemento con el agua. Cuando el cemento se pone en contacto con los áridos húmedos, la humedad libre de los áridos da como resultado cierta hidratación del cemento Portland, por lo tanto esta opción es sólo posible si se emplean los áridos secos.

Por lo tanto un método consiste en que los materiales secos son dosificados dentro del camión hormigonera y transportados hasta el lugar de vertido donde se añade toda el agua de mezclado. El agua se añadirá bajo presión, preferiblemente tanto en la parte frontal como trasera de la tambora, que se encuentra girando a velocidad de mezclado, y entonces el mezclado se completa con las usuales 70 a 100 revoluciones. El volumen total del hormigón que puede ser transportado en los camiones hormigoneras por este método es el mismo que para el mezclado regular en estos equipos, o sea aproximadamente el 63% del volumen de la tambora (Buró de Fabricantes de camiones hormigoneras 1996, ASTM C94).

Otra variante para satisfacer el transporte prolongado es emplear aditivos retardadores del fraguado. El hormigón se mezcla y se trata con el aditivo antes de salir de la planta. La dosis de aditivo es típicamente seleccionada para que desaparezca poco después de que el hormigón arribe al lugar de vertido, permitiendo que el hormigón fragüe normalmente. En algunas ocasiones, se añade un acelerador en el lugar de vertido para activar el hormigón una vez que arribe. Se ha transportado hormigón a más de 320 Km. utilizando esta técnica.

4.5.3 El agua

4.5.3.1 El agua de mezclado – El agua requerida para una consistencia adecuada del hormigón (asentamiento) se afecta por variables tales como la cantidad y el ritmo de mezclado. La duración del transporte, el tiempo de la descarga y las condiciones de la temperatura ambiental. En tiempo frío, o para transportes cortos y entrega rápida, los problemas de la pérdida o variación del asentamiento, los requisitos de excesiva cantidad de agua de mezclado y los problemas de descarga, manipulación y vertido, ocurren raramente. Lo contrario es sin embargo un problema cuando el ritmo de entrega es lento o irregular, las distancias de transporte son largas y el tiempo es cálido. La pérdida de laborabilidad en tiempo caliente puede ser minimizada mediante una

entrega y un vertido acelerado y mediante el control de la temperatura del hormigón. Es esencial una buena comunicación entre la planta dosificadora y el lugar de vertido para la coordinación de la entrega. Puede ser necesario utilizar un retardador o preferiblemente un aditivo capaz de mantener la consistencia de la mezcla por tiempo prolongado para extender el tiempo en que el hormigón responda a la vibración después de que sea colocado. Cuando sea posible, toda el agua de mezclado se añadirá en la planta dosificadora. En tiempo caliente sin embargo, es posible retener una parte del agua de mezclado hasta que la mezcladora llegue al lugar de trabajo. Con la adición del agua restante se requiere de 30 revoluciones adicionales de la tambora a velocidad de mezclado para que el agua adicional se incorpore adecuadamente dentro de la mezcla. Cuando la pérdida del asentamiento no puede ser compensada por estas medidas, deben considerarse los procedimientos descritos en el apartado 4.5.2.

4.5.3.2 Adición de agua en el lugar - La relación máxima agua/material cementicio especificada o aprobada no debe ser nunca excedida.

Si toda el agua permitida por la especificación o por las proporciones aprobadas de la mezcla no ha sido añadida al comienzo del mezclado, puede ser permitido, en dependencia de la especificación del proyecto añadir el agua remanente en el lugar de la entrega. Una vez que se ha descargado una parte de la amasada, sin embargo es poco práctico poder determinar la relación agua/material cementicio real producida por el agua adicional.

Está prohibida la producción de hormigón con asentamiento excesivo o con adición de agua en exceso de la relación agua/material cementicio proporcionada, para compensar la pérdida de asentamiento debido a demoras en la entrega o en el vertido. Las solicitudes continuadas para la adición de agua a la mezcla deben ser investigadas.

Donde sea permitido, se le puede añadir al hormigón un aditivo reductor de agua (plastificante o superplastificante), para incrementar el asentamiento, mientras mantiene una baja relación agua/material cementicio (Asociación del Cemento y el Concreto 1976; Instituto del hormigón pretensado 1981). La adición del aditivo puede hacerse por el suministrador del hormigón o por el contratista mediante una variedad de técnicas.. Cuando se emplee este aditivo, se reduce la vibración para consolidación, sin embargo a menos que se emplee un hormigón autocompactante, mediante un diseño especial de mezcla siempre será necesario alguna vibración para remover el aire atrapado en el encofrado. El empleo de estos aditivos puede además incrementar la presión en los encofrados.

4.5.3.3 El agua de lavado – La mayoría de los productores encuentran necesario enjuagar las aletas de la mezcladora entre cargas y lavan y descargan la mezcladora completa solamente al final del día carga. El tiempo caliente y el empleo de dosificaciones no usuales de la mezcla pueden requerir de lavado y de descarga del agua de lavado después de cada carga. El agua de enjuague no permanecerá en la mezcladora, a menos de que pueda ser compensada aproximadamente en una amasada sucesiva. El agua de enjuague puede ser eliminada de la mezcladora girando la tambora en sentido contrario a la carga durante 5 a 10 revoluciones a velocidad media. Las regulaciones para el control de la polución hacen que se incrementen las dificultades para botar el agua de lavado después de cada carga y han creado interés en los sistemas de reciclaje y reuso tanto del agua de lavado como de los áridos del hormigón retornado. La Norma ASTM C94 describe el reuso del agua de lavado, basado en ensayos prescritos. Una atención especial es necesario cuando los aditivos que están siendo empleados pueden cambiar dramáticamente las dosis requeridas. Cuando se utiliza el agua de lavado, los aditivos que así se prescriban por el fabricante se dosificarán dentro de una cantidad limitada de agua limpia o con la arena húmeda.

El agua de lavado puede también ser tratada utilizando aditivos retardadores del fraguado. En este caso se añadirá una cantidad limitada de agua de lavado a la tambora después de que todos los materiales sólidos se hayan descargado. Se utilizan típicamente 200 litros, en lugar del normal (2000 litros). El aditivo se añade en la tambora y la tambora se rota para asegurar que se cubran todas las superficies. Esta agua tratada puede permanecer en el camión toda la noche e incluso todo el fin de semana. A la siguiente mañana o al comenzar la nueva semana, el hormigón se puede dosificar utilizando el agua tratada como parte del agua de mezclado. Tomando en cuenta la pequeña cantidad de aditivo utilizada para esta aplicación, usualmente no se requiere de un aditivo activador.

4.6 - Temperatura de la mezcla

La uniformidad de un hormigón de amasada a amasada en una mezcladora, particularmente en lo que respecta al asentamiento, el requerimiento de agua y el contenido de aire, dependen además de la uniformidad de la temperatura del hormigón. Es importante el control de las temperaturas máxima y mínima del hormigón a través de todas las estaciones del año.

En hormigón se puede enfriar utilizando hielo, agua de mezclado fría, áridos fríos o nitrógeno líquido.

Se han eliminado las especificaciones para las temperaturas muy bajas en el momento del vertido

El nitrógeno líquido a temperatura de -196°C se puede utilizar para enfriar la mezcla de agua, áridos o del hormigón (Anon. 1977). Se ha inyectado nitrógeno líquido directamente en las centrales mezcladoras, en los camiones hormigoneras o en ambas, para alcanzar la temperatura requerida en el hormigón (Anon. 1988). En el ACI 305R se discuten en detalle las recomendaciones para el control de la temperatura del hormigón en tiempo caliente.

4.7 – La descarga

Las mezcladoras deben ser capaces de descargar el hormigón del más bajo asentamiento adecuado para la estructura que se está construyendo, sin segregación (separación del árido grueso del mortero). Antes de la descarga del hormigón transportado en camiones hormigoneras, la tambora se rotará de nuevo a velocidad de mezclado durante 30 revoluciones para re-mezclar el posible material estancado que esté cerca del punto de descarga dentro de la amasada.

4.8 – Desempeño de la mezcladora

El desempeño de las mezcladoras se determina usualmente mediante una serie de ensayos uniformes que se hacen sobre las muestras tomadas de 2 o tres locaciones diferentes dentro de la amasada de hormigón, después que ésta ha sido completamente mezclada para un período dado de tiempo (Buró de Reclamación de los EEUU 1981, ASTM C94 y CRD-C 55). Los requerimientos del desempeño de la mezcladora están basados en las diferencias permisibles en los resultados de los ensayos de cualquiera de dos locaciones o una comparación de las locaciones individuales con el promedio de todas las locaciones. Los procedimientos publicados por Gaynor y Mullarky (1975) son una referencia excelente.

Entre los varios ensayos utilizados para chequear el desempeño de la mezcladora, son los siguientes los más comunes: Contenido de aire; Asentamiento; Peso Unitario del mortero libre de aire; contenido de árido grueso y resistencia a compresión.

Otro importante aspecto del desempeño de la mezcladora es la uniformidad de amasada a amasada del hormigón, que se afecta también por la uniformidad de los materiales y su medición así como por la eficiencia de la mezcladora. La observación visual del hormigón del hormigón durante el mezclado y la descarga desde la mezcladora es una ayuda importante en el mantenimiento de una mezcla uniforme, particularmente con una consistencia uniforme.

Algunos tipos de medidores y registradores de consistencia, como los que operan a partir de la salida de amperaje del motor eléctrico, promovido para mezcladoras de tambor revolvedor, han probado ser útiles. El método de control más positivo para el mantenimiento de la uniformidad de amasada a amasada, es sin embargo un programa de ensayos regularmente planificado sobre el hormigón fresco, incluyendo el peso unitario, el contenido de aire, el asentamiento y la temperatura. Todas las plantas tendrán facilidades y equipamiento para obtener muestras representativas de hormigón fresco para los ensayos de control de rutina de acuerdo con la norma ASTM C172. A pesar de que los ensayos de resistencia constituyen una excelente medida de la eficiencia de los procedimientos de control que son empleados, Los resultados de estos ensayos están disponibles muy tarde para ser de uso práctico en el control de producción día a día.

4.9 – Mantenimiento

Las mezcladoras serán adecuadamente mantenidas para evitar la pérdida de morteros y de material seco. La superficie interior de las mezcladoras se mantendrá limpia y las cuchillas gastadas serán reemplazadas. Las mezcladoras que no cumplan con los ensayos de desempeño que se indican en el apartado 4.8 se mantendrán fuera de servicio hasta que el mantenimiento y las reparaciones necesarias corrijan sus deficiencias de comportamiento.

4.10 – Consideraciones generales para el transporte del hormigón

4.10.1 – Generalidades – El hormigón puede ser transportado por una variedad de métodos y de equipos, tales como tuberías, mangueras, cintas transportadoras, camiones hormigoneras, camiones de cama abierta con o sin agitadores, o cubetas transportadas por camiones o por ferrocarril. El método de transportación entregará eficientemente el hormigón el punto de vertido sin pérdidas de mortero o sin una alteración significativa de las propiedades deseadas del hormigón. asociadas con la relación agua/material cementicio, el asentamiento, el contenido de aire y la homogeneidad.

Cuando se selecciona un método de transportación se tienen que considerar varias condiciones, tales como: la mezcla de los ingredientes y las proporciones; tipo y accesibilidad del vertido; capacidad de entrega requerida; ubicación de la planta preparadora de hormigón, las condiciones del tiempo y las condiciones de las vías para la transportación. Estas condiciones pueden dictar el tipo de transporte mejor a utilizar para la obtención de un hormigón de calidad y la economía del proceso.

4.10.2 – Tambor revolvedor – En este método, el camión hormigonera (Ver el apartado 4.2.5) funciona como una unidad de transporte agitador. La tambora se rota a velocidad de carga durante el proceso de carga y entonces se reduce a velocidad de agitación o se detiene después que la carga se completa. El lapso de tiempo antes de la descarga del hormigón puede ser el mismo que para el mezclado en el camión y el volumen transportado puede ser incrementado al 80% de la capacidad de la tambora (Norma ASTM C94).

4.10.3 – Camión con o sin agitador – Las unidades utilizadas en esta forma de transportación consisten usualmente en una cama abierta montada sobre un camión de volteo, aunque los camiones con descarga por el fondo también se han utilizado exitosamente. El cuerpo de metal será de superficie de contacto lisa y aerodinámica y está usualmente diseñado para la descarga del hormigón por la parte trasera, cuando el cuerpo es basculado. Para el control del flujo se dispone de una compuerta de descarga y de vibradores montados en el cuerpo. Si el cuerpo del camión dispone de un agitador, este ayudará en la descarga y mezclará formando cintas al hormigón en la medida en que éste es descargado. Nunca se le añadirá agua al hormigón en el cuerpo del camión, porque el agitador no puede mezclar.

Contribuyen significativamente a la calidad y a la eficiencia operacional de esta forma de transportación, el empleo de cubiertas protectoras para el cuerpo del camión en períodos de inclemencia del tiempo, una limpieza adecuada de todas las superficies de contacto y el tránsito por vías en buen estado. El tiempo máximo de entrega especificado es usualmente de 30 a 45 min., aunque las condiciones del tiempo puede requerir tiempos más cortos o permitir tiempos más largos.

A los camiones que tienen que operar en vías de transporte fangosas, no se les permite descargar directamente sobre el suelo ni tampoco se pueden conducir a través de la pila de hormigón previamente descargada.

4.10.4- Cubetas de hormigón sobre camiones o sobre ferrocarril - Este es un método de transportación del hormigón común desde la planta preparadora a un área de vertido cercana de hormigón masivo. Una grúa iza entonces la cubeta y la traslada al punto final de vertido. Ocasionalmente se utilizan carros de trasbordo que operan por vías férreas para transportar el hormigón desde la planta preparadora a las cubetas operadas por cables. La descarga del hormigón desde los carros de trasbordo a las cubetas, que puede ser por el fondo o mediante alguna forma de volteo, será muy controlada para evitar la segregación. El tiempo de entrega para el transporte de las cubetas es el mismo que para cualquier unidad no agitadora, usualmente de 30 a 45 min.

4.10.5- Otros métodos – El transporte del hormigón por bombeo o mediante cintas transportadoras se analiza en los Capítulos 9 y 10 respectivamente. La entrega mediante helicópteros ha sido empleada en áreas de difícil acceso donde no se puede emplear otro equipo de transporte. Este sistema usualmente emplea uno de los métodos descritos previamente para transportar el hormigón al helicóptero, que entonces iza y traslada el hormigón en una cubeta ligera hasta el área de vertido.

4.11 – Hormigón retornado

Disponer de hormigón retornado a la planta, se hace cada vez más y más difícil para algunos productores. Se están empleando corrientemente dos propuestas para aliviar este problema:

4.11.1 Aditivos – Se han desarrollado aditivos químicos que prolongan el tiempo de fraguado para abordar la necesidad de conservar el hormigón retornado durante toda la noche. Estos aditivos se emplean también para conservar el hormigón durante el día y reutilizarlo el mismo día.

La dosis apropiada de aditivo se determina mediante las características de la mezcla. La cantidad de hormigón a ser estabilizada o conservada y el tiempo total en que el hormigón será conservado. En dependencia del tiempo total en que el hormigón es conservado se puede requerir de un aditivo acelerador. El hormigón estabilizado usualmente se mezcla con hormigón fresco antes de venderse.

Se han desarrollado varios métodos por parte de los productores para manipular y determinar el volumen de hormigón retornado. En algunos casos, todo el hormigón retornado se transfiere al final del día a una mezcladora sencilla para su tratamiento y conservación. Otros productores han elegido manipular el hormigón sobre la base de camión a camión.

4.11.2 Métodos mecánicos – Se ha desarrollado un equipamiento para procesar el hormigón no utilizado, en estado plástico, que retorna a la planta. Este equipamiento típicamente incluye el lavado del hormigón para separarlo en dos o más componentes. Algunos de esos componentes son entonces reutilizados en la producción de hormigón. Los componentes pueden incluir el árido grueso y fino, el árido combinado y un slurry de cemento y agua, algunas veces denominada agua gris.

A pesar de que los componentes procesados pueden frecuentemente ser reutilizados en el hormigón nuevo, un productor de hormigón debe tomar medidas cuidadosas para asegurar que estos materiales no afectarán de forma adversa al hormigón nuevo. Pueden ocurrir variaciones en la granulometría de los áridos debido a la degradación de los áridos previamente utilizados durante el mezclado o la recuperación. El empleo del slurry puede afectar la resistencia y el tiempo de fraguado. Hay que efectuar previamente los ensayos adecuados para verificar que el hormigón cumple con los requerimientos proyectados.

CAPITULO 5 – VERTIDO DEL HORMIGON

5.1 – Consideraciones generales

Este capítulo presenta las guías para el trasbordo del hormigón desde el equipo de transporte hasta su posición final en la estructura.

El vertido del hormigón se efectúa con cubetas, embudos, vagones manuales o propulsados, canales y canales tubulares, cintas transportadoras, bombas, tubos tremies y equipos de pavimentación. Las figuras 5.1 y 5.2 muestran un grupo de métodos de manipulación y vertido que son analizados en este capítulo y da ejemplos de procedimientos de construcción que son satisfactorios e insatisfactorios.

El vertido del hormigón mediante el método de pre-colocación de los áridos y por bombeo y cinta transportadora se analiza en los Capítulos 7, 9 y 10 respectivamente. Además, los métodos especificados para el hormigonado bajo agua, para el hormigón pesado y para el hormigón ligero son analizados en los Capítulos 8, 11 y 12 respectivamente. Otra técnica efectiva de vertido tanto para el mortero como para el hormigón es el hormigón proyectado (gunita). Se aplican mediante este método capas finas de hormigón lanzadas neumáticamente en áreas donde los trabajos de encofrado son inconvenientes o impracticables, el acceso o la ubicación es muy dificultosa, o las técnicas normales de vertido no pueden ser empleadas (ACI 506R).

El vertido del hormigón por el método del hormigón compactado con rodillos no se analiza en esta guía. Referirse al ACI 207.5R

5.2 – Planificación

Un requerimiento básico en toda manipulación del hormigón es que tanto la calidad como la uniformidad del hormigón, en términos de relación agua/material cementicio, el asentamiento, el contenido de aire y la homogeneidad, tienen que ser preservadas.

La selección del equipamiento de manipulación se basará en su capacidad de manipular eficientemente el hormigón de proporciones más ventajosas para ser fácilmente compactado en el lugar con vibradores. Cualquier equipamiento que requiera ajustes de las proporciones de la mezcla fuera de los rangos recomendados por el ACI 211.1 no debe ser utilizado.

Una planificación avanzada asegurará un suministro adecuado y consistente del hormigón. Deberá ser prevista una capacidad suficiente de vertido, de manera que el hormigón pueda permanecer en estado plástico y libre de juntas frías mientras es colocado. Todos los equipamientos de vertido estarán limpios y en buen estado. El equipamiento de vertido debe ser ubicado para entregar el hormigón en su posición final sin segregación significativa. El equipamiento será adecuadamente ubicado de manera que el vertido pueda efectuarse sin excesiva demora y la mano de obra será suficiente para asegurar un buen vertido, compactación y terminación de la superficie del hormigón. Si el hormigón se va a verter por la noche, el sistema de iluminación tiene que ser suficiente para poder observar dentro de los encofrados y para garantizar un área de trabajo segura.

Han sido eliminados en este apartado los requerimientos referidos a las temperaturas ambientales bajas y de congelación

Las medidas para el curado estarán listas para ser empleadas en el momento apropiado (ACI 308). Donde sea práctico, es ventajoso mantener comunicación entre el lugar de vertido y la planta dosificadora y mezcladora, por teléfono o radio, para un mejor control de los ritmos de entrega y para evitar demoras excesivas y la pérdida de hormigón.

El hormigón se entregará en el lugar a un ritmo uniforme que sea compatible con la fuerza de trabajo y con el equipamiento empleado para el vertido y para la terminación. Si un problema potencial pudiera ser una interrupción en el proceso, deberán tomarse medidas para garantizar equipos de reserva.

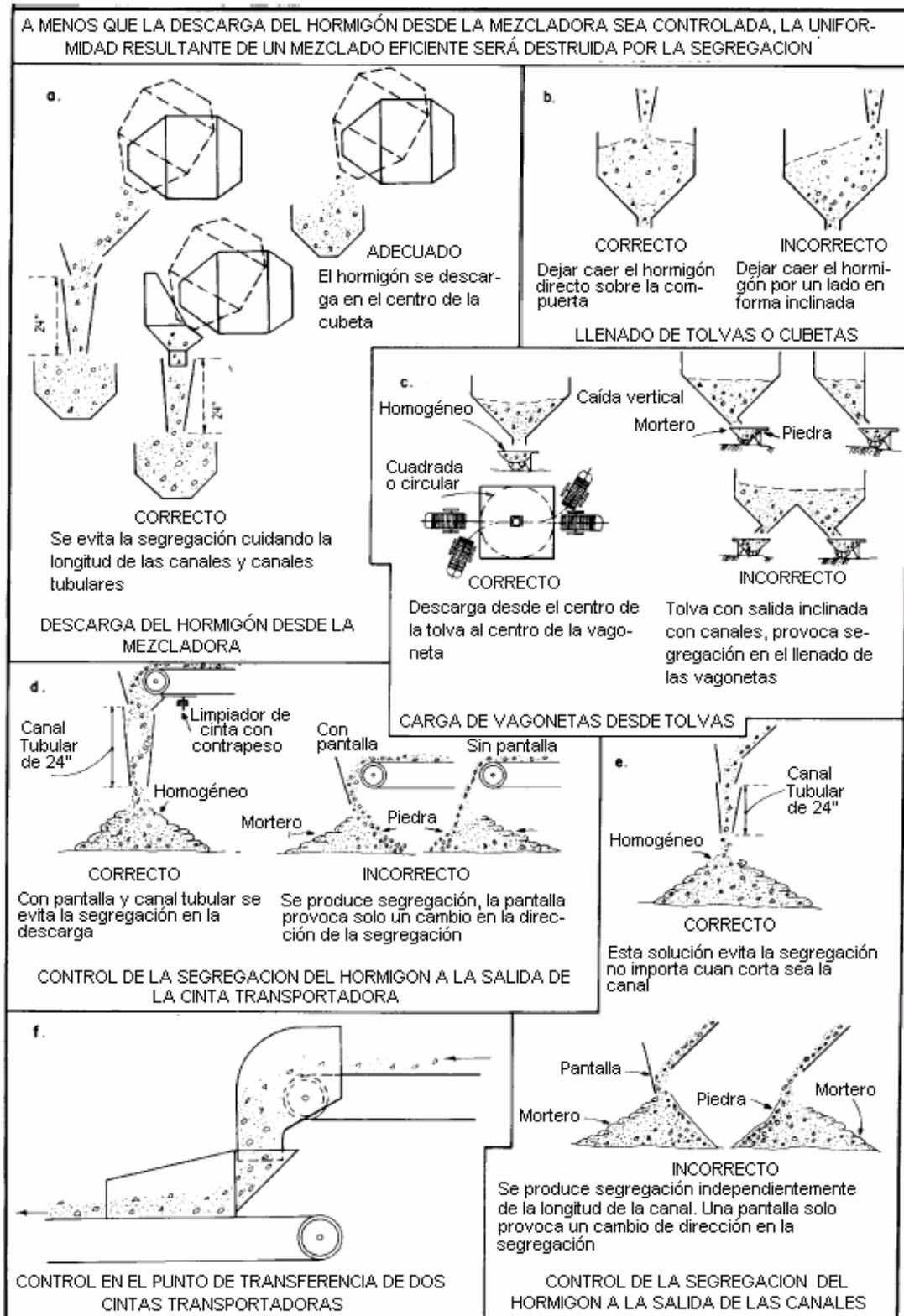


Figura 5.1 – Métodos correctos e incorrectos de manipulación del hormigón

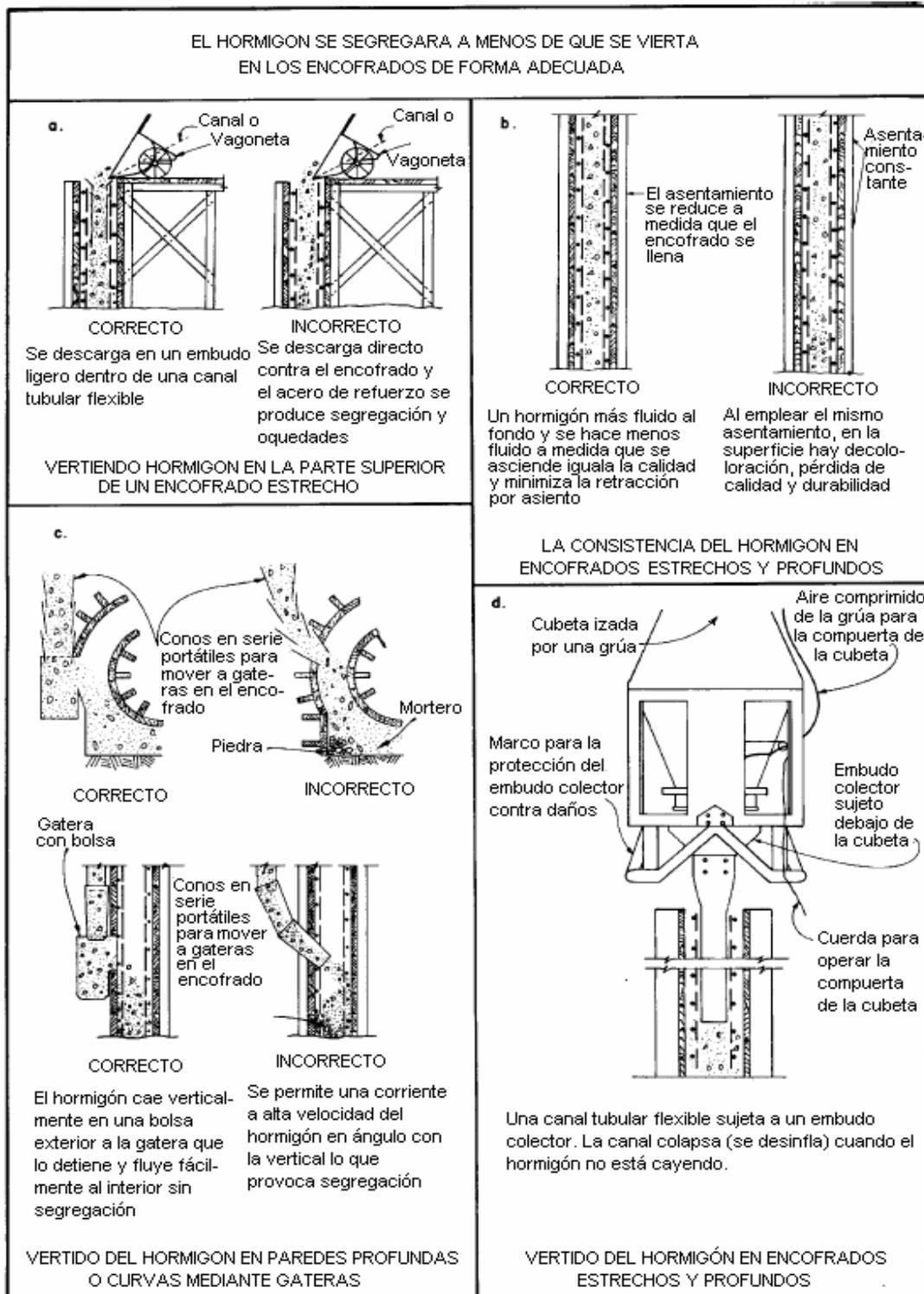


Figura 5.2 (a) al (d) – Métodos correctos e incorrectos de vertido del hormigón

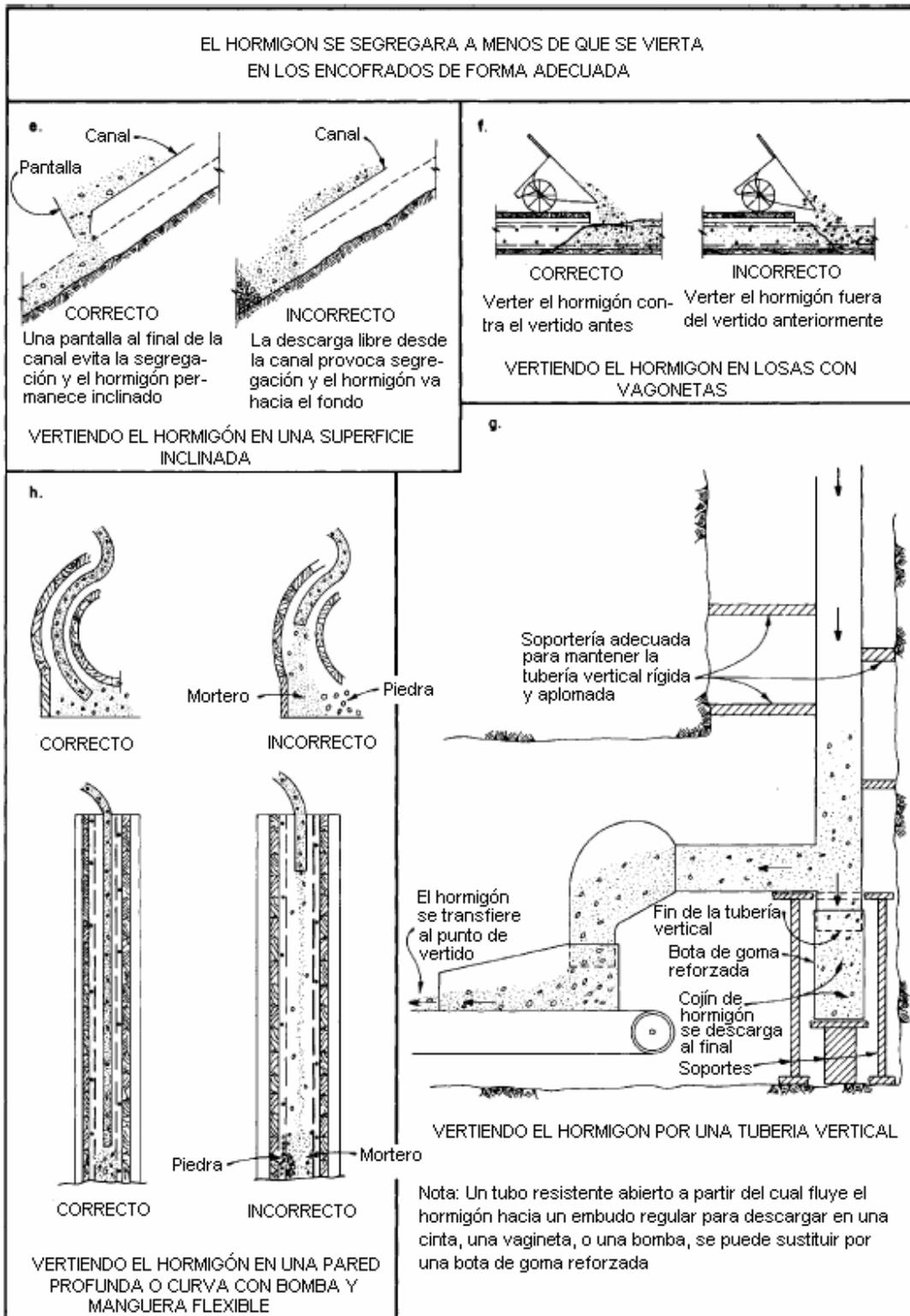


Figura 5.2 (e) a la (h) – Métodos correctos e incorrectos de vertido del hormigón

Inmediatamente antes de que el hormigón sea colocado, se hará una inspección detallada final de la cimentación, las juntas de construcción, los encofrados, los retenedores de agua, el refuerzo y cualquier otro inserto o material embebido en el lugar de vertido. Se efectuará la documentación de la inspección, que será aprobada por todas las partes antes de comenzar los trabajos. Todos estos aspectos se examinarán cuidadosamente para estar seguros de que están de acuerdo con los diseños, las especificaciones y la buena práctica.

5.3 - Refuerzo y elementos embebidos

En el momento del vertido del hormigón, el acero de refuerzo y los elementos embebidos estarán limpios y libres de barro, aceite y otros materiales que afecten la capacidad de adherencia del acero. La mayor parte del acero de refuerzo se cubre ya sea con óxido o con pequeñas escamas y tal recubrimiento se considera aceptable partiendo de que este óxido y escamas sean removidos y que las dimensiones mínimas del acero no estén por debajo del valor requerido por el ACI 318.

Hay que tener cuidado al asegurar que todo el acero de refuerzo sea del diámetro y de la longitud adecuada, que esté ubicado en la posición correcta y empalmado según el diseño. Se mantendrá el adecuado recubrimiento del acero de refuerzo.

El mortero de recubrimiento sobre los elementos embebidos para un despegue a ejecutarse en unas horas, no necesita ser removido, pero el mortero seco perdido sobre los elementos embebidos, que están proyectados para un despegue futuro, se removerá antes del despegue.

El método de sujeción de un retenedor de agua (waterstop) en los encofrados asegurará que éste no se pueda doblar para formar oquedades durante el hormigonado.

Las barras y los elementos embebidos serán mantenidos de forma segura en la posición correcta mediante soportes y amarres adecuados para evitar su desplazamiento durante el hormigonado. En ocasiones se utilizan pequeños bloques de hormigón o mortero como soporte del acero de refuerzo. Son más comúnmente utilizadas sillas separadoras de metal para barras, con o sin protección plástica en las patas o separadores plásticos para barras. Sea cual sea el sistema utilizado, hay que asegurar que los soportes serán adecuados para tomar las cargas esperadas antes y durante el vertido y que no manchen las superficies de hormigón expuestas, que no desplacen excesiva cantidad de hormigón y que no permitan que las barras se muevan de su posición correcta (Instituto de Acero de Refuerzo del Hormigón 1982)

En algunos casos, cuando el hormigón reforzado está siendo colocado, es útil contar con una persona competente para ajustar y corregir la posición de cualquier refuerzo que se haya desplazado. Los Ingenieros estructurales identificarán las áreas críticas donde puede ser ventajosa tal tipo de supervisión adicional.

5.4 – El vertido

5.4.1 Precauciones – Hay que organizar la ubicación de los equipos de vertido, de manera que el hormigón tenga una caída vertical sin interferencias en el punto de vertido o dentro del contenedor que lo recibirá. La corriente de hormigón no se segregará por la caída libre sobre las cabillas, los aditamentos espaciadores o cualquier otro material embebido. Si los encofrados están lo suficientemente abiertos y claros de manera que el hormigón no sea perturbado en su caída vertical en el lugar del vertido, es favorable la descarga directa sin el empleo de embudos, canales o trompas de elefante. El hormigón será depositado lo más cerca posible de su posición final, porque tiende a segregarse si se hace fluir lateralmente en el lugar.

Si un proyecto incluye el vertido monolítico de una viga profunda, de una pared o de una columna con una losa o una viga encima, demore el vertido de la losa o de la viga hasta que se asiente el hormigón en la profundidad. El tiempo asignado para este asiento depende de la temperatura y de las características de fraguado del hormigón que se coloca, pero usualmente es de cerca de 1 hora.

El hormigonado comenzará de nuevo lo suficientemente pronto para integrar la nueva capa minuciosamente con la nueva mediante vibración.

5.4.2 Los equipos – Cuando se escogen los equipos de vertido, considere la necesidad de que el equipo vierta el hormigón en la ubicación correcta, económicamente, sin comprometer su calidad. La selección de los equipos está influida por el método de producción del hormigón. Ciertos tipos de equipos, tales como las cubetas, las tolvas y las vagonetas autopropulsadas garantizan la producción por amasadas, mientras que otros equipos como las cintas transportadoras y las bombas son más apropiadas para la producción continua.

5.4.2.1 Las cubetas y tolvas – El uso de cubetas adecuadamente diseñadas con descarga por el fondo permite efectuar el vertido del hormigón al más bajo asentamiento práctico posible, que sea consistente con la compactación por vibración. La cubeta se debe limpiar por sí misma durante la descarga y el hormigón comenzará a fluir cuando se abre la compuerta de descarga. Las compuertas de descarga tendrán una abertura libre igual a como mínimo 5 veces el tamaño máximo del árido que se emplee, Las inclinaciones laterales serán como mínimo de 60 grados con la horizontal.

Hay que controlar la cubeta y su compuerta de salida para asegurar una corriente estable del hormigón que se descarga contra el hormigón previamente vertido, donde sea posible. Apilar el hormigón que se descarga de la cubeta cerca de la superficie que se levanta o descargar las cubetas mientras se mueve, comúnmente causa segregación.

Para evitar la contaminación. No palee el hormigón derramado de nuevo hacia dentro de las cubetas o las tolvas para su uso posterior, ni balancee las cubetas directamente sobre el hormigón fresco ya terminado.

Para acelerar el esquema de vertido, se recomienda el empleo de 2 o más cubetas por cada grúa.

5.4.2.2 Vagonetas manuales o autopropulsadas – Las vagonetas deben desplazarse sobre vías rígidas y lisas soportadas de forma independiente y ubicadas bien por encima del acero de refuerzo. El hormigón que se transporta en las vagonetas, tiende a segregarse durante el movimiento, por lo tanto el tablero sobre el cual se trasladan las vagonetas será alisado antes de utilizarse, para mantener la superficie lo más regular posible y con ello reducir la separación de los materiales del hormigón durante el tránsito.

La distancia horizontal de entrega recomendada para transportar el hormigón con vagonetas manuales es de 60 m y de 300 m para las autopropulsadas. El rango de capacidad de las vagonetas manuales es de 0,2 a 0,3 m³ con rendimiento promedio de entrega de 3 a 5 m³/h. Las vagonetas autopropulsadas están disponibles con capacidades de 0,3 a 0,4 m³, con un rendimiento de entrega promedio de 14 a 18 m³/h en dependencia de la distancia a recorrer.

5.4.2.3 Canales y canales tubulares – Las canales se emplean frecuentemente para transportar el hormigón desde alturas. Deben tener las esquinas redondeadas, ser construidas de acero o estar forradas de acero y tener suficiente capacidad para evitar que se rebosen. La inclinación será constante y suficientemente empinada para permitir que el hormigón del asentamiento requerido fluya constantemente hacia abajo sin segregación.

Las canales tubulares son tuberías circulares empleadas para transportar el hormigón verticalmente en altura. La tubería tendrá un diámetro de como mínimo 8 veces el tamaño máximo del árido en el tramo superior de la canal de 2 a 3 m, pero puede terminarse en un diámetro aproximadamente igual a 6 veces el tamaño máximo del árido en la parte inferior. Estas canales tubulares debe estar a plomo, bien seguras en su fijación y deben estar ubicadas de forma que el hormigón caiga verticalmente. Se conocen ejemplos en los cuales el hormigón ha caído verticalmente de esta forma varios miles de pies sin efectos adversos.

El flujo del hormigón a la salida de la canal se controlará para evitar la segregación. Se pueden utilizar canales tubulares plásticos o de goma, o tubos tremie, que se acortan mediante cortes en las mismas cuando se levantan a medida que progresa el vertido. Cuando se emplean canales tubulares de plástico, hay que asegurar que la canal no se doble o enrosque.

5.4.2.4 Equipos de pavimentación – La utilización de mezcladoras grandes, distribuidores de alta capacidad y pavimentadoras deslizantes, ha hecho posible verter grandes volúmenes de pavimentos de hormigón a un elevado ritmo. La mayoría de los mismos principios de control de la calidad se requieren para una pavimentación exitosa al igual que para otras formas de vertido del hormigón. El rápido ritmo al cual se vierte un pavimento de hormigón, necesita procedimientos de inspección de rutina para detectar cualquier desviación de una calidad aceptable, que deba ser corregida.

Algunos de los problemas más frecuentes que pueden afectar negativamente la calidad del hormigón en pavimentos son también comunes en otros tipos de vertidos, a saber, una pobre uniformidad de amasada a amasada, variación en el asentamiento y en el contenido de aire, y una distribución no uniforme de la pasta entre los áridos.

El vertido del hormigón con equipos pavimentadores está cubierto en el ACI 325.9R

5.4.2.5 Encofrados deslizantes - Este método supone el vertido del hormigón en encofrados prefabricados que se deslizan hacia el próximo punto tan pronto como el hormigón ha ganado suficiente estabilidad dimensional y rigidez, para retener su forma de diseño.

Se requiere tener cuidado en el control del hormigón consistente con ajustes adecuados de la mezcla para tener en cuenta los cambios de la temperatura ambiental.

5.5 – Compactación

La vibración interna es el método más efectivo de compactación del hormigón plástico para la mayoría de las aplicaciones. La efectividad de un vibrador interno depende fundamentalmente del diámetro de la cabeza, la frecuencia y la amplitud de los vibradores.

En el ACI 309R se dan las recomendaciones detalladas de los equipos y los procedimientos para la compactación.

Los vibradores no se pueden utilizar para mover el hormigón lateralmente. Ellos se insertan y se extraen verticalmente, de manera que penetren rápidamente en la capa y se extraigan lentamente para remover el aire atrapado. Hay que vibrar a intervalos cerrados utilizando un patrón sistemático para asegurar que todo el hormigón se compacta adecuadamente (figura 5.3)

Mientras el vibrador penetre en el hormigón por su propio peso, no es muy tarde para que el mismo reciba el beneficio de la revibración, la cual mejora las resistencias a compresión y de adherencia. No existen evidencias de efectos negativos ni sobre el refuerzo embebido ni sobre el hormigón en vertidos parcialmente curados que son revibrados por la vía de la compactación del hormigón fresco colocado encima.

En vertidos difíciles y con obstrucciones, se puede utilizar la vibración suplementaria del encofrado. En estas circunstancias evite una operación excesiva de los vibradores, que puede provocar que la pasta se separe en la superficie conformada.

En superficies verticales donde es necesario reducir las burbujas de aire, utilice vibración adicional. Sin embargo la vibración extra, el paleo, o la manipulación mecánica del hormigón no son siempre métodos confiables para remover las burbujas de aire de superficies conformadas en encofrados inclinados. Haga vertidos de ensayo para determinar que tipo de trabajos son los mejores en una mezcla particular de hormigón.

El empleo de operadores de vibradores competentes y experimentados trabajando con equipos bien mantenidos y un suministro suficiente de unidades de reserva es esencial para una compactación exitosa del hormigón fresco.

5.6 – Hormigonado masivo

El equipamiento y el método empleado para el vertido del hormigón masivo tienen que minimizar la separación del árido grueso en el hormigón. A pesar de que no es criticable la aparición de algunas piedras dispersas del árido grueso, las agrupaciones y bolsones de árido grueso sí lo son y tienen que ser dispersados antes de verter el hormigón sobre ellos. El árido segregado no se eliminará mediante vertidos subsecuentes y operaciones de compactación.

El hormigón se colocará en capas horizontales que no excedan los 600 mm de espesor y se evitarán las capas inclinadas y las juntas frías. Para la construcción monolítica cada capa de hormigón se colocará mientras la capa inferior pueda responder a la vibración y las capas serán suficientemente delgadas para permitir que dos capas sean integradas mediante la adecuada vibración.

El método de colocación por escalones se utilizará en estructuras masivas que involucren grandes áreas, para minimizar la ocurrencia de juntas frías. En este método, el vertido se hace en una serie de capas horizontales escalonadas de 300 a 450 mm de espesor. El vertido del hormigón en cada capa se extiende a todo el ancho del bloque y las operaciones de vertido avanzan desde el fondo en forma escalonada a toda la altura del elemento, exponiendo solo pequeñas áreas de una vez. En la medida en que el vertido progresa una parte de toda la altura del elemento se completa mientras en hormigonado continúa en las restantes.

Para una más completa discusión sobre el hormigón masivo y las consideraciones térmicas necesarias a tener en cuenta, vea el ACI 207.1R.

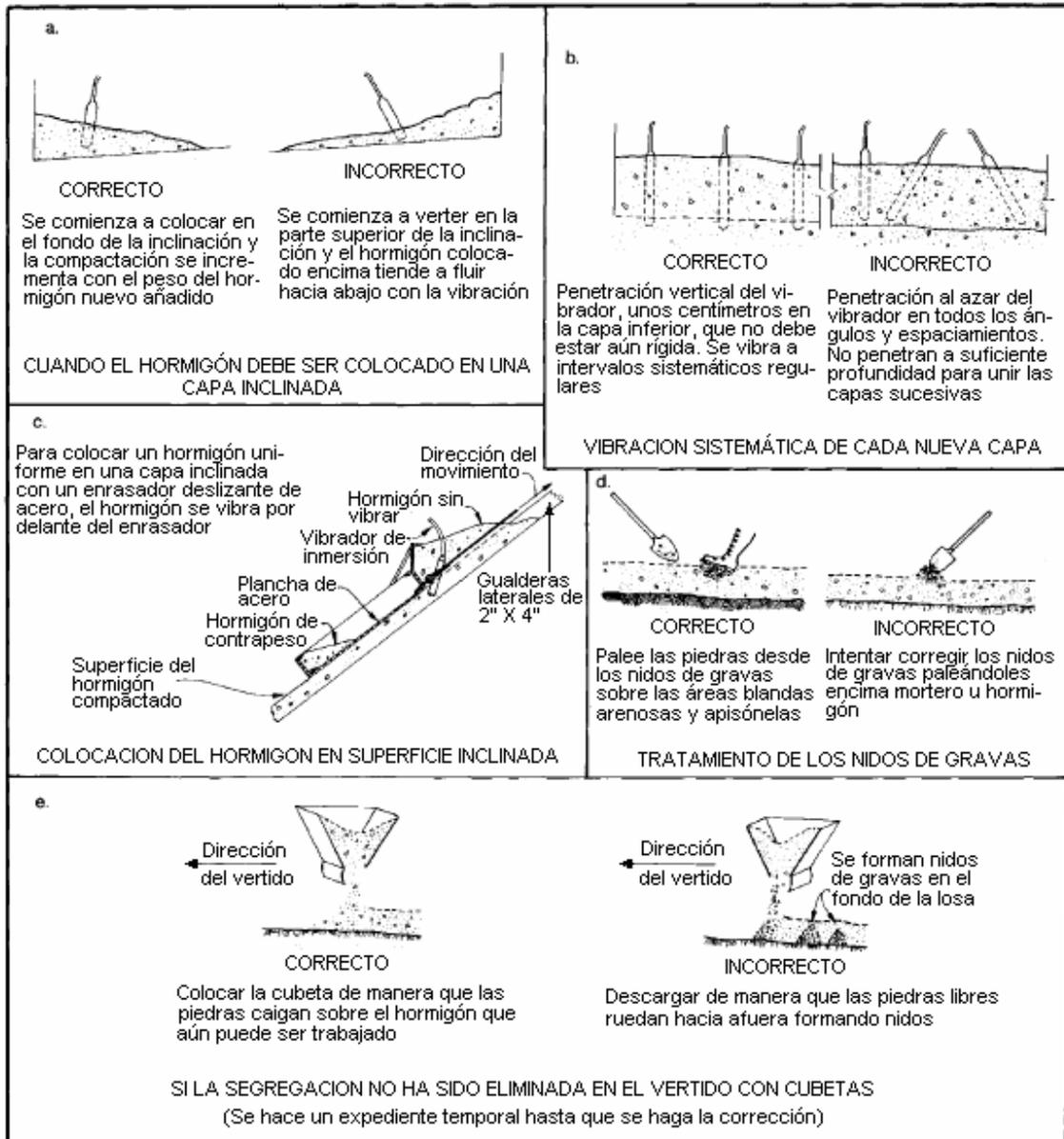


Figura 5.3 – Métodos correctos e incorrectos de compactación

CAPITULO 6 – ENCOFRADOS, PREPARACIÓN DE LAS JUNTAS Y TERMINACION

6.1 – Los encofrados

Los encofrados son los moldes en los que se vierte el hormigón y la falsa obra es el soporte estructural y el anclaje requerido para el soporte temporal durante la construcción. Los trabajos de encofrados son el sistema total de soporte para el hormigón fresco, incluyendo los encofrados y la falsa obra. El diseño de los trabajos de encofrados se efectúa antes de su erección y los planos que contienen los detalles constructivos, la secuencia de colocación del hormigón y los valores de las cargas utilizados en el diseño se aprobarán antes del comienzo de su construcción. Los planos

del encofrado estarán disponibles en el lugar de trabajo durante la erección de los trabajos de encofrados y durante el vertido del hormigón.

El diseño y la construcción de los encofrados del hormigón cumplirán con el ACI 374R. El diseño y la construcción de los encofrados se revisará para minimizar los costos, sin sacrificar ni la seguridad ni la calidad. Debido a que la fuerza de trabajo en la construcción de hormigón se juzga frecuentemente por la apariencia del hormigón después de la remoción del encofrado, es de vital importancia lograr un desempeño adecuado del encofrado mientras soporta el peso del hormigón plástico y las cargas vivas de construcción.

Los encofrados se construirán con suficiente resistencia y rigidez para soportar la masa y la presión de fluido del hormigón, así como todos los materiales, equipos o caminos que sean colocados encima de ellos. La presión de fluido sobre los encofrados estará correlacionada con la capacidad y tipo del equipo de vertido, el ritmo de vertido planificado para el hormigón, su asentamiento, la temperatura y las características de rigidez del hormigón.

Las juntas de los cofres-panel, las esquinas, las conexiones y similares serán selladas para evitar el escape del mortero. La compactación liquidiza el mortero en el hormigón, permitiendo que este se escape por cualquier abertura del encofrado, lo que provoca oquedades, nichos de arena y bolsones de piedras. Cuando los encofrados están contemplados para vertidos sucesivos, hay que evitar las protuberancias y resaltos en las juntas horizontales mediante encofrados transferibles con solo 25 mm de solape sobre el nivel del hormigón ya vertido, y arriostRANDO y atornillando el encofrado muy cerca de la junta. Los arriostres utilizados para el encofrado, tienen garantizar los tamaños de huecos mínimos que sean prácticos y su diseño permitirá la remoción sin desconchar el hormigón circundante. Debe evitarse la pérdida de mortero alrededor de los arriostres y el llenado de los huecos cónicos o cualquier otro hueco a la salida de los arriostres del encofrado se hará de manera que se produzca un parche seguro, sólido, sin retracción y que no sea muy visible (ACI 311.1R). Antes del hormigonado, los encofrados se protegerán del deterioro, del tiempo y de la retracción, mediante un adecuado engrase o mediante un efectivo humedecimiento. Las superficies de los encofrados deben estar limpias y tener una textura uniforme. Cuando se permita su reutilización, deben ser cuidadosamente limpiados, engrasados y reacondicionados si es necesario.

Los encofrados de acero deben ser cuidadosamente limpiados y rápidamente engrasados para evitar la formación de óxido y su coloración negativa. Si se detectan escamaduras en el hormigón cuando se emplean encofrados de acero, mantenga el encofrado limpio y engrasado en el sol durante un día, pule el área afectada con parafina líquida, o aplique una capa fina de laca, lo que usualmente remediará el problema. Algunas veces la escamadura es el resultado de la abrasión de ciertas áreas del encofrado por impactos durante el vertido. La abrasión puede ser reducida temporalmente protegiendo las áreas del encofrado sujetas a abrasión con planchas de plywood o metal.

Las caras del encofrado deben ser tratadas con un agente desencofrante para evitar que el hormigón se pegue al mismo y que a su vez ayude a desmontarlo. El agente desencofrante puede también actuar como un sellador o como capa protectora del encofrado para evitar la absorción de agua del hormigón por parte del encofrado. Las membranas sobre el encofrado tienen que ser cuidadosamente seleccionadas por compatibilidad con las superficies de contacto de los encofrados que son utilizados y con las membranas subsecuentes que se van a aplicar a las superficies del hormigón. Las membranas de encofrado que son satisfactorias para la madera, no siempre son adecuadas para los encofrados de acero, por ejemplo, los encofrados de acero requieren de una membrana que actúe primariamente con un agente desencofrante, en tanto que el plywood requiere de una membrana que también selle los encofrados contra la penetración de la humedad.

Hay que garantizar un amplio acceso entre los encofrados para que se puede efectuar la limpieza apropiada, la colocación, la compactación y la inspección del hormigón.

En pro de la apariencia, debe prestarse una adecuada atención a la marca hecha por una junta de construcción sobre las superficies expuestas del hormigón. Una línea recta, preferiblemente horizontal se debe obtener, llenando el encofrado hasta el borde de la regla. Una banda rugosa, o un banda en forma de V o una banda rectangular biselada, se pueden emplear como borde de la regla y para formar un acanalado en la junta de construcción, cuando es adecuado hacerlo.

6.2 – Preparación de la junta

Las juntas de construcción ocurren siempre que se paraliza o se demora el hormigonado, de manera que el hormigón fresco subsecuentemente vertido contra el hormigón endurecido, no puede ser integrado al vertido previo mediante vibración. Las juntas de construcción horizontal ocurrirán a los niveles entre capas, mientras que las juntas verticales ocurren cuando la estructura es de longitud tal que no es posible colocar el hormigón en toda la longitud en una operación continua. En general la preparación de una junta de construcción vertical para un desempeño y apariencia aceptable es la misma que para las juntas horizontales.

Las superficies de todas las juntas de construcción se limpian y se preparan para asegurar una adecuada adherencia con el hormigón vertido sobre o adyacente a ellas y para obtener la impermeabilidad requerida (Buró de Reclamación de los EEUU. 1981; Tynes 1959, 1963). Hay varios métodos de limpieza disponibles en dependencia de la magnitud del área a limpiar, la edad del hormigón, la experiencia de los trabajadores y la disponibilidad de equipamiento. No es difícil crear una junta satisfactoria cuando ha sido vertido adecuadamente un hormigón de alta calidad. Cuando el hormigón exuda en exceso y suben a la superficie de la junta de construcción, grandes cantidades de agua y de finos, el hormigón en la superficie es de inferior calidad y la limpieza se torna difícil. Bajo circunstancias normales, es necesario solamente remover la pasta y exponer el árido y la superficie sólida del mortero mediante sandblasting o inyección de agua a presión.

El sandblasting se aplica para preparar la superficie de la junta de construcción antes de que el hormigón haya endurecido y preferiblemente justo antes de que el encofrado se haya erigido para el nuevo vertido. (Buró de Reclamación de los EEUU, 1981; Tynes 1959, 1963). El sandblasting húmedo se prefiere usualmente debido al polvo asociado al proceso seco. El sandblasting húmedo produce excelentes resultados en superficies de juntas horizontales, particularmente en aquellas colocadas con hormigones de 50 mm o menos de asentamiento empleando vibradores internos.

Otro método para la limpieza de las juntas de construcción contempla el uso de agua a presión bajo una presión mínima de 40 MPa, como con el método de sandblasting, la limpieza se demora hasta que el hormigón está lo suficientemente duro de manera que la piel de mortero de la superficie sea removida y no ocurran sobrecortes de las partículas de árido grueso.

La nube de agua dejará una película sobre la superficie de la junta cuando se seca, que debe ser removida mediante lavado después que se haya completado la operación de limpieza. Las superficies de las juntas ya limpias serán continuamente curadas en curado húmedo hasta el próximo vertido de hormigón o hasta que haya concluido el plazo de tiempo para el curado. Antes de verter el nuevo hormigón en la junta, la superficie será restablecida a la condición de limpieza que existe inmediatamente después de la limpieza inicial. Si la superficie ha sido adecuadamente curada, se necesitará una limpieza pequeña final antes del vertido.

Se ha eliminado la posibilidad de empleo de herramientas manuales tales como cepillos, cepillos de alambre, picoletas manuales, o martillos bujardas para el tratamiento de las juntas, pues es una práctica severamente criticada en el resto de la normativa internacional, pues se ha demostrado que puede provocar la microfisuración del hormigón y con ello el debilitamiento de la adherencia de la junta, además está demostrado que el cepillado, por ejemplo, hecho en el momento adecuado no ofrece una adherencia mejor que la superficie natural del hormigón y además es muy costosa de realizar.

Se pueden emplear aditivos retardadores (si se admiten por las especificaciones del proyecto), para tratar las superficies del hormigón después de terminar las operaciones de acabado y antes

de que el hormigón haya endurecido. Se deben seguir las instrucciones de los fabricantes para la aplicación y el ritmo de cubrimiento. La remoción posterior de la superficie de mortero no endurecida se completa con otros métodos de limpieza tales como chorros de agua a presión, de agua y aire a presión. Las superficies de hormigón tratadas con aditivos retardadores se limpiarán tan rápido como sea posible después del fraguado inicial; una demora más prolongada da como resultado que será removida menos de la superficie retardada.

La superficie limpia de la junta de hormigón será saturada y superficialmente seca en el momento en que el nuevo hormigón se coloca sobre ella. La superficie húmeda debilita la junta al incrementar la relación agua/material cementante del nuevo hormigón colocado. Asegure que la primera capa de hormigón sobre la junta de construcción sea adecuadamente compactada para alcanzar una buena adherencia con el hormigón previamente endurecido.

Una variante a tener en cuenta también para el tratamiento de las juntas sometidas a flexión y cortante es el empleo de mallas de acero galvanizado como encofrado que dejan pasar la pasta de cemento por sus huecos dejando una superficie bien rugosa.

6.3 – Terminación de superficies no encofradas

Para obtener una superficie duradera sobre un hormigón no encofrado, se seguirán cuidadosamente los procedimientos adecuados. El hormigón utilizado será del menor asentamiento práctico posible, de manera que pueda ser adecuadamente compactado, preferiblemente por medio de vibración interna. La compactación siguiente, las operaciones de enrase, froteado y la primera frota fina se ejecutarán de manera que el hormigón sea trabajado y manipulado tan pronto como sea posible para obtener el resultado deseado.

La terminación excesiva del hormigón produce la acumulación de gran cantidad de finos y de agua en la superficie, lo que disminuye la calidad de la superficie terminada, produce grietas, resquebrajamiento y generación de polvo. Por la misma razón, cada paso en la operación de terminación, desde el primer froteado hasta el último, se deberá demorar tanto como sea posible mientras permanezca laborable en el grado deseado y la superficie suave. No es deseable que aparezca agua libre y que se acumule entre las operaciones de terminación, si se han empleado las proporciones y la consistencia adecuadas en la mezcla. Si el agua libre se acumula a pesar de todo, se debe remover mediante secado con mantas, drenaje, o extracción con un tramo de manguera, de manera que la superficie pierda su brillo acuoso antes de que se ejecute la próxima operación de acabado. Bajo ninguna circunstancia se utilizará cualquier herramienta de acabado en un área, antes que el agua acumulada sea removida. No se espolvoreará cemento ni mezcla de arena con cemento en la superficie para secar el área.

Se pueden alcanzar resultados satisfactorios a partir de un correcto mortero correctamente diseñado ubicado en la parte superior del hormigón y trabajado antes de que el hormigón base fragüe. La consistencia del mortero, la compactación y la terminación será descrita previamente. Sin embargo un hormigón de correctas proporciones, consistencia y textura, colocado y terminado monolíticamente con el hormigón base, es preferible a un mortero de acabado. Vea el ACI 302.1R para una discusión detallada y recomendaciones sobre la terminación de pisos de hormigón y terminación de losas.

Algunas terminaciones especiales de pisos, como el terrazo, que se instalan sobre la superficie curada del hormigón, requieren técnicas especiales y no están cubiertas en esta Guía.

CAPITULO 7 – HORMIGÓN CON ARIDOS PRE-COLOCADOS

7.1 – Consideraciones generales

En este método de construcción, los encofrados se llenan primero con árido grueso limpio. Los vacíos del árido grueso se rellenan entonces con un mortero estructural de calidad para producir un hormigón con árido pre-colocado. Este tipo de hormigón es particularmente útil donde es

necesario efectuar el vertido bajo el agua, donde las estructuras están fuertemente reforzadas para contrarrestar las cargas de sismo o por otras razones, donde el hormigón o la mampostería estructural va a ser reparada, o donde se requiera un hormigón de muy bajo cambio de volumen (Buró de Reclamación de los EEUU 1981; Davis y Haltenhoff 1956; Davis y otros 1955; Anon. 1954; King 1971; Davis 1958; Cuerpo de Ingenieros 1994).

El hormigón pre-colocado difiere del hormigón colocado convencionalmente en que contiene un más elevado porcentaje de árido grueso; consecuentemente, las propiedades del árido grueso tienen un efecto mayor sobre las propiedades del hormigón, por ejemplo, el módulo de elasticidad es ligeramente superior que el hormigón convencional. Además, debido al contacto punto a punto del árido grueso, la retracción por secado es aproximadamente la mitad de la magnitud del hormigón convencionalmente colocado (Davis 1958, Davis 1960). El diseño estructural del hormigón pre-colocado sin embargo es el mismo que para el hormigón colocado convencionalmente (Buró de Reclamación de los EEUU 1981; Cuerpo de Ingenieros 1994a.)

El encofrado estructural del hormigón pre-colocado es usualmente más caro que el requerido para el hormigón colocado convencionalmente, debido a que es necesario mayor cuidado para prever la pérdida de mortero. En la construcción subacuática se han alcanzado por este método ritmos de vertido más altos a costos más bajos, comparado con los métodos convencionales de vertido.

Debido a que la construcción con hormigón pre-colocado es por naturaleza especializada, el trabajo debe ser supervisado por personal calificado con experiencia en este método de construcción. Una información detallada sobre todos los aspectos del hormigón pre-colocado se da en el ACI 304.1R.

7.2 – Los materiales

7.2.1 El cemento – El mortero puede ser preparado con cualquiera de los tipos de cemento que no incluyan aire y que cumpla con la ASTM C 150 o la ASTM C 595M. La Utilización de cementos que incluyan aire, combinados con aditivos plastificantes e incorporadores de aire, pudiera provocar una excesiva cantidad de aire incorporado en el mortero, dando como resultado resistencias reducidas. Cuando se requiera una incorporación de aire a mayor escala que la producida por un plastificante, se debe añadir un agente incorporador de aire separadamente.

7.2.2 El árido grueso – El árido grueso se debe lavar y dejar libre de polvo y finos y estar en conformidad con los requisitos de la ASTM C 33, excepto en la granulometría.

El contenido de vacíos del árido será tan bajo como sea posible y es usualmente alcanzado cuando el árido grueso se gradúa uniformemente desde la partícula más pequeña disponible hasta la mayor (King 1971).

Para uso general se recomienda la granulometría 1 o 2 (Tabla 7.1). Donde haya mucho refuerzo o el vertido sea en terrenos relativamente poco profundos, se deberá utilizar la granulometría 1. Donde las circunstancias especiales dicten el uso de arena gruesa, la granulometría 3 es aceptable.

Tabla 7.1 — Límites granulométricos para los áridos gruesos y finos para el hormigón con áridos pre-colocados

Porcentaje pasado			
Árido Grueso			
Tamaño del Tamiz	Granulometría 1 Para un tamaño mínimo del árido grueso de 12,5 mm (1/2")	Granulometría 2 Para un tamaño mínimo del árido grueso de 19 mm (3/4")	Granulometría 3 Para un tamaño mínimo del árido grueso de 38 mm (1-1/2")
37,5 mm (1-1/2")	95 a 100	-	0 a 5
25 mm (1")	40 a 80	-	-
19 mm (3/4")	20 a 45	0 a 10	-
12,5 mm (1/2")	0 a 10	0 a 2	-
9,5 mm (3/8")	0 a 2	0 a 1	-
Árido Fino			
No 4 (4,75 mm)	-	-	100
No. 8 (2,36 mm)	100	-	90 a 100
No. 16 (1,18 mm)	95 a 100	-	80 a 90
No 30 (600 micras)	55 a 80	-	55 a 70
No. 50 (300 micras)	30 a 55	-	25 a 50
No. 100 (150 micras)	10 a 30	-	5 a 30
No. 200 (75 micras)	0 a 10	-	0 a 10
Módulo de Finura	1,30 a 2,10	-	1,60 a 2,45

7.2.3 Árido fino – La arena debe estar conforme con la ASTM C 33, excepto que la granulometría sea la mostrada en la tabla 7.1. El árido fino que no caiga dentro de estos límites de granulometría es utilizable si los resultados caen dentro de los requerimientos de la Sección 7.3.

7.2.4 Puzolanas – Las puzolanas de las clases N o F que estén conformes con la ASTM C 618, se pueden utilizar en el Hormigón pre-colocado. La clase F se ha utilizado en la gran mayoría de las instalaciones pues mejora la bombeabilidad del mortero fluido y extiende el tiempo de manipulación del mismo. La ceniza volante clase C y la escoria de alto horno han sido empleadas dentro de un cierto límite, pero no existe en estos casos una data extensa disponible sobre las proporciones de la mezcla de mortero y sus propiedades.

7.2.5 Los aditivos

7.2.5.1 Plastificantes de mortero – Este aditivo es comúnmente utilizado para compensar los efectos de la exudación, reducir la relación agua/material cementicio para una fluidez dada y retardar el fraguado. La dosis usual del plastificante de mortero es 1% en peso del material cementicio total en la mezcla de mortero.

7.2.5.2 Cloruro de calcio – Puede ser deseable una pequeña cantidad de cloruro de calcio para promover un desarrollo temprano de la resistencia. Sin embargo, el cloruro de calcio por encima del 1% en peso de los materiales cementicios, disminuirá la acción expansiva del polvo de aluminio, si está presente, porque la aceleración del fraguado reducirá el tiempo disponible para que la expansión tenga lugar. Se recomiendan ensayos previos de expansión, exudación, ritmo de curado y resistencia en cilindros de hormigón pre-colocado (ver la ASTM C953).

7.3 – Dosificación del mortero

7.3.1 Materiales cementicios – Usualmente, las proporciones de cemento Portland con la puzolana están en el rango de 2,5:1 a 3,5:1 en peso. Se han utilizado relaciones tan bajas como 1,3:1 (para volúmenes netos iguales) para hormigón masivo de baja resistencia y tan altas como 12:1 para hormigones de altas resistencias. La relación agua/material cementicio está usualmente en rangos de 0,42 a 0,5.

7.3.2 Árido fino – La resistencia a compresión, la bombeabilidad (Anon. 1954; King 1971) y los requisitos de incorporación de aire, controlan la cantidad de árido fino que debe ser empleado en el mortero. Para un hormigón de áridos pre-colocados de grado estructural, la relación de material cementicio al árido fino será usualmente de 1:1 en masa.

Para vertidos masivos donde el tamaño mínimo del árido grueso es de 19 mm, la relación puede ser incrementada a 1:1,5. Con granulometría 3 (Tabla 7.1), la relación puede ser posteriormente incrementada a aproximadamente 1:3.

7.3.3 Requisitos de la dosificación – Los materiales deben ser dosificados de acuerdo con la ASTM C 938 para producir un mortero de la consistencia requerida que asegure la resistencia especificada del hormigón de árido pre-colocado. Para obtener los mejores resultados, la exudación será menor que la expansión medida total. La resistencia, la exudación y la expansión serán ensayadas de acuerdo con la ASTM C 943.

7.3.4 Consistencia del mortero – Para la mayoría de los trabajos, tales como paredes y reparaciones estructurales, una fluidez de 22 ± 2 s (según la ASTM C 939) es usualmente satisfactoria. Para secciones masivas y trabajos subacuáticos, el flujo puede ser tan bajo como 20 ± 2 s o tan elevado como 24 ± 2 s.

En aquellos lugares donde se deban tomar cuidados especiales en la ejecución del trabajo y se requieran más altas resistencias, se pueden utilizar flujos tan elevados como 35 a 40 s.

7.4 – Control de la temperatura

Para vertidos de hormigón masivo, el crecimiento de la temperatura en el hormigón de áridos pre-colocados puede limitarse mediante uno o más de los procedimientos siguientes: enfriamiento del árido grueso antes del vertido; enfriamiento del árido grueso en el lugar; enfriamiento del mortero con agua de mezclado fría; reduciendo el contenido de cemento al mínimo para obtener las propiedades deseadas. Para más detalles referirse a la ACI 207.2R y el ACI 224R.

7.5 – Encofrados

Los materiales de encofrado para el hormigón de áridos pre-colocados son similares a los utilizados para el hormigón convencional. Los encofrados, sin embargo deben ser lo suficientemente herméticos para evitar la fuga del mortero y resistir la altas presiones laterales (referirse a la ACI 347R). Después de que los encofrados son levantados, reforzados, atrancados adecuadamente, nivelados y aplomados, todas las pequeñas aberturas serán correctamente selladas. Todas las juntas entre los paneles adyacentes serán también selladas con cinta adhesiva desde el interior del encofrado. Se requiere la especificación de mantener una capa de agua de 0,3 a 0,6 m de profundidad por encima de la superficie del mortero que sube para asegurar la saturación de las partículas del árido grueso. En estos casos, el encofrado debe ser esencialmente impermeable.

7.6 – Sistema de tuberías para el mortero

7.6.1 Tuberías de entrega – Los sistemas de entrega de mortero más confiables consisten en una línea simple. Para asegurar un flujo continuo de mortero, se puede colocar una fijación en forma de “Y”. El mortero será inyectado a través de una de las patas de la “Y” a un tiempo.

La línea de entrega será de diámetro suficiente para permitir una velocidad del mortero al ritmo de operación planificado en el rango entre 0,6 y 1,2 m/s.

Se utiliza comúnmente una manguera de alta presión de 3 MPa o mayor para las líneas de entrega. Para distancias de hasta 150 m se prefiere un diámetro de manguera de 30 a 40 mm, para mayores distancias (de hasta aproximadamente 300 m) se prefiere un diámetro de 50 mm.

7.6.2 Tuberías de inserción del mortero – Las tuberías de inserción se emplean para inyectar el mortero dentro de la masa de árido y se trata de tuberías No. 40 con 20 a 30 mm de diámetro para un hormigón estructural normal y de hasta 40 mm de diámetro para hormigón masivo. Las tuberías de inserción de mortero se extenderán verticalmente hasta 150 mm del fondo de la masa de áridos, o se pueden extender horizontalmente a través del encofrado a diferentes elevaciones. Cuando se requiere que las tuberías de inserción alcancen una profundidad en los áridos que exceda aproximadamente los 15 m, se recomienda una variante de tubería No. 120 con acople de flujo o una camisa con acople de flujo. Para vertidos profundos, tales como cajones en aguas profundas, se pueden requerir tuberías de inserción telescópicas.

7.6.3 Tuberías de ventilación – se utilizarán tuberías de ventilación en aquellos vertidos donde el agua o el aire esté atrapado por la superficie ascendente de mortero, como sucede debajo de un obstáculo o bajo algunos elementos embebidos. El mortero es inyectado a través de las tuberías de inserción hasta que retorna a través de estas tuberías de ventilación.

7.7 – Vertido del árido grueso

7.7.1 Preparación para el vertido – El árido grueso debe ser lavado y tamizado inmediatamente antes de ser vertido en el encofrado. El árido grueso no debe ser lavado con manguera después de vertido en los encofrados (Anon. 1954; King 1971), pues esto provocará que los finos se acumulen en el estrato inferior del árido. Cuando sea necesario mojar el árido grueso para obtener saturación o pre-enfriamiento del mismo (King 1971), el agua se inyectará a través de las tuberías de inserción de manera que el agua ascienda lentamente por el árido grueso.

Para el vertido bajo agua, todo el material fino y suelto, debe ser eliminado del área de cimentación antes del vertido del árido para evitar un cubrimiento subsecuente del árido o el llenado de los poros con sedimento revuelto. Donde el hormigón se apoye sobre pilas, solo es necesario remover el material blando a suficiente profundidad por debajo de la tubería de relleno, para poner una tela de filtro sobre el fango. Adicionalmente se coloca una capa de árido encima de la tela para estabilizarla y formar una base para el árido a granel que sigue.

7.7.2 Vertido del árido – Para los trabajos de hormigón estructural, el árido se entrega comúnmente al encofrado en cubetas de hormigón y se entrega a través de una canal tubular flexible (trompa de elefante) para evitar la segregación del árido. Se ha utilizado una tubería con un diámetro mínimo de 4 veces el tamaño máximo del árido, para verter el árido pre-colocado bajo agua a profundidades entre 15 y 300 m (Davis; Johnson and Wendell 1955). Esta tubería se hace descender normalmente hasta contactar con el fondo, entonces se llena gradualmente. La descarga se controla levantando la tubería sólo lo suficiente para permitir la descarga a un ritmo controlado. En aquellos lugares donde el árido grueso sea colocado a través de agua, éste debe

descargarse directamente en el agua desde barcos con descarga inferior o por medio de barcos con sistemas de auto-descarga (Davis and Haltenhoff 1956).

El árido grueso también puede ser soplado hasta el lugar cerca de una línea de túnel empleando una tubería de 150 mm o mayor y grandes volúmenes de aire a baja presión (Davis, Jhonson y Wendell 1955).

En la mayoría de los vertidos hay poco que ganar a partir de los intentos de consolidar el árido grueso en el lugar mediante vibración o rodillado. Sin embargo se pueden emplear rodillos o vibradores de aire comprimido para lograr el vertido dentro de áreas fuertemente reforzadas.

Alrededor de tuberías y refuerzo poco separados y en penetraciones, como en las situaciones de protección nuclear donde se desea una alta densidad y homogeneidad, puede ser requerido el vertido manual en capas delgadas.

7.7.3 Contaminación – En la construcción bajo agua donde se conoce o se sospecha que existe contaminación orgánica, se muestrea el agua para estimar el rango de lodo acumulado sobre el árido en inmersión y su posible influencia en la calidad del hormigón.

7.8 - Mezclado y bombeo del mortero

7.8.1 Mezcladoras – Para el mezclado del mortero se emplean comúnmente mezcladoras verticales, mezcladoras de ejes horizontales con paletas y mezcladoras de dos tubos. Uno de los tubos sirve como una mezcladora, mientras el segundo, a partir del cual el mortero se va extrayendo, sirve como agitador. Las mezcladoras de eje horizontal se emplean para grandes volúmenes de trabajo. Un agitador separado se emplea para garantizar una operación continua.

Las mezcladoras de eje vertical o de turbina son muy adecuadas para mezclar el mortero, aunque el mantenimiento de un sellado cuidadoso de la puerta de descarga puede ser difícil. Las mezcladoras convencionales de tambor revoledor son adecuadas si el mezclado se prolonga lo suficiente para asegurar que sea íntimo. Las mezcladoras de tipo coloidal, que aportan una muy elevada velocidad, mezclan en una primera etapa el cemento y el agua en una bomba centrífuga, seguida por el mezclado de la pasta de cemento con la arena en una bomba impelente abierta, pero debido a la alta energía de entrada el tiempo de mezclado debe limitarse para evitar el calentamiento del mortero.

7.8.2 Las bombas – La bomba será de desplazamiento positivo como las de pistón o del tipo de cavidad progresiva. Contará con una línea de desvío, que conecte la descarga con la entrada de la bomba o el agitador. En trabajos grandes es prudente prever equipos de reserva. Se debe instalar un sensor de presión en la línea de descarga de la bomba, en una posición visual clara para el operador que permita apreciar un bloqueo incipiente en la línea.

7.8.3 Inyección del mortero – Hay esencialmente 2 patrones básicos para la inyección del mortero: La técnica de la capa horizontal y la del avance en capa inclinada. Con ambos sistemas, el mortero comenzará desde la parte inferior dentro de los encofrados.

En la técnica de la capa horizontal, el mortero se inyecta a través de cada tubería de inserción para que ascienda a corta distancia del punto de inyección y aplicando un proceso de inyección secuencial a través de las tuberías de inserción adyacentes, una capa de árido grueso se va llenando con mortero antes de pasar a la capa horizontal siguiente que va encima. Cuando se inyecta a través de tuberías verticales de inserción, estas tuberías son retiradas después de cada inyección, levantando el fondo de la tubería de inserción a una altura que no sobrepase 0,3 m por debajo de la superficie del mortero. Cuando se inyecta a través de gateras en los encofrados o mediante tuberías de inserción horizontales, la inyección de mortero debe ser continua a través del punto hasta que el mortero fluya del siguiente punto más alto. Para la siguiente etapa, la inyección

del mortero se hará por el punto de inserción que está justamente encima del que se ha completado.

Cuando el procedimiento de superficie horizontal no es práctico, como es el caso en que las dimensiones en planta son relativamente grandes comparadas con el espesor, se emplea el método de avance en capa inclinada. La inyección comienza en uno de los extremos de la dimensión más estrecha del encofrado y el bombeo continúa a través la primera fila de tuberías insertadas hasta que el mortero aparece en la superficie. La superficie del mortero dentro del árido sumergido asumirá una inclinación con relación vertical a horizontal de 1:5 a 1:10. La inclinación avanza mediante el bombeo del mortero a través de filas sucesivas de tuberías de inserción hasta que la losa entera se ha llenado de mortero.

Los ritmos normales de inyección a través de una tubería de inserción dada, varían desde menos de 0,03 m³/min. hasta más de 0,11 m³/min. Para una aplicación particular, el ritmo de inyección dependerá de la configuración del encofrado, los vacíos del árido y la fluidez del mortero.

7.8.4 Determinación de la superficie del mortero – La ubicación de la superficie del mortero dentro de la masa del árido debe ser conocida en todo momento. Cuando el mortero se inyecta horizontalmente a través de un lado del encofrado, la ubicación del mortero puede ser fácilmente determinada porque fluye desde puntos adyacentes, por la ubicación de filtraciones a través de los encofrados, o con la ayuda de ventanas de inspección en el encofrado que se cierran después. En aquellos lugares donde el mortero se inyecta a través de tuberías verticales insertadas, hay que garantizar pozos de sondeo. Estos pozos de sondeo consisten usualmente en tubos de pared delgada de 50 m de diámetro, con agujeros de 12 mm a intervalos frecuentes. Se puede usar también un tubo parcialmente plegado, no soldado que tenga un agujero continuo. La línea de sondeo se equipa con un flotador de 25 mm de diámetro que se hunda en el agua, pero que sin embargo flota sobre la superficie del mortero, dentro del tubo perforado. Los pozos de sondeo usualmente se abandonan en el lugar y se convierten en una parte permanente de la estructura.

7.9 – Juntas de construcción

7.9.1 Juntas frías – Se forman juntas frías dentro de la masa del hormigón de áridos pre-colocados cuando el bombeo se paraliza por más tiempo del que el mortero permanece plástico. Cuando esto ocurre las tuberías de inserción deben ser sacadas hasta justamente encima de la superficie del mortero antes de que el mortero se rigidice y quede la huella. Para reanudar el bombeo, las tuberías se llevan al contacto más cercano con la superficie del mortero endurecido y se reanuda el bombeo lentamente, por varios minutos, para crear un montículo de mortero alrededor del final de la tubería.

7.9.2 Juntas de construcción – Se pueden formar juntas de construcción de la misma manera que las juntas frías, paralizando el recrecimiento del mortero aproximadamente 300 m por debajo de la superficie del árido. Hay que evitar que la suciedad y escombros se filtren hacia abajo hacia la superficie del mortero.

Si se hacen juntas de construcción subiendo el mortero hasta la superficie del árido grueso, la superficie será tratada con sandblasting para presentar una superficie clara y rugosa para el nuevo mortero en el próximo recrecimiento.

7.10 – Acabado

Hay que tener cuidado cuando se llegue a la superficie para controlar el ritmo de inyección del mortero y evitar que se levante o se desaloje el árido de la superficie (Anon. 1954). El árido grueso en la cercanía de la superficie debe ser mantenido en su lugar mediante una pantalla de alambres, que se retira antes del acabado.

Una vibración externa de los encofrados de baja frecuencia y alta amplitud, o juntamente por debajo de la superficie de mortero, permitirá que el mortero cubra los contactos del árido y el encofrado y de ese modo aportar una superficie de apariencia lisa excelente. Una excesiva vibración del encofrado, provocará exudación, dando como resultado usual que la arena se separe del agua de exudación en el movimiento ascendente. La vibración interna solo debe ser empleada en penetraciones cortas para nivelar el mortero entre las tuberías de inserción con el propósito de lograr mayor cubrimiento. Cuando se requiera una terminación con regla o froteado, el mortero deberá inundar la superficie del árido y cualquier mortero superficial diluido debe ser removido o barrido. Se coloca entonces en la superficie una capa fina de granito con rastrillo, seguida de un apisonamiento. Cuando la superficie está suficientemente endurecida para permitir el laboreo, se aplica entonces una terminación con regla o frota.

7.11 – Control de calidad

El control de las características del mortero fresco en el lugar de trabajo, se mantiene siguiendo los métodos apropiados de las normas ASTM. La resistencia a compresión del hormigón con áridos pre-colocados se determinará de acuerdo con los procedimientos dados en la ASTM C 943. La resistencia del mortero sola, cuando se determina en cubos o cilindros, puede mostrar una pobre correlación con la resistencia del hormigón de árido pre-colocado hecho con el mismo mortero, debido a que estas unidades no duplican el efecto de debilitamiento de una exudación excesiva del mortero en el vertido. Los cilindros de hormigón de árido pre-colocado adecuadamente confeccionados, muestran sin embargo una relación estrecha con los testigos tomados del hormigón en el lugar. En la figura 7.1 se muestra una comparación típica de los cilindros elaborados en el laboratorio y en el campo, con los testigos tomados de una gran instalación.

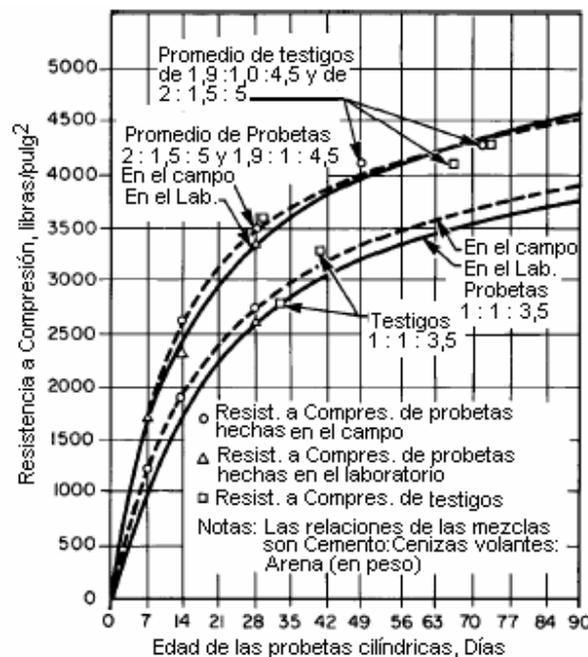


Figura 7.1 – Comparación de los resultados de las probetas cilíndricas tomadas en el campo y en el laboratorio, contra los testigos extraídos en la obra

CAPITULO 8 – HORMIGÓN VERTIDO BAJO AGUA

8.1 – Consideraciones generales

Los vertidos típicos de hormigón bajo el agua incluyen elementos no estructurales tales como bloques de presas, pilares de puentes, muros y losas en diques secos y tomas de agua. El hormigón colocado bajo agua ha sido también utilizado para añadir peso a las secciones prefabricadas hundidas de secciones de túneles, para unir las secciones de túneles una vez en el lugar y para reparar los daños de la erosión o de la cavitación en las mayores estructuras hidráulicas (Gerwick 1964; Gerwick, Holland, and Kommendant 1981).

8.1.1 Alcance – Las recomendaciones dadas en este capítulo están dirigidas directamente a vertidos de hormigón bajo agua de gran volumen, pero estas recomendaciones son también generalmente aplicables a vertidos bajo agua de pequeño volumen, tales como vertidos de capas sobrepuestas o vertidos profundos confinados. El lector está advertido de que debe considerar los problemas específicos asociados con estos vertidos y de que forma ellos difieren de los vertidos típicos.

8.1.2 Métodos disponibles – La técnica más frecuentemente utilizada para verter el hormigón bajo el agua es la del Tubo Tremie, pero se incrementa cada vez más el empleo del bombeo directo. Estos dos métodos son similares y se describen en este capítulo.

8.1.3 Técnica básica – Un vertido exitoso de hormigón bajo el agua requiere evitar el flujo de agua a través del lugar de vertido. Una vez que se controla el flujo, el vertido con tremie o con bomba consiste en los siguientes tres pasos:

1. El primer hormigón que se coloca es físicamente separado del agua empleando un tarugo o raspatabos en la tubería, o manteniendo la boca de la tubería sellada y la tubería sin agua.
2. Una vez que la tubería se llena de hormigón, se levanta ligeramente para permitir que el tarugo escape o se abra el sello del fondo. Entonces el hormigón fluirá y se formará un montón alrededor de la boca de la tubería. Esto es lo que se conoce como establecer un sello, y
3. Una vez que el sello se ha establecido, se inyecta hormigón fresco en la masa del hormigón existente. El mecanismo exacto del flujo que tienen lugar no es precisamente conocido, pero la mayoría del hormigón aparentemente no está expuesto al contacto directo con el agua (Gerwick, Holland, and Kommendant 1981).

8.2 - Los materiales

8.2.1 Requisitos generales – Los materiales del hormigón tienen que cumplir todas las especificaciones adecuadas. Además, los materiales serán seleccionados por su contribución a lograr un hormigón con características de fluidez mejoradas.

8.2.2 Los áridos – El tamaño máximo de los áridos a utilizar en vertidos con refuerzo bajo agua, es usualmente de 19 mm. Los áridos de mayor tamaño (25 mm) se pueden emplear en dependencia de la disponibilidad, del espaciamiento del refuerzo y del mantenimiento de la laborabilidad del hormigón. El tamaño máximo del árido para vertidos no reforzados será de 38 mm.

8.2.3 Los aditivos – Frecuentemente se emplean aditivos para mejorar las características del hormigón fresco colocado bajo el agua, especialmente la fluidez (Williams 1959). Por ejemplo, un aditivo incorporador de aire puede ser beneficioso porque con su uso se puede alcanzar un incremento de la laborabilidad..

Los aditivos reductores de agua (plastificantes) o los reductores de agua y retardadores son particularmente beneficiosos en la reducción del contenido de agua para aportar un hormigón cohesivo y de un elevado asentamiento. Los aditivos retardadores son beneficiosos en grandes vertidos monolíticos. Debido a lo extremadamente importante que resulta el mantenimiento de un asentamiento tan elevado como sea posible y por el mayor tiempo posible, la utilización de un aditivo reductor de agua de alto rango (superplastificante), no se recomienda para vertidos masivos, a menos que los ensayos de pérdida de asentamiento hayan mostrado resultados no desfavorables. El uso de un reductor de agua de alto rango para vertidos de pequeño volumen puede ser aceptable si las distancias de flujo no son críticas.

Hay también aditivos disponibles para evitar el “lavado” de los materiales cementicios y de los finos del hormigón que se coloca bajo el agua. Estos aditivos que evitan el lavado se analizan en la Sección 8.10.

8.3 – Diseño de la mezcla

8.3.1 Proporciones básicas – Se emplean generalmente puzolanas aproximadamente en un 15% en peso de los materiales cementicios, pues ellas mejoran las características de flujo. Se recomiendan mezclas relativamente ricas en materiales cementicios (356 kg/m^3 o más) o una relación agua/material cementicio de 0,45. Se emplean generalmente contenidos de árido fino del 45 al 55% del volumen total de áridos y contenidos de aire de aproximadamente hasta 5%. Las consideraciones para la fisuración térmica deben verse en 8.8.5.

Generalmente es necesario un asentamiento por el cono de 150 a 230 mm y ocasionalmente un rango más elevado se necesita cuando se embeben elementos que obstruyen el flujo o cuando se requiere un flujo horizontal relativamente largo.

8.3.2 Selección final – Si es posible, la selección final de una mezcla de hormigón se basará en vertidos de ensayos hechos bajo el agua en una caja o en un foso donde se pueda desalojar el agua después del vertido. Los vertidos de ensayo serán examinados para apreciar lo llano que quede la superficie del hormigón, la cantidad de lechada presente, la calidad del hormigón a la distancia extrema del flujo y el flujo alrededor de los elementos embebidos, siempre que sea adecuado.

8.4 – Producción del hormigón y ensayos

8.4.1 Producción y ensayo de muestras – El muestreo se hará tan cerca del embudo del tubo tremie como sea posible para asegurar que el hormigón que arribe a los tubos tenga las características apropiadas. Una vez que la mezcla ha sido aprobada, los ensayos del asentamiento, el contenido de aire, el peso unitario y la resistencia a compresión serán adecuados para el control de producción. Debido a la importancia de la fluidez del hormigón en un vertido exitoso, se efectuarán los ensayos de asentamiento por el cono y el contenido de aire de forma más frecuente que los que normalmente se hacen para el hormigón que no está colocado bajo el agua.

Deben prepararse probetas para determinar la resistencia a compresión, para ser ensayadas a edades tempranas, con vistas a determinar en que momento el hormigón ha ganado resistencia suficiente para permitir el desalojo del agua de la estructura.

8.4.2 Temperatura del hormigón – La temperatura del hormigón se mantendrá tan baja como sea posible en la práctica para mejorar el vertido y las cualidades estructurales. En dependencia del volumen del vertido y de las condiciones térmicas anticipadas dentro del vertido, se especifican temperaturas máximas en el rango de 16 a 32°C.

Se han eliminado en este apartado las condiciones para las temperaturas bajas y de congelación

8.5 – El tremie y el procedimiento de vertido

8.5.1 Los tubos tremies – El tremie se fabricará de tubería de acero de gran diámetro para resistir todas las tensiones anticipadas de manipulación a que estará sometido. En vertidos profundos puede ser un problema la flotabilidad de la tubería si se emplea una placa al final como sello inicial del tremie. Emplear una tubería con paredes más gruesas o más pesada puede vencer los problemas de flotabilidad.

Los tubos tremie tendrán un diámetro lo suficientemente grande para asegurar que no ocurran bloqueos inducidos por el árido. Son adecuadas tuberías en el rango de 200 a 300 mm de diámetro para el rango de áridos recomendados con anterioridad. Para los vertidos profundos, el tremie se fabricará en secciones, con juntas que permitan remover las secciones superiores en la medida en que el vertido progresa. Las secciones pueden estar unidas mediante conexiones de bridas o atornilladas (con juntas de estanqueidad), o mediante roscas. Cualquier técnica de junta que se seleccione, debe garantizar la impermeabilidad al agua y será ensayada para determinar su impermeabilidad antes de comenzar el vertido. El tubo tremie debe ser marcado para permitir una rápida determinación de la distancia de la superficie del agua a la boca del tubo.

El tremie debe tener un embudo de carga adecuadamente dimensionado para facilitar la transferencia del hormigón desde el equipo de entrega al tremie. Hay que garantizar una plataforma estable que soporte el tremie durante el vertido. Las plataformas flotantes generalmente no son adecuadas. La plataforma debe ser capaz de soportar el tremie mientras las secciones son eliminadas desde la parte superior del tubo.

8.5.2 Procedimientos del vertido – Todas las áreas en las cuales tiene que haber adherencia entre el acero, la madera o el hormigón curado y el hormigón fresco, debe ser cuidadosamente limpiada inmediatamente antes del vertido.

8.5.2.1 Espaciamiento de los tubos – El espaciamiento de los tubos estará en el orden de una tubería por cada 28 m² de área superficial, o tubos cada aproximadamente 4,5 m a partir del centro. Estos espaciamientos son recomendados, pero ha sido colocado hormigón que fluye tan lejos como 21 m con excelentes resultados. Para vertidos más grandes, no resultan prácticos espaciamientos tan cortos como 5 m a partir de los centros, debido a que podría resultar impracticable suministrar hormigón al elevado número de tremies o bombas que estarían involucrados.

El espaciamiento real de los tubos se establecerá sobre la base del espesor del vertido, la congestión debida a los pilares o al acero de refuerzo, la capacidad de producción de hormigón disponible y la capacidad disponible para transferir el hormigón a los tremies. También debe ser considerado el método seleccionado para el vertido.

8.5.2.1 Comienzo del vertido – Para los tremies que comienzan utilizando la placa de fondo: Se llenará la tubería seca con hormigón antes de ser levantada del fondo. El tremie debe entonces ser levantado una altura máxima de 150 mm para iniciar el flujo. Estos tremies no deben ser levantados más hasta que se establezca un montón alrededor de la boca del mismo. El levantamiento inicial del tremie debe ser despacio para minimizar el trastorno del material alrededor de la boca del tremie.

Para los tremies que emplean un tapón o raspatubos: Se levantarán a 150 mm de altura como máximo para permitir que escape el agua. El hormigón entonces se añadirá al tubo lentamente para forzar al tapón hacia abajo. Una vez que el tapón alcanza la boca del tubo, el tremie debe ser levantado lo suficiente para permitir que escape el tapón. Después de esto, el tremie no debe ser levantado de nuevo hasta que no se haya formado el montón alrededor de la boca del tremie.

Los tremies deben quedar embebidos en el hormigón fresco de 1 a 1,5 m de profundidad. La profundidad exacta de embebimiento dependerá de los ritmos de vertido y del tiempo de fraguado

del hormigón. Todos los movimientos verticales del tubo tremie se deben hacer lentamente y con mucho cuidado para evitar la pérdida del sellado.. Si se produce la pérdida del sellado en un tremie, el vertido a través de dicho tremie debe ser interrumpido inmediatamente. El tremie debe ser removido, la placa de fondo debe ser reemplazada y el flujo se debe restablecer tal como se describe con anterioridad. Para evitar el lavado del hormigón ya en el lugar, no se debe utilizar un tapón para recomenzar un tremie después de perder el sello.

8.5.2.3 El vertido – El vertido del hormigón debe ser tan continuo como sea posible a través de cada tremie. Una demora excesiva en el vertido puede provocar que el hormigón se rigidice y ofrezca resistencia al flujo cuando se reanuda el vertido.

Las interrupciones del vertido de hasta aproximadamente 30 min., permiten el restablecimiento sin ningún procedimiento especial. Las interrupciones entre los 30 minutos y el comienzo del fraguado inicial del hormigón deben tratarse removiendo, volviendo a sellar y recomenzando el tremie. Las interrupciones de una duración mayor del tiempo de fraguado inicial del hormigón deben ser tratadas como una junta de construcción. Si un receso en el vertido da como resultado una junta de construcción horizontal planificada o no, la superficie del hormigón debe ser cortada después que fragüe. El corte empleando un buzo es difícil pero puede hacerse donde no haya alternativa práctica para la limpieza. La superficie del hormigón deberá someterse a presión de agua inmediatamente antes de reanudar el vertido del hormigón.

Los ritmos de crecimiento o ascenso recomendados del hormigón están generalmente en el rango de 0,3 a 3 m/h. El cálculo de un ritmo de proyecto es algo difícil porque el patrón exacto de flujo no será conocido. La aproximación más lógica es comparar la producción de hormigón con el área total a la que se le está suministrando. Aún con el espaciamiento de las tuberías, puede ser difícil alcanzar los valores recomendados. Se ha colocado con éxito hormigón bajo el agua a ritmos de aproximadamente 150 mm de crecimiento por hora (Gerwick, Holland, and Komendant 1981).

El volumen de hormigón en el lugar debe ser monitoreado a través del vertido. Una cantidad por debajo del valor previsto (que corresponde a haber utilizado menos hormigón que el previsto) es indicativo de una pérdida del sellado del tremie, producto de que los áridos lavados y segregados ocuparán un volumen mayor. Una cantidad por encima del valor previsto (que corresponde a haber utilizado más hormigón que el previsto) es por lo tanto indicativo de una pérdida de hormigón en los moldes.

Una vez que se ha desarrollado el esquema del vertido, las distancias de flujo y los ritmos de crecimiento pueden ser calculados. Si las distancias de flujo parecen excesivas o si el ritmo de crecimiento del hormigón es muy lento, analice si la planta disponible es adecuada o si es necesario dividir el vertido en segmentos más pequeños.

Los bloqueos del tremie que ocurren durante el vertido deben ser despejados con extremo cuidado para evitar la pérdida del sellado. Si ocurre un bloqueo, el tremie debe ser rápidamente levantado de 150 a 610 mm y entonces bajado en un intento de desalojar el bloqueo. La profundidad de la tubería embebida debe ser monitoreada cerradamente durante todos estos intentos. Si el bloqueo no puede ser fácilmente despejado, el tremie debe ser removido, despejado, resellado y restablecido.

8.5.2.4 Distribución horizontal del hormigón – La tubería de entrega del hormigón debe permanecer fijada horizontalmente mientras el hormigón está fluyendo. El movimiento horizontal de la tubería dañará la superficie del hormigón en el lugar, crea una lechada adicional y conduce a la pérdida del sellado. La distribución horizontal del hormigón se cumple mediante el flujo del hormigón después de la salida de la tubería o mediante el vertido por etapas moviendo la tubería, reestableciendo el sello y resumiendo el vertido.

En grandes vertidos se emplean típicamente dos métodos para el alcance horizontal del hormigón: El método por capas o el avance inclinado. En el método de capas horizontales el área completa

de vertido se hormigona simultáneamente, utilizando un cierto número de tremies. Con el método de avance inclinado, una porción del vertido se rompe al nivel terminado y entonces los tremies se mueven a las áreas adyacentes bajas hasta el nivel. El trabajo normalmente progresa de un extremo de un gran vertido hacia el otro. Se pueden esperar inclinaciones del hormigón desde lo cercano a lo horizontal hasta relaciones vertical a horizontal de 1:6.

8.5.3 Evaluación posterior al vertido – Para evaluar el vertido bajo agua, se puede emplear las siguientes técnicas:

- Extraer testigos en las áreas de flujo máximo de hormigón o en las áreas de una calidad cuestionable del hormigón
- Después de extraer el agua, inspeccionar con precisión la superficie del hormigón para evaluar lo adecuado de la mezcla de hormigón y el plan de vertido; y
- Después de quitar los encofrados o las tablestacas, inspeccionar la superficie exterior del hormigón con buzos, para encontrar evidencias de fisuración, vacíos u oquedades.

8.6 – Bombeo directo

Las técnicas de vertido con tremie son generalmente aplicables al vertido con bombeo directo bajo el agua. Sin embargo son importantes las siguientes:

- El mecanismo que causa que el hormigón fluya a través de la tubería es la presión de bombeo más que la gravedad.
- El hormigón debe ser dosificado fundamentalmente por su fluidez después de salir de la tubería más que simplemente para bombeo.
- Las tuberías son típicamente más pequeñas que las utilizadas en los tremies. Se deben utilizar siempre, para la porción embebida en el hormigón, las secciones rígidas.
- La acción del bombeo puede causar algún movimiento lateral de la tubería donde la misma está embebida en el hormigón fresco; este movimiento puede contribuir a la formación de lechada por la extracción de finos de la interfase tubería-hormigón; y
- Puede requerirse una válvula de alivio (ventilación de aire) cerca del punto más alto de la tubería, para evitar el desarrollo de un bloqueo por vacío.

8.7 – Características del hormigón

El hormigón colocado bajo agua puede esperarse que sea de una excelente calidad. Las condiciones de curado son excelentes y la retracción por secado es mínima. Las resistencias a compresión de las mezclas ricas empleadas ofrecerán de 28 a 55 MPa. No hay evidencias de que otras propiedades estructurales difieran de las de hormigones similares colocados en seco. La masa unitaria en el lugar, frecuentemente crítica en los vertidos masivos para compensar la presión hidrostática, será cercana a la medida para el hormigón fresco antes de su colocación. Sin embargo si se atrapa lechada en el hormigón, la masa unitaria puede ser significativamente más baja que para el hormigón fresco.

A pesar de que se han hecho recientes intentos para averiguar la calidad y homogeneidad del hormigón colocado bajo el agua empleando las técnicas no destructivas (Laine y otros 1980), la extracción de testigos es aún la técnica recomendada para evaluar las áreas cuestionables.

8.8 – Precauciones

Las precauciones en esta sección se aplican tanto al vertido con tremie como con bomba.

8.8.1 Inspección – La inspección del vertido del hormigón bajo el agua es difícil. El agua por sí misma se tornará incrementadamente oscura en la medida en que el vertido progresa y la superficie del hormigón fresco no soportará el peso de un buzo, por lo tanto la inspección previa al

vertido será extremadamente importante y debe concentrarse en la revisión de los procedimientos propuestos, del equipamiento y de la mezcla de hormigón propuesta. La inspección durante el vertido estará limitada a la observación de todas las fases de los procedimientos de producción, transporte y vertido. Como el éxito de un vertido bajo el agua depende en gran parte del propio hormigón, el muestreo y los ensayos efectuados durante el vertido son críticos para asegurar la conformidad con las mezclas aprobadas y las características requeridas del hormigón (Asentamiento, contenido de aire, Temperaturas)

Debe desarrollarse un plan de inspección que detalle las locaciones y la frecuencia del sondeo. El sondeo debe hacerse sobre toda el área de vertido de forma regular, como por ejemplo cada una hora o cada 75 m³. Las ubicaciones para efectuar los sondeos se marcarán sobre la estructura para asegurar que todos son hechos en la misma ubicación. Adicionalmente se requerirán sondeos con mayor frecuencia en la zona adyacente a cada tremie para monitorear el embebimiento de la tubería. La data obtenida de los sondeos se ploteará inmediatamente para monitorear el progreso del vertido.

8.8.2 Pérdida del sello – La causa más común de pérdida del sello es un excesivo movimiento vertical de la tubería para eliminar el bloqueo o al remover una sección de la tubería. Con cualquier método de vertido, la pérdida del sello es probable que dará como resultado el lavado y la segregación del hormigón. Un problema similar y relacionado es la falla para establecer un sello satisfactorio en el comienzo del vertido.

8.8.3 Tarugos o raspatabos – El empleo de tarugos tradicionalmente ha sido la técnica más socorrida para el sellado de las líneas de tremies y de bombas. A pesar de que la técnica es efectiva, el agua que se fuerza hacia afuera de la tubería, frente al tarugo, puede lavar y restregar el material ya colocado en el área de vertido. Esta condición puede ser aliviada mediante el vertido de una capa de roca adecuadamente graduada antes de comenzar el hormigonado.

Cuando la tubería se reubica durante un vertido, el agua forzada fuera de la misma lavará previamente el hormigón vertido, provocando una segregación extrema, la formación de lechada y zonas de posible aire atrapado de áridos no cementados. Por lo tanto el empleo de un tarugo al comienzo del vertido es aceptable, pero no para recomenzar una línea de tremie o de bombeo durante el vertido.

8.8.4 Lechada – Debido a que es físicamente imposible separar el hormigón y el agua completamente, se formará una cierta cantidad de lechada. Si se pierde el sello, o si el hormigón es perturbado de cualquier forma, se formará lechada adicional cuando se comienza o se recomienza una tubería. La lechada fluirá y se acumulará en cualquier área baja sobre la superficie del hormigón. Tales acumulaciones pueden impedir que el hormigón sano llene un área y puede quedar atrapada en subsecuentes flujos de hormigón. En cualquier caso las zonas de lechada serán más permeables y de resistencia más baja. Los problemas con la lechada pueden evitarse empleando bombas o extractores durante el vertido para remover el material inadecuado que se acumula. Otra vía de reducir la lechada es desechar varios centímetros de hormigón en el encofrado. Esto solo se puede hacer donde la parte superior del encofrado coincida con la parte superior del vertido.

8.8.5 Fisuración – Los problemas relacionados con el desarrollo de calor y la fisuración que el mismo provoca, en hormigonados masivos bajo el agua no han sido generalmente resueltos. Las siguientes características, sin embargo, del vertido bajo el agua deben ser consideradas:

8.8.5.1 Contenido de cemento – Las mezclas de hormigón bajo el agua tienen tradicionalmente altos contenidos de cemento (358 kg/m³ o más) para compensar el lavado del cemento y para

aportar las necesarias características de flujo del hormigón. Las mediciones que se han efectuado sobre grandes vertidos indican una temperatura máxima interna que excede los 35°C por encima de la temperatura de vertido de 16°C (Gerwick, Holland, and Komendant 1981).

8.8.5.2 Medio ambiente de vertido – El hormigón con Tremie se coloca usualmente en lugares que actúan como excelentes disipadores de calor. La temperatura del agua que rodea el hormigón normalmente variará muy poco; entonces la parte exterior de la masa de hormigón se enfría rápidamente, desarrollando un abrupto gradiente de temperatura. En el vertido mencionado anteriormente, la temperatura del hormigón varió de 66°C, a la temperatura del río 13°C en solo 1 metro.

8.8.5.3 Volumen – Para eliminar la preparación de juntas de construcción debajo del agua, el vertido tiene que ser un gran monolito colocado en cortos períodos de tiempo.

8.8.5.4 Empotramientos – Los vertidos bajo el agua frecuentemente se hacen sobre rocas o contienen varios pilotes con el hormigón actuando como un diafragma sobre pilote. En cualquier caso se puede presentar un alto grado de empotramiento.

De los métodos recomendados para el control de la fisuración en el hormigón masivo, parece ser la modificación de los materiales o de las proporciones de la mezcla la que tiene mayor potencial para la aplicación en los vertidos bajo agua. En particular el empleo de cemento de más bajo calor de hidratación, el reemplazo de un 15 a un 30% de cemento con una puzolana adecuada y el enfriamiento de los áridos y del agua. Es concebible, pero no ha sido aún probado, el garantizar un enfriamiento interno utilizando el agua disponible en el lugar o incluir aislamientos en la fabricación del encofrado empleado en el vertido estructural. EL lector se puede remitir al trabajo de Carlson, Houghton y Polivka (1979), Gerwick y Holland (1883) y al ACI 224R, para información adicional sobre la fisuración.

8.8.6 Detallado – El hormigón colocado bajo el agua se mueve a su posición final por gravedad, sin vibración e inspección, por lo tanto, todos los encofrados, acero de refuerzo y los elementos prefabricados que se van a llenar con hormigón deben ser detallados con el vertido bajo el agua con la idea de incorporar lo siguiente:

- El acero de refuerzo debe tener unas dimensiones y ser colocado de forma que permita las aberturas máximas posibles entre las barras de manera que el hormigón pueda fluir sin impedimentos.
- Los encofrados deben ser adecuadamente sellados para evitar la pérdida de hormigón y mortero; y
- Los encofrados y el acero de refuerzo no deben atrapar lechada en áreas que se desea estén llenas de hormigón.

8.8.7 Planificación previa al vertido – El hormigón vertido bajo el agua no es frecuente y no puede ser tratado como otra operación ordinaria más del hormigón. La planificación de un vertido bajo el agua debe comenzar tan pronto como se haya hecho la decisión de ejecutar el proyecto. Los asuntos que consumen mayor tiempo incluyen el detallado del acero de refuerzo (si lo hay). El detallado de los encofrados, consideraciones sobre la sobrexcautación del área de vertido para evitar la remoción del hormigón si el hormigón colocado por debajo del agua está encima del nivel diseñado, y consideraciones de los miembros incorporados que son requeridos para soportar las plataformas del tremie dentro del esquema interno de reforzamiento de un encofrado, si es adecuado.

Las consideraciones de los asuntos anteriormente expuestos deben dar como resultado el desarrollo de un plan de vertido que incluye el espaciamiento de las tuberías y sus ubicaciones a

través de toda la duración del vertido. El plan debe además incluir las ubicaciones a ser empleadas para la reubicación de las tuberías en la medida en que el vertido progrese.

8.8.8 El personal – Como el vertido bajo el agua no es frecuente y los errores pueden conducir a problemas que son extremadamente difíciles y costosos de corregir. Todo el vertido bajo el agua debe efectuarse bajo la supervisión directa de un personal calificado y experimentado. Debe estar disponible un individuo experimentado para interpretar los sondeos y tomar las decisiones necesarias respecto a la reubicación de las tuberías de vertido y los extractores y observar todos los procedimientos de vertido.

8.9 – Aplicaciones especiales

8.9.1 Encofrados textiles – Los encofrados textiles ofrecen cierta ventaja única para tipos especializados de vertidos de hormigón bajo el agua (Lamberton 1980; Koener y Welsh 1980). Normalmente, un mortero de cemento y arena, algunas veces con la adición de granito se bombea dentro de un contenedor de tejido que se confecciona con la forma requerida. El tejido actúa como un separador entre el agua circundante y el hormigón como si éste fluyera dentro del contenedor evitando la segregación.

Es preferible el empleo de un tejido de alta resistencia e impermeable al agua. Este tejido es usualmente fabricado con hilos de nylon o de poliéster de naturaleza industrial con densidad de aproximadamente 780 hilos por metro. El empleo de hilos multifilamentos texturados produce un tejido más estable y también es más efectivo como filtro, permitiendo la salida del exceso del agua de mezclado del hormigón y de ese modo incrementando el ritmo de endurecimiento y la resistencia y durabilidad a largo plazo (Lamberton 1980).

Los encofrados textiles son empleados en la construcción de revestimientos para control de la erosión, inyectando mortero en una doble capa de un sobre de tejido y en la construcción de camisas de hormigón empleadas para rehabilitar pilotes marinos deteriorados. Se han empleado grandes contenedores de tejido para el vertido de bloques de hormigón con pesos de hasta 15 toneladas en la construcción de rompeolas.

Se han empleado ensamblajes de tejido especialmente diseñados para el vertido de apoyos y contrapesos para tuberías bajo el agua.

8.9.2 Construcción de paredes en suelo – En las paredes en suelos (Xanthakos 1979; Nash 1974; Holland y Turner 1980), el hormigón se coloca bajo el agua o bajo un slurry de bentonita en trincheras para formar una pared. Estos vertidos pueden servir como paredes retenedoras para excavaciones abiertas (cuando están adecuadamente reforzadas o bulonadas) o como paredes limitadoras para parar el flujo a través o sobre las estructuras existentes, tales como las presas de tierra.

Como estas paredes son vertidos confinados, el ritmo de crecimiento del concreto será elevado, necesitándose una frecuente remoción de las secciones del tremie para mantener el flujo.

8.10 – Aditivos contra el lavado

Se han desarrollado aditivos químicos para ser empleados en el hormigón colocado bajo el agua (Saucier y Neeley 1987; Khayat, Gerwick y Hester 1990). Estos aditivos contra el lavado hacen al hormigón más cohesivo y menos propenso al lavado del cemento o de finos.

Estos aditivos fueron desarrollados para ser empleados en situaciones donde el hormigón fresco puede ser expuesto al agua que fluye durante o después del vertido, donde el lavado del cemento pueda ocasionar un problema medioambiental. Se ha desarrollado un método de ensayo por parte del Cuerpo de Ingenieros de los EEUU (CDR-C61) para evaluar la efectividad de estos aditivos

(Neeley 1988). Debido a la naturaleza tixotrópica del hormigón tratado con estos aditivos, éstos deben ser empleados con cuidado para los vertidos masivos en los cuales se espera que el hormigón fluya a largas distancias una vez que sale del tubo tremie. Deben efectuarse ensayos de vertido para verificar que el hormigón diseñado con estos aditivos contra el lavado pueden mantener un asentamiento y pueden fluir a la distancia requerida.

Se han hecho aplicaciones de estos aditivos contra el lavado en pavimentos bajo el agua de un canal (Kepler 1990; Klemens 1991) y en reparaciones bajo el agua de una presa (Neeley y Wickersham 1989).

CAPITULO 9 – BOMBEO DEL HORMIGON

9.1 – Consideraciones generales

Este capítulo da una visión general del bombeo del hormigón. Para una discusión más detallada vea el ACI 304.2R

El ACI define el hormigón bombeado como el hormigón que es transportado a través de una tubería flexible por medio de una bomba. El bombeo se puede emplear para la mayoría de las construcciones de hormigón, pero es especialmente útil donde el espacio para los equipos de construcción sea limitado. Es necesario un suministro fijo y estable de hormigón para un bombeo satisfactorio. Un hormigón bombeable, al igual que un hormigón convencional, requiere de un buen control de calidad: esto es uniformidad, áridos adecuadamente graduados, una dosificación uniforme y un mezclado cuidadoso de todos los materiales.

El hormigón bombeado se mueve como un cilindro a través de una película lubricante de mortero en el diámetro interior de una tubería.

No se puede alcanzar simultáneamente un máximo volumen de salida, con una máxima presión, debido a que esta combinación requiere demasiada potencia. Se requiere normalmente 3 o 4 veces más presión por cada metro de ascenso vertical que por cada metro de movimiento horizontal.

9.2 – Equipos de bombeo

Las bombas de hormigón más comunes consisten en un embudo receptor, dos cilindros de bombeo de hormigón, un sistema de válvulas de salida para dirigir alternativamente el flujo de hormigón dentro de los cilindros de bombeo y de ellos a la tubería. Un cilindro recibe el hormigón del embudo receptor mientras el otro descarga dentro de la tubería, para garantizar un flujo relativamente constante de hormigón a través de la tubería hacia el área de vertido. El precio de las bombas de hormigón varía grandemente con la capacidad máxima de bombeo y la presión máxima que le puede aplicar al hormigón. Las bombas se seleccionarán para aportar el ritmo deseado de salida, el volumen y la presión del hormigón en la tubería.

Las bombas de hormigón más versátiles utilizan válvulas que operan hidráulicamente y que tienen la habilidad de aplastar o desplazar el árido que quede atrapado en el área de las válvulas. La mayoría de estas bombas tienen una toma de salida de 125 mm o de mayor diámetro y emplean reductores para alcanzar las dimensiones más pequeñas de las tuberías si es necesario.

Otras bombas utilizan bolas de acero y otros dispositivos para controlar el flujo de hormigón desde el embudo de carga dentro del cilindro de bombeo y la salida del cilindro de bombeo en la tubería. Estas unidades están limitadas sólo al bombeo del hormigón con tamaños máximos de áridos menores de 13 mm. El ACI 304.2R describe las bombas de propósito general, de servicio regular y de aplicaciones especiales en detalle. Las bombas montadas sobre camión pueden además estar equipadas con plumas distribuidoras para el vertido que soportan una tubería de 125 mm de diámetro que recibe la descarga desde una bomba de hormigón y coloca el hormigón en los encofrados. La mayoría de las plumas tienen tres o más secciones articuladas y están montadas en una torreta que rota para permitir la descarga de la tubería en el lugar en que sea necesario.

Las plumas están tarifadas de acuerdo con su alcance vertical y su rango en dimensiones de unos 22 hasta 53 m.

Las bombas de hormigón son equipos poderosos que emplean altas presiones hidráulicas de aceite, hormigón bajo alta presión y aire comprimido para la limpieza. Son necesarias prácticas seguras de operación para la protección del operador de la bomba, los operarios de los camiones hormigoneros y los trabajadores que colocan y dan terminación al hormigón bombeado.

9.3 – Las tuberías y sus accesorios

9.3.1 Generalidades – La mayor parte del hormigón transportado hasta el área de vertido por métodos de bombeo, se bombea a través de tubos rígidos de acero o por mangueras flexibles de servicio pesado, a ambas se le denominan tuberías. La flexibilidad de las mangueras permite que los trabajadores viertan el hormigón exactamente en el lugar que hace falta. Para vertidos sobre el suelo, se emplean frecuentemente mangueras de goma al final de la tubería de acero. Los vertidos grandes o elevados generalmente se hacen mediante plumas distribuidoras.

Las irregularidades o rugosidades de la tubería, las variaciones en los diámetros y los cambios de dirección, perturban el flujo suave del hormigón bombeado. Esto trae como resultado un incremento en la presión requerida para empujar el hormigón a través de la tubería y un desgaste incrementado de la bomba y de la tubería.

Todos los componentes de la tubería deben ser capaces de manejar, con un factor de seguridad adecuado, la presión máxima interna que la bomba de hormigón empleada es capaz de producir. El factor de seguridad disminuye en la medida en que la tubería se desgasta, debido a la abrasividad del árido fino y grueso empleado en el hormigón. El ritmo de desgaste puede variar enormemente.

Las secciones rectas de la tubería se hacen de tubos de acero soldados o sin costuras, las más comunes de 3 m de longitud. Los diámetros más comunes son de 100 y 125 mm con los sistemas más comunes de 125 mm. No se deben utilizar tuberías de aluminio en el bombeo del hormigón (Fowler y Homgren 1971).

9.3.2 Los componentes de la tubería - Los componentes de la tubería de hormigón pueden ser ensamblados virtualmente en cualquier orden y entonces se separan y reconfiguran en una forma diferente. Para alcanzar esta flexibilidad, cada componente de la línea de entrega requiere contar con una conexión final, o collarín de acople y una junta de culata.

Las conexiones de acoplamiento requieren de un anillo sellado de junta capaz de soportar la presión requerida y evitar la salida de lechada. Las conexiones más comunes utilizan una sección recocida para hacer una junta que pueda resistir presiones por encima de los 14 MPa. Ellas pueden también resistir tensiones considerables a partir de las fuerzas externas de flexión. No se deben emplear conexiones con ranuras en tuberías de diámetro superior a 75 mm.

Las mangueras de bombeo de hormigón se dividen en dos clasificaciones: las mangueras que se desean emplear al final de la línea de vertido (manguera de descarga) y las que se emplean en la pluma de la grúa de vertido (mangueras de pluma). Las mangueras de descarga tienen un ritmo de presión más bajo. Las mangueras de pluma conectan típicamente las secciones rígidas de la pluma y pueden resistir altas presiones. Aproximadamente se requiere 3 veces más presión para bombear el hormigón a través de una longitud dada de manguera que la que es necesaria para bombear a través de la misma longitud de línea de acero. El bombeo del hormigón puede causar que una manguera curvada o doblada se enderece. Se han producido daños como resultado de tales movimientos y las curvas muy pronunciadas deben ser evitadas.

Para ayudar a alcanzar una componente máxima de vida, es necesario una limpieza cuidadosa y segura de la tubería al final de cada vertido o en cualquier momento en que se produzca una demora prolongada en las operaciones de bombeo. La tubería se limpia impulsando a través de la

línea una bola de esponja o un tarugo de goma, empleando presión de aire o agua. Antes de que comience el bombeo hay que hacer los arreglos necesarios para la disposición del hormigón residual.

9.4 – Dosificación del hormigón bombeable

9.4.1 Consideraciones básicas – El bombeo del hormigón se establece entonces en la mayoría de las áreas en que los productores de hormigón premezclado puedan suministrar una mezcla de hormigón, que será fácilmente bombeable si el productor del hormigón está bien informado del volumen de la bomba de hormigón y la capacidad de presión, el diámetro de la tubería y la distancia horizontal y vertical a bombear.

La forma del árido grueso, ya sea angular o redondeada, tiene una influencia sobre la dosificación requerida de la mezcla, aunque ambas formas de los áridos pueden ser bombeadas satisfactoriamente. Los elementos de forma angular tienen una mayor área superficial por unidad de volumen si se las compara con los de forma redondeada y por lo tanto requiere de mayor cantidad de mortero para cubrir la superficie y lograr la bombeabilidad.

9.4.2 Árido grueso – El tamaño máximo del árido grueso angular o triturado se limita a 1/3 del diámetro interior más pequeño de la bomba o de la tubería. Para los áridos bien redondeados. El tamaño máximo del árido se limita a 2/5 de estos diámetros. Los principios para la dosificación están cubiertos en el ACI 211.1 y el ACI 211.2.

Como quiera que la granulometría del árido grueso tiene que cumplir con la ASTM C 33, es importante reconocer que el rango entre los límites superiores e inferiores de esta norma son más amplios que los que recomienda el Comité 304 del ACI para producir un hormigón bombeable.

9.4.3 Árido fino – Las propiedades del árido fino tienen un rol mucho más prominente que las del árido grueso en la dosificación de las mezclas bombeables. Junto con el cemento y el agua, el árido fino hace que el mortero o fluido transporte el árido grueso en suspensión, esta es entonces la interpretación de una mezcla bombeable.

Se debe dar particular atención a aquellas fracciones que pasan los tamices más finos (Anderson 1977). Como mínimo del 15 al 30% debe pasar el tamiz No. 50 (300 μm) y de un 5 a un 10% deben pasar por el tamiz No. 100 (150 μm). El ACI 211.1 establece que para el hormigón más laborable, que es algunas veces requerido cuando el vertido es con bombas, es deseable reducir el contenido estimado de árido grueso en hasta un 10%. Tenga cuidado al asegurar que el asentamiento, la relación agua/material cementicio y las propiedades resistentes resultantes en el hormigón, cumplan con los requerimientos de la especificación del proyecto.

9.4.4 Áridos de peso normal combinados – Los áridos gruesos y finos combinados ocupan cerca del 67 al 75% del volumen de la mezcla. Con propósitos de granulometría, los áridos fino y grueso se considerarán como uno solo, aún cuando son usualmente dosificados separadamente.

El ACI 304.2R incluye una hoja de análisis para evaluar la bombeabilidad de una mezcla de hormigón combinando el árido fino y grueso con un tamaño máximo de árido de 19 a 38 mm. Esta hoja de trabajo prevé la posibilidad de añadir un árido grueso o fino adicional a la mezcla para mejorar la granulometría total y reconoce la posibilidad de solape de algunos componentes de los áridos finos y gruesos. Si una mezcla se sabe que es bombeable pues se evalúa y grafica primero, de manera que la curva que representa esta dosificación sea una referencia útil para determinar la bombeabilidad de una mezcla cuestionable. Si esa mezcla tienen una curva que sigue en forma de zigzag, o tiene uno o más valores que caen por debajo de la línea límite, la mezcla es cuestionable para el bombeo y puede no ser bombeable para todos los tipos de bombas de hormigón. Las bombas con válvulas impulsadas, más alta presión sobre el hormigón, y con una reducción más

pequeña y gradual del diámetro de la tubería de hormigón, pueden bombear las mezclas más difíciles.

El hormigón que contiene árido ligero fino y grueso puede ser bombeado si los áridos son adecuadamente saturados. Dirigirse al ACI 304.2R para la información y los procedimientos más detallados al respecto.

9.4.5 El agua – Los requerimientos para el agua y el control del asentamiento de las mezclas de hormigón bombeables con áridos de peso normal, están interrelacionados y son consideraciones extremadamente importantes. La cantidad de agua empleada en una mezcla influirá sobre la resistencia y la durabilidad (para una cantidad de cemento dada) y también afectará el asentamiento o la laborabilidad.

Los requerimientos del agua de mezclado varían para los diferentes tamaños máximos del árido así como para los diferentes asentamientos.

Establecer el asentamiento óptimo resultante del contenido de agua para una mezcla de bombeo y mantener el control de ese asentamiento particular a través de todo el curso del trabajo, son factores ambos de extrema importancia. Los asentamientos de 50 a 150 mm, obtenidos sin aditivos, son los más adecuados para el bombeo. En las mezclas con asentamientos más elevados, el árido grueso puede separarse del mortero y de la pasta y provocar bloqueos en la tubería. Los asentamientos elevados obtenidos con el empleo de superplastificantes, sin embargo son usualmente bombeados sin dificultad.

Hay varias razones que pueden hacer cambiar el asentamiento del hormigón entre el mezclado inicial y el vertido final. Si el asentamiento al final de la manguera de descarga puede ser mantenido sin limitaciones de especificación, esto puede ser satisfactorio para que el hormigón entre a la bomba con un asentamiento más alto para compensar la pérdida de asentamiento, si el cambio se debe simplemente a la absorción de los áridos.

9.4.6 Los materiales cementicios – la determinación del contenido de materiales cementicios sigue los mismos principios básicos empleados para cualquier hormigón.

Al establecer el contenido de cemento, recuerde la necesidad de diseñar para una resistencia superior en el laboratorio con vistas a permitir las variaciones de campo.

El empleo de cantidades extras de materiales cementicios con el único objetivo de corregir las dificultades del bombeo es imprudente y antieconómico. Es mucho más importante corregir cualquier deficiencia en la granulometría de los áridos.

9.4.7 Los aditivos – Cualquier aditivo que incremente la laborabilidad tanto para el hormigón normal como ligero, usualmente mejorará la bombeabilidad. Los aditivos empleados para mejorar la bombeabilidad incluyen a los aditivos reductores de agua normales (plastificantes) y de alto rango (superplastificantes), los inclusores de aire y las adiciones minerales finamente molidas.

La conciencia extendida sobre la necesidad de emplear aditivos incorporadores de aire para minimizar el daño a las estructuras por congelación y deshielo, ha coincidido con el empleo incrementado de las bombas de hormigón, así como el desarrollo de las plumas más largas para el vertido. Esto ha incentivado la realización de considerables trabajos de investigación y ensayos, que han permitido establecer que la efectividad del agente incorporador de aire al producir un sistema beneficioso de vacíos de aire, depende de muchos factores. Los factores más importantes son:

- La compatibilidad del agente incorporador de aire y de los otros aditivos así como el orden en los cuales son introducidos en la mezcla
- Las proporciones de la mezcla y la granulometría del árido
- Los procedimientos y equipos de mezclado empleados
- Las temperaturas de mezclado, y

- El asentamiento

La efectividad del agente incorporador de aire y su dosis resultante también depende de la finura del cemento, del factor de cemento, del contenido de agua, de la química del cemento y del agua, así como de los otros aditivos químicos y minerales empleados en el hormigón. Para información más detallada dirigirse al ACI 304.2R en el aspecto relativo al contenido de aire y aditivos.

9.5 – Experiencias de campo

Para un vertido exitoso es esencial una planificación previa del bombeo del hormigón, con el incremento del mayor grado de detalle y de la coordinación requerida, así como la magnitud del vertido y el desarrollo del proyecto. Esta planificación debe asegurar la correcta cantidad y tipo de hormigón que se usará en el bombeo, el aseguramiento de la línea de tubería necesaria y el acuerdo sobre que personal garantizará la mano de obra necesaria para completar la operación de vertido.

Se puede utilizar cualquier bomba de remolque, o montada sobre camión para el vertido del hormigón por tubería. El factor limitante en este método es la capacidad para distribuir el hormigón tanto como sea necesario al final de la tubería. Generalmente esto se hace mediante obreros manipulando una manguera de goma al final de la línea rígida de vertido.

La descarga de plumas de grúa autopropulsadas se puede efectuar en cualquier punto dentro del radio de acción de la pluma y a las elevaciones alcanzadas con la pluma desde un punto cerca de la vertical (arriba o abajo) hasta la horizontal. Su utilización generalmente reduce la mano de obra requerida para un vertido dado.

9.6 – Control de campo

El hormigón bombeado no requiere de ningún compromiso en cuanto a calidad. Sin embargo se debe mantener un elevado nivel de control de calidad para asegurar la uniformidad del hormigón.

Se ha bombeado exitosamente hormigón tanto en tiempo caliente como frío. Pueden ser necesarias precauciones para asegurar la adecuada protección en condiciones extremas. Se debe acudir al ACI 305R para mayor información.

Se eliminó la referencia al ACI 305R relativa al hormigonado en tiempo frío

CAPITULO 10 – HORMIGÓN TRANSPORTADO POR CINTA

10.1 – Consideraciones generales

Este capítulo da una visión general del hormigón transportado por cinta. Para mayores detalles ver el ACI 304.4 R.

Las cintas transportadoras para la manipulación del hormigón son especiales, en el sentido en que transportan hormigón plástico que es aproximadamente un 48% más pesado que el árido o que cualquier otro material comúnmente transportado por este tipo de medio. Ellas transportan hormigón plástico desde una fuente de suministro, tal como un camión hormigonera o una planta dosificadora-mezcladora, hasta el punto de vertido o hasta otro equipo que se emplee para el vertido del hormigón. El máximo éxito para el vertido con cinta transportadora requiere de un constante suministro del hormigón mezclado adecuado para ser cargado en la cinta y de un aseguramiento para mover el punto de descarga durante el vertido, de manera que el hormigón plástico sea depositado sobre toda el área de vertido sin necesidad de una remanipulación o de vibración excesiva.

Las cintas transportadoras para el hormigón se clasifican en tres tipos: 1) portátiles o auto-contenidas; 2) alimentadoras o en series; 3) distribuidoras radiales o de descarga lateral.

Todas las cintas transportadoras de hormigón requieren de un embudo de carga y de descarga, de limpiadores de cinta y una combinación adecuada de rodillos o muertos para el soporte de la cinta y de cierta velocidad de la cinta para evitar la segregación del hormigón. Cualquier hormigón de

áridos normales o ligeros que pueda ser descargado por un camión hormigonera, puede ser colocado por una cinta transportadora de hormigón.

10.2 – Operación de la cinta transportadora

Las cintas transportadoras de hormigón corren a la correcta velocidad de la cinta y con embudos de carga, dispositivos de transferencia y limpiadores de cinta que funcionan correctamente y que tienen un efecto mínimo sobre la resistencia, el asentamiento, o el contenido de aire del hormigón que transportan.

Las características de la vena de hormigón sobre una cinta transportadora están determinadas por el ángulo de sobrecarga del hormigón, la distancia mínima requerida al borde, y la sección transversal de la carga. El ángulo de sobrecarga es el ángulo con la horizontal que asume la superficie del mismo hormigón mientras es transportado sobre una cinta transportadora que se mueve (horizontalmente). El ángulo de sobrecarga para la mayoría de los hormigones está en el rango de 0 a 10 grados (Anónimo 1979). El ángulo de sobrecarga determina la sección transversal de la vena de hormigón que puede ser eficientemente transportada sobre la cinta y la inclinación máxima (ascendente o descendente) a la cual el hormigón puede ser manipulado por la cinta.

El hormigón no puede ser transportado a través de toda la superficie de la cinta. La vena de hormigón debe estar centrada sobre la cinta con un ancho igual de cinta libre o una distancia del borde entre el extremo de la vena y cada borde de la cinta. Una falla en la observación de la distancia mínima requerida al borde de la cinta dará como resultado un excesivo derrame y de pérdida del árido grueso de los bordes de la misma.

Toda cinta transportadora de hormigón emplea rodillos de apoyo o muertos que canalizan o acopan la cinta, permitiendo transportar una vena más profunda de hormigón que la que pueda ser posible en una cinta plana. En la medida en que el ángulo de la cinta (ascendente o descendente) sea incrementado, la vena de hormigón sobre la cinta se hará menos profunda. Cuando el hormigón se carga sobre una cinta transportadora, cualquier diferencia entre su velocidad en la dirección del movimiento de la cinta y la velocidad de la cinta, será igualada por la aceleración o desaceleración del hormigón, lo que da como resultado turbulencia. Los embudos de carga adecuadamente diseñados utilizan esta turbulencia para producir un remezclado del hormigón al fluir sobre la cinta. Una cinta transportadora de hormigón debe estar equipada con un embudo de carga que nivele el avance del flujo de hormigón y entregue una vena uniforme de hormigón sobre la cinta con una distancia adecuada a los bordes.

El hormigón plástico viaja a la misma velocidad de la cinta cuando es descargado desde una cinta transportadora. El hormigón plástico generalmente abandona la cinta como una masa cohesiva con excepción de algunas de las piezas más grandes del árido grueso que pueden segregarse de la corriente y algún mortero que se quede pegado a la cinta.

Empleando embudos de descarga adecuadamente diseñados, canales, canales tubulares, o trompas de elefante, se eliminarán los problemas de segregación del hormigón. Equipando cada final de descarga de la cinta transportadora con un limpiador de cinta o un escarificador se limitará la pérdida de mortero.

10.3 – Diseño de la cinta transportadora

Las cintas transportadoras son muy flexibles porque ellas operan a altas velocidades sobre un cabezal de diámetro relativamente pequeño y rodillos de cola. Casi toda la cinta se hace de gran longitud y se corta para fijar el transportador sobre el cual se instala. Los finales de la cinta se empalman para hacerla continua.

La mayoría de las cintas transportadoras de hormigón son movidas frecuentemente y es imposible asegurar que la estructura soportante y los rodillos o muertos estarán siempre a nivel en el plano a un ángulo correcto con la línea centro de la cinta. Cuando una cinta transportadora no está a nivel, la gravedad causará que la cinta se corra hacia el lado más bajo. Este problema se soluciona

usualmente con rodillos o muertos soportes de cinta que están especialmente diseñados para este fin, o mediante rodillos guía que están en contacto con los bordes de la cinta.

El factor sencillo más importante para determinar la carga de la sección transversal es el ancho de la cinta. Un incremento relativamente pequeño en el ancho de la cinta incrementa grandemente la capacidad. Por ejemplo, un incremento del ancho de la cinta de 400 a 600 mm da más del doble de la capacidad a la misma velocidad de la cinta.

Un método conveniente de estimación de la capacidad de transportar hormigón de la cinta es emplear las tablas de capacidad de las cintas transportadoras publicadas por el fabricante del equipo. Estas tablas usualmente asumen condiciones horizontales de operación continua, un ángulo promedio de sobrecarga y una configuración convencional de tres rodillos o muertos. Estas tablas se trata de que cubran las condiciones promedios y son usualmente suficientemente aproximadas para la mayoría de los propósitos. Existe una relación directa entre la capacidad y la velocidad de la cinta de manera que las capacidades pueden ser interpoladas para velocidades de cinta que no son mostradas en dichas tablas.

Manteniendo el peso de hormigón sobre la cinta en un mínimo, se permitirá que la cinta transportadora corra a la velocidad óptima. Generalmente esta velocidad está en el rango de 90 a 230 m/min., en dependencia del tipo de cinta transportadora de hormigón empleada, del ángulo de sobrecarga del hormigón y del ángulo de la cinta.

La combinación adecuada del espaciamiento de los rodillos o muertos y de la tensión de la cinta permite que la cinta transportadora pare y lleve el hormigón sobre la cinta sin derrames. Incrementando el espaciamiento de los muertos se disminuye el peso total de la cinta transportadora de hormigón, pero se incrementa la tensión requerida de la cinta para una operación exitosa.

Las condiciones de operación de las cintas transportadoras de hormigón requieren el empleo de componentes eléctricos impermeables o con protección contra el agua, cojinetes sellados y circuitos hidráulicos cerrados. Consecuentemente no hay razón, debido al equipamiento, para proteger las cintas transportadoras del tiempo y las condiciones ambientales. Hay raramente la necesidad de cerrar o proteger el hormigón sobre una cinta transportadora portátil o sobre otros tipos de cintas transportadoras de hasta 60 a 90 m de longitud. El hormigón se transporta a alta velocidad y por lo tanto estará expuesto a las condiciones ambientales solo por muy corto tiempo.

En condiciones ambientales extremas, cuando se emplean sistemas de cintas transportadoras más largos, puede ser necesario establecer alguna forma de cierre para mantener la laborabilidad del hormigón o para protegerlo del medio ambiente. Cuando tal tipo de cierre sea requerido se determinará sobre la base de un proyecto concreto.

Todo el hormigón estructural puede ser manipulado satisfactoriamente por una cinta transportadora de hormigón. Los asentamientos extremos ya sea por debajo de los 25 mm o por encima de los 180 mm, reducen significativamente la capacidad de la cinta transportadora.

Saucier (1974) reportó que en ensayos efectuados al hormigón transportado por cinta a más de 900 m de distancia, la hidratación del cemento, la evaporación de agua, o la absorción de los áridos, dieron como resultado una pérdida de asentamiento del hormigón transportado a esas largas distancias. Los ensayos de resistencia indicaron un incremento definitivo en la resistencia que correspondió con el decrecimiento del asentamiento. La pérdida del aire incorporado fue inferior al 0,5% para un hormigón que originalmente contenía aproximadamente un 5% de aire.

Ningún factor simple del diseño de la cinta transportadora es de tan predominante importancia que por si solo sea capaz de producir una operación satisfactoria o insatisfactoria.

10.4 – Tipos de cintas transportadoras

Diferentes requerimientos de proyectos han dado como resultado el desarrollo de cintas transportadoras portátiles, alimentadoras o distribuidoras para el vertido del hormigón. Cada tipo

puede ser empleado solo o combinado con los otros para conformar un sistema de cintas transportadoras.

10.4.1 Las cintas transportadoras portátiles – Las aplicaciones de corta elevación o de corto alcance para el vertido del hormigón, requieren del empleo de una cinta transportadora portátil. La característica más importante es que cada unidad es auto-contenida y que puede ser trasladada fácilmente alrededor del proyecto. Los anchos de las cintas de 400 a 460 mm son los más empleados. El peso y la movilidad comercial de la cinta transportadora portátil restringe su longitud total hasta aproximadamente 18 m. Esto de hecho establece la altura máxima de descarga hasta aproximadamente 11 m.

Las cintas transportadoras portátiles generalmente se operan con motores de gasolina o Diésel y emplean sistemas de dirección hidráulicos para el mando de la cinta transportadora cargada. Una cinta autopulsada con una longitud total de 17 m, un motor de 22 MW y mando de dirección a distancia puede colocar hormigón a un ritmo tan elevado como 76 m³/h.

10.4.2 Cintas alimentadoras – Las aplicaciones para el vertido del hormigón a grandes alcances requieren el empleo de cintas transportadoras de tipo alimentadoras que operan en series con puntos finales de descarga transferidos.

Las cintas transportadoras alimentadoras son operadas normalmente con motores eléctricos de corriente alterna, de manera que la velocidad de la cinta será controlada por el suministro de potencia. Los controles y los cables deben cumplir los requerimientos del código de electricidad y ser seguros para trabajar en un ambiente húmedo. Los motores deben estar protegidos contra condiciones tanto de sobrecarga como de bajo voltaje. Es importante que las cintas transportadoras arranquen automáticamente en secuencia y que el sistema asegure que cada vuelo o unidad del sistema esté operando a la velocidad de cinta adecuada antes de que el hormigón sea descargado sobre la misma.

Las cintas transportadoras alimentadoras pueden ser operadas sobre rieles o vías que permitan que el tren del alimentador pueda ser extendido o retraído sin interrumpir el vertido del hormigón. En grandes proyectos, se pueden instalar cintas transportadoras relativamente permanentes. Bajo estas condiciones se pueden emplear unidades de cintas transportadoras mucho más largas.

La distribución del hormigón en el punto final de descarga del tren requiere de particular atención, porque las cintas transportadoras alimentadoras mueven un gran volumen de hormigón. Usualmente, las cintas alimentadoras descargan en equipos especialmente diseñados para la distribución del hormigón.

10.4.3 Cintas transportadoras distribuidoras

10.4.3.1 Distribuidores radiales – Los distribuidores radiales son montados sobre la cinta transportadora de vertido o sobre un soporte en voladizo que balancea el final de descarga a través de un arco. Ellos tienen además la posibilidad de extender y retraer la cinta transportadora de vertido una distancia sustancial. Los distribuidores radiales en voladizo normalmente dependen de patas que son soportadas por los encofrados o la base sobre la cual se coloca el hormigón, para resistir el momento de vuelco que se crea por la carga de la cinta.

Los distribuidores radiales también son soportados por postes rígidos montados en o cerca del área de vertido.

Las limitaciones de alcance y de peso de las unidades de distribución radial han sido grandemente vencidas mediante el empleo de dos o tres secciones telescópicas de cintas transportadoras montadas sobre camiones o sobre la pluma telescópica de una grúa hidráulica. Los distribuidores radiales tienen la ventaja de un tiempo de operación relativamente rápido y de una capacidad de

alcance que sobrepasa las obstrucciones. Ellas a su vez provocan obstrucciones o congestiones mínimas en la propia área de vertido.

Para vertidos más amplios, el método más eficiente de equipamiento empleado y el mejor patrón de vertido para el acabado con equipos mecánicos es alcanzado mediante cintas transportadoras de descarga lateral o distribuidores en línea recta (Cope 1972).

10.4.3.2 Cintas transportadoras de descarga lateral – Las cintas transportadoras de descarga a un lado se extienden completamente a través del área de vertido. Mediante la descarga del hormigón sobre los lados de la cinta con un aditamento viajero o desviador de la carga, ellas colocan una vena recta de hormigón que es ideal para la terminación mecanizada. Las cintas de descarga a un lado normalmente operan horizontalmente, de manera que la cinta puede ser cargada pesadamente. Las equipadas con un ancho de cinta de 400 mm, tienen una capacidad de aproximadamente 75 m³/h, las de 500 mm de ancho de cinta, tienen una capacidad de 153 m³/h y las de ancho de cinta de 600 mm, tienen una capacidad de aproximadamente 230 m³/h.

Una grúa con una cubeta para entregar el hormigón a un embudo relativamente estacionario y usualmente visible de una cinta de descarga a un lado es significativamente más eficiente que la misma grúa columpiando de forma ciega para verter el hormigón directamente en una losa elevada. Las cintas transportadoras de descarga lateral han hecho también a las bombas más prácticas para losas o cubiertas anchas, eliminando la fuerza de trabajo necesaria para mover constantemente el punto de descarga final de la tubería de acá para allá, frente al equipamiento de terminación comúnmente empleado de línea recta.

El desviador que remueve el hormigón de la cinta y lo descarga sobre un lado de la cinta transportadora, emplea una cuchilla limpiadora para remover el hormigón de la cinta. Esta operación y el ajuste de la cuchilla limpiadora es crítica en una cinta de descarga final. Hay que tomar medidas para ajustar el limpiador de la cinta o escarificador de una cinta transportadora de descarga lateral mientras el hormigón está siendo colocado. Cierta desgaste de la tira de limpieza es normal y una pequeña cantidad de mortero puede quedar después de pasado el desviador.

10.4.3.3 Combinaciones de cintas transportadoras – Cada tipo de cinta transportadora tiene alguna posibilidad limitada de alcance, elevación, transporte o distribución. En proyectos grandes y complejos, será normalmente rentable emplear cada tipo de equipo para la función en que mejor trabaja. En la medida en que la longitud, la velocidad y el ancho de las cintas sean compatibles, es práctico combinar varios tipos de equipos.

10.5 – Práctica de campo

No resulta generalmente práctico diseñar para el cliente las cintas transportadoras para cada proyecto o aplicación. La práctica normal es seleccionar equipos estándar, comercialmente disponibles que tengan la capacidad y el alcance adecuados y organizar y planificar su utilización para cumplir la secuencia general de construcción requerida para un desempeño adecuado del trabajo.

El ritmo actual de campo de una cinta transportadora de hormigón raramente igualará la capacidad teórica de los manuales. Esto se atribuye en primer lugar a las demoras inevitables que ocurren en la dosificación, el mezclado y el transporte del hormigón hacia la cinta transportadora en el área de vertido. Otras demoras incluyen la compactación y terminación del hormigón y el movimiento de la cinta. No hay posibilidad de que una cinta transportadora puede colocar una oleada de hormigón por encima de su capacidad de diseño, porque el exceso de hormigón colocado sobre la cinta usualmente se escurrirá por los lados.

La producción horaria en un proyecto eficiente promediará usualmente cerca del 70% de la capacidad de la cinta transportadora. Este ajuste de la capacidad teórica aporta el factor de

seguridad que la mayoría de los trabajos requiere para un completamiento exitoso dentro de los tiempos programados.

En la medida en que el vertido progresa, el hormigón fresco siempre será descargado sobre o contra el hormigón de consistencia plástica que ya está previamente descargado en el lugar, de manera de que cierto mezclado del hormigón a través de la vibración no deje oportunidad para que se formen nidos de piedras u oquedades. La vibración en el punto de entrega e inmediatamente detrás del borde del hormigón, provocará que el hormigón rodee el acero de refuerzo sin segregación significativa.

Puede ser necesario algún mantenimiento de la cinta durante el vertido del hormigón en proyectos de gran volumen, debido a que la cinta se estirará en cierto grado durante el vertido del hormigón. Las cintas transportadoras deben tener posibilidad para poder incrementar la tensión de la cinta en el caso en que sea necesario.

Cualquier hormigón derramado debe ser limpiado de la cinta transportadora antes de que endurezca.

Las cintas transportadoras son sistemas abiertos donde casi todo el hormigón que está siendo colocado puede ser visualmente inspeccionado. La vena de hormigón sobre la cinta debe ser observada en el arranque y frecuentemente a través del vertido. El mayor énfasis en la inspección debe hacerse sobre la adecuada descarga del hormigón desde la cinta y la compactación del hormigón. El hormigón descargado desde una cinta transportadora no debe tener una caída libre que cause segregación.

Los sistemas de cintas transportadoras deben ser ensayados en condiciones de trabajo antes de sea intentado cualquier vertido significativo, si hay cualquier duda sobre las posibilidades del sistema para garantizar un vertido exitoso del hormigón. Afortunadamente, la manipulación de solo algunos metros cúbicos de hormigón sobre un sistema de cinta transportadora validará el diseño de la cinta e identificará las áreas de los problemas.

Los ensayos del hormigón plástico y las muestras para la determinación de la resistencia tomadas en el punto de descarga después del mezclado o del equipo de transporte y en el punto de descarga del hormigón de la cinta transportadora dan una seguridad adecuada de una operación satisfactoria. La calidad del hormigón que es colocado en la estructura solo puede medirse en el punto de vertido en la estructura. Una vez que se haya establecido una correlación satisfactoria entre las muestras tomadas en el punto de vertido y en el punto de descarga de la mezcladora, el muestreo en el punto más conveniente será satisfactorio, siempre que las condiciones de vertido permanezcan inalterables.

CAPITULO 11 – HORMIGÓN PESADO Y DE PROTECCION CONTRA RADIACIONES

11.1 – Consideraciones generales

Los procedimientos para la dosificación, el mezclado, el transporte y el vertido del hormigón pesado y de protección contra radiaciones son similares a los empleados en la construcción con hormigón convencional.

Pericia y experiencia especial y una planificación previa son elementos necesarios para el desarrollo exitoso de este tipo de trabajo de hormigón (Pihlajayaara 1972). Para un análisis detallado sobre el hormigón pesado y de protección contra las radiaciones vea el ACI 304.3R.

El hormigón de peso normal se especifica generalmente para la protección contra la radiación cuando hay suficiente espacio disponible. Sin embargo cuando el espacio es limitado el espesor de esta protección puede reducirse empleando ya sea áridos pesados naturales o sintéticos.

Los árido minerales naturales y sintéticos pueden producir hormigones que posean una densidad típica tan elevada como 3840 kg/m³ y 5450 kg/m³ respectivamente.

El hormigón pesado no solo tienen una alta densidad, sino también propiedades más deseables de atenuación.

Cuando un hormigón pesado se emplea para absorber los rayos gamma, la densidad es de primera importancia (Pihlayaraara 1972). Cuando el hormigón es para atenuar neutrones, hay que incluir en la mezcla de hormigón un material de peso atómico ligero que contenga hidrógeno (Davis 1972a). Algunos áridos son empleados por su habilidad para retener agua de composición a elevadas temperaturas (por encima de lo 85°C), que asegura una fuente de hidrógeno.

La colemanita, un mineral que contiene boro y aditivos manufacturados de boro, tales como los residuos de boro, el ferroboro y el carburo de boro, se han empleado en el hormigón de peso normal y pesado. Su empleo mejora la absorción de neutrones térmicos, limita la radiación gamma fuerte y limita la acumulación de la actividad de larga vida. Hay que tener cuidado con la posibilidad de retardo debido a la presencia de boratos solubles (Volkman 1994)

11.2 – Los materiales

11.2.1 Generalidades – Los cementos, los aditivos y el agua empleada en el hormigón pesado deben estar conformes con las normas generalmente requeridas para el hormigón de peso normal, solamente los áridos son diferentes y pueden requerir de consideraciones especiales durante la manipulación, la dosificación, el mezclado, la transportación y el vertido.

11.2.2 Los áridos – Es necesario el examen minucioso y la evaluación de las fuentes de áridos pesados, para obtener el material adecuado para el tipo de protección que sea requerida (Browne y Blundell 1972)

La composición de los áridos para ser utilizados en hormigones protectores contra radiaciones se describe en la ASTM C 638, y los áridos cumplirán los requerimientos de la ASTM C 637. En la Tabla 11.1 se muestran algunas propiedades típicas para los áridos de protección.

Algunos áridos (ferrofosfatos y barita) y algunos minerales de hierro, son frágiles y altamente cristalinos en su estructura y tienden a fracturarse en pequeñas piezas mientras se manipulan. Estos factores no deben excluir el empleo del material, ya que se ha demostrado que el hormigón confeccionado con los mismos tiene propiedades que cumplen con los especificaciones requeridas.

Los áridos metálicos finos deben consistir en hierro enfriado, perdigones de acero, o hierro molido que cumpla con las especificaciones de la Sociedad de Ingenieros Automotrices (1993).

El hormigón pesado con áridos pre-colocados usualmente excluye el empleo de áridos mayores de 40 mm, debido a la configuración de los moldes y las limitaciones de embebimientos. El árido grueso debe estar uniformemente graduado de 10 a 40 mm y estar conforme a la granulometría 1 de la tabla 7.1 (Capítulo 7). La granulometría del árido fino debe estar entre los límites mostrados en la Tabla 7.1 de manera que las partículas más pequeñas muestren menor tendencia a segregarse.

El árido debe ser embarcado, manipulado y almacenado de manera que se asegure una pequeña pérdida de finos, ninguna contaminación de material extraño y una segregación que no sea significativa.

11.2.3 Mortero premezclado comercial – Los hormigones con morteros pesados de hierro y morteros ligeros orgánicos e inorgánicos que son producidos comercialmente por fabricantes para la protección biológica, tienen que ser ensayados antes de su empleo para establecer las propiedades de protección contra las radiaciones. La inspección en el punto de la fabricación será tan severa como para los áridos naturales y sintéticos y los hormigones de protección.

11.3 – Características del hormigón

11.3.1 Propiedades físicas – Las propiedades ideales para un hormigón pesado son un elevado módulo de elasticidad, un bajo coeficiente de expansión térmica y una baja deformación elástica y

fluencia. Se pueden requerir altas resistencias a compresión si el hormigón pesado está sujeto a elevadas tensiones. El hormigón pesado con un elevado contenido de cemento y una baja relación agua/material cementicio puede mostrar una fluencia y retracción incrementada, y en un vertido masivo de hormigón puede generar altas temperaturas a edades tempranas, causando una fisuración localizada indeseable a partir de las tensiones térmicas inducidas. Cuando las consideraciones estructurales requieren que sean eliminadas estas fisuraciones potenciales, es necesario el uso de medidas apropiadas para el control de la temperatura, que pueden incluir el pre o post-enfriamiento del hormigón, o ambos, tal como se describe en el ACI 207.2R y en el ACI 224R.

11.3.2 Diseño de la mezcla – Se deben emplear los procedimientos indicados en el ACI 211.1 para el diseño de la mezcla. El hormigón pesado que se coloca convencionalmente debe diseñarse para aportar la resistencia a compresión y la densidad deseada así como una adecuada laborabilidad. Además los constituyentes químicos y el contenido de agua de composición de la mezcla resultante deben aportar las propiedades de protección satisfactorias (Davis 1972b). En la Tabla 11.2 se muestran las proporciones típicas para el hormigón pesado convencionalmente colocado, con áridos pre-colocados y las mezclas de morteros.

Tabla 11.1 — Áridos típicos de protección contra radiaciones¹

Minerales naturales					Minerales sintéticos			
			Porcentaje en peso				Porcentaje en peso	
Árido	Fuente ³	Peso específico ²	Hierro	Agua de fijación	Árido	Peso específico ²	Hierro	Agua de fijación
Mineral hídrico					Aridos triturados			
Bauxita	-	1,8 a 2,3	0	15 a 25	Escorias pesadas	5,0	0	0
Geotita	Utah, Michigan	3,4 a 3,8	0	8 a 12	Ferrofosfatos ⁴	5,8 a 6,3	0	0
Limonita	Utah, Michigan	3,4 a 3,8	55	8 a 12	Ferrosilicona	6,5 a 7,0	70	0
Mineral pesado					Productos metálicos de hierro			
Barita	Nevada, Tennessee	4,0 a 4,8	1 a 10	0	Barras de refuerzo picadas	7,7 a 7,8	99	0
Magnetita	Nevada, Wyoming, Montana	4,2 a 4,8	60	1,0 a 2,5	limallas de acero	7,7 a 7,8	99	0
Ilmenita	Quebec	4,2 a 4,8	40	0	Perdigones de hierro y acero	7,5 a 7,6	99	0
Hematita	Sudamérica África	4,2 a 4,8	70	-	Productos de Boro			
Aditivos de Boro					Residuos de boro	2,4 a 2,6	0	0
Calcita de boro	Turquía	2,3 a 2,4	0	0	Ferroboro	5,0	85	0

Colemanita	California	2,3 a 2,4	0	0	Tierra de diatomeas borada	1,0	0	0
					Carburo de boro	2,5 a 2,6	0	0

¹Fuente: Sociedad de Ingenieros Automotrices (1993), Davis (1967) y Anon. (1955)

²Material saturado en agua con superficie seca

³Puede haber otras fuentes disponibles

⁴El ferrofosfato cuando se emplea en el cemento Portland genera gases tóxicos e inflamables que pueden desarrollar altas presiones si están confinados

11.4 – Equipamiento de mezclado

El equipamiento estándar para el mezclado es el que generalmente se emplea para mezclar el hormigón pesado, pero hay que tener cuidado de no sobrecargar el equipo. En general la cantidad de hormigón pesado mezclado debe ser equivalente al peso de mezcla de peso normal para la capacidad de volumen del equipo de mezclado. El hormigón pesado se agitará cuando se transporta desde la planta de mezclado hasta el punto de vertido para evitar la segregación, la compactación y el empaquetamiento.

Tabla 11.2 — Dosificaciones típicas para el hormigón de protección contra radiaciones, que es mezclado y colocado de forma convencional

Mezcla No.	Árido fino		Árido grueso		Aditivo	A/C	Asentamiento en mm	Densidad húmeda Kg/m ³
	Relación árid/Cem	Material	Relación árid/Cem	Material				
A	3,40	Ilmenita	-	-	Especificar	0,43	0	3040
B	3,35	Magnetita	-	-	Especificar	0,47	0	3040
C	2,39	Serpentinita	5,07	Magnetita	Especificar	0,62	50	3040
D	4,46	Barita	5,44	Barita	Especificar	0,60	50	3520
E	3,66	Ilmenita	4,62	Ilmenita	Especificar	0,45	75	3630
F	3,61	Magnetita	4,58	Magnetita	Especificar	0,49	50	3630
Q	2,95	Ferrofosfato	2,95	Ferrofosfato	Especificar	0,54	50	4170
	1,48	Barita	2,11	Barita	Especificar	0,54	50	4170
H	3,01	Magnetita	1,76	Magnetita	Especificar	0,49	50	4330
	-	-	2,69	S330/390 Perdigones de hierro	-	-	-	-
	-	-	2,65	S1110/1320 Perdigones de hierro	-	-	-	-
I	2,98	Magnetita	2,60	S330/390 Perdigones de hierro	Especificar	0,51	50	4800
	-	-	5,76	S1110/1320 Perdigones de hierro	-	-	-	-

J	3,21	Ilmenita	2,60	S330/390 Perdigones de hierro	Especificar	0,49	50	4800
	-	-	5,54	S1110/1320 Perdigones de hierro	-	-	-	-
K	3,82	Ferrofosfato	7,10	Ferrofosfato	Especificar	0,53	50	4800
L	1,00	Magnetita	5,96	S330/390 Perdigones de hierro	Especificar	0,46	50	5290
	-	-	5,89	S1110/1320 Perdigones de hierro	-	-	-	-
Mortero para áridos pre-colocados								
M	1,15	Serpentinita	-	-	-	0,50	-	2050
N	1,00	Convencional	-	-	-	0,42	-	2060
O	1,28	Limonita	-	-	-	0,55	-	2390
P	1,49	Barita	-	-	-	0,54	-	2480
Q	2,12	Magnetita	-	-	-	0,55	-	2720
Hormigón con áridos pre-colocados								
Mezcla No.	Mortero No.	Material	Relación árid/Cem	Material	Aditivo	A/C	Asentam. en mm	Densidad Kg/m ³
R	O	Limonita	1,23	Limonita	Especificar	0,55	-	3440
		-	5,37	Magnetita	-	-	-	-
S	Q	Magnetita	10,29	Magnetita	Especificar	0,55	-	3850
T	M	Serpentinita	2,46	Serpentinita	Especificar	0,50	-	3850
-	-	-	7,44	Limallas de acero	-	-	-	-
U	Q	Magnetita	6,16	Magnetita	Especificar	0,55	-	4170
		-	3,38	Limallas de acero	-	-	-	-
V	O	Limonita	2,70	Limonita	Especificar	0,55	-	4170
		-	6,31	Limallas de acero	-	-	-	-
W	Q	Magnetita	8,08	Limallas de acero	Especificar	0,55	-	4810
X	Q	Magnetita	13,11	Limallas de acero	Especificar	0,55	-	5450

11.5 – El encofrado

El encofrado seguirá las prácticas indicadas en el ACI 347R. El encofrado para el hormigón pesado que se coloca de forma convencional, necesita ser más fuerte que el encofrado comparable para el hormigón ordinario debido a la mayor densidad de este hormigón.

Las estructuras típicas de protección contra radiaciones requieren de encofrados complejos y pueden contener varias acometidas a través del encofrado. El sistema de apuntalamiento y de soportería debe ser cuidadosamente diseñado para evitar la colocación no intencional de una carga sobre miembros con acometidas y para asegurar la alineación precisa de las instalaciones externas que correspondan a estas acometidas. Hay que considerar seriamente la utilización de encofrados permanentes de acero.

Las acometidas de acero son frecuentemente ensamblajes fabricados y maquinados con precisión, que pueden estar sujetos a demoras en las entregas. Es posible permitir tales demoras a condición de que estas acometidas se reciban por bloques. Los bloques se deben recibir con dobleces normales o en configuración de escalones para reducir la posibilidad de un flujo de radiaciones o de formación de lechada. La estructura básica se puede completar entonces alrededor de estos bloques. Después que se colocan los elementos a ser embebidos, los bloques se llenan con mortero pesado. Hay que tomar precauciones para asegurar que las acometidas y los bloques sean cuidadosamente rellenados con mortero empleando un mortero sin retracción de densidad apropiada.

11.6 – El vertido

11.6.1 Método convencional – El vertido de un hormigón pesado y mezclado convencionalmente, está sujeto a las mismas consideraciones de control de calidad que el hormigón de peso normal, excepto que éste es más susceptible a las variaciones en la calidad debido a la segregación provocada por una manipulación inadecuada.

El vertido del hormigón pesado exige la estricta observación de las buenas prácticas de colocación. Se pueden utilizar las técnicas regulares de vertido del hormigón, incluyendo el bombeo. El hormigón pesado se colocará lo más cerca posible de su posición final en los encofrados, con un mínimo de vibración para evitar la segregación. Debe evitarse el empleo de canales largas y rígidas o de canales tubulares. En los lugares donde el hormigón es colocado en encofrados estrechos o en áreas de acceso restringido, se debe emplear una canal tubular corta de tipo flexible (trompa de elefante), que tienda a hundirse y restringir la caída. Las capas se deben limitar a un máximo de 300 mm.

Los procedimientos de compactación estará conformes a lo indicado en el ACI 309R. En el hormigón pesado los vibradores tienen un área efectiva, o un radio de acción más pequeño, por lo tanto hay que tener un gran cuidado para asegurar que el hormigón sea adecuadamente compactado.

La vibración y la revibración para remover el aire ocluido y para establecer el contacto de árido a árido puede provocar una excesiva cantidad de mortero en la parte superior de la superficie de la capa (Davis 1972c). Este mortero debe ser removido de la superficie de la capa mientras el hormigón permanezca aún en estado fresco.

11.6.2 Método de los áridos pre-colocados – En el Capítulo 7 se dan las precauciones que hay que tener para el vertido de los hormigones pesados con áridos pre-colocados. El vertido del mortero del hormigón pesado con áridos pre-colocados requiere de un extremo cuidado por su elevada tendencia a la segregación y al bloqueo de las líneas, por lo tanto hay que hacer una preparación con tiempo suficiente para desbloquear rápidamente las mangueras y tuberías del mortero. Hay que contar con equipamiento de reserva y se recomienda una corrida de ensayo antes de comenzar las operaciones.

11.7 – Control de Calidad

11.7.1 Muestreo y ensayos – Los materiales del hormigón pesado y de protección contra la radiación deben ser muestreados y ensayados antes y durante la construcción para asegurar su conformidad con las normas y especificaciones aplicables. La Guía presentada en los códigos y reportes del ACI, así como la experiencia previa con los mismos materiales, determinará la frecuencia requerida para los ensayos.

La complejidad de las estructuras en las que se coloca el hormigón pesado, usualmente excluye la posibilidad de tomar testigos perforados, por lo tanto es de la mayor importancia que sea

establecido un programa minuciosos de control de calidad antes del comienzo de la construcción y que sea mantenido durante la construcción.

11.7.2 Ensayos de control – la calidad del hormigón producido y de sus materiales constituyentes debe ser controlada mediante un programa establecido de muestreo y ensayos, de acuerdo con los métodos apropiados de ensayo de la ASTM. Los límites de rechazo del hormigón pesado se establecerán en las especificaciones de construcción y estarán conformes a los parámetros de diseño de las estructuras involucradas. Antes de derrochar el hormigón pesado, que es muy caro, el ingeniero debe ser notificado, de manera que pueda ser evaluada la severidad de cualquier no conformidad.

El hormigón pesado con áridos pre-colocados es adaptable al empleo de ensayos de control de calidad exactos y sofisticados. La extensión del control ejercido depende de la complejidad y la importancia del proyecto.

Los ensayos de los materiales, los morteros y de la resistencia a compresión del hormigón pesado con áridos pre-colocados, deben ser los mismos que ya fueron discutidos en el Capítulo 7.

CAPITULO 12 – HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL

12.1 – Consideraciones generales

Este capítulo da una visión general del hormigón ligero estructural. Para una discusión más detallada, dirigirse al ACI 304.5R.

Los procedimientos para la dosificación, el mezclado, el transporte y el vertido del hormigón ligero, son similares en muchos aspectos a los procedimientos comparables del hormigón de peso normal. Sin embargo hay ciertas diferencias especialmente en el diseño y en el procedimiento de preparación que hay que considerar para obtener un producto terminado de calidad comparable. El peso y las propiedades de absorción de los áridos ligeros son diferentes y deben ser considerados. Este capítulo se ocupa en primer lugar de los métodos de preparación de los áridos gruesos ligeros para corregir los cambios en peso y su contenido de humedad, de manera de asegurar el adecuado rendimiento (Tobin 1971). También cubre la preparación de los áridos finos ligeros empleando una modificación del método para el árido grueso ligero (Instituto de esquistos, pizarras y arcillas expandidas 1958a. Asociación del Cemento Portland 1988).

Estos métodos de diseño y preparación han sido coordinados con los principios básicos establecidos en el ACI 211.2 y en el ACI 304.5R. Es necesario que el usuario se dirija a estos documentos para análisis más detallados de los métodos disponibles para la preparación del árido ligero, ya que esos materiales no se reproducen aquí.

12.2 – Medición y dosificación

12.2.1 Agua libre y agua absorbida – Una de las primeras consideraciones en la dosificación de las mezclas de hormigón de áridos ligeros es tener una comprensión adecuada del agua empleada en la mezcla (Tobin 1967). El agua total empleada por unidad de volumen se divide en dos componentes. Una parte es agua absorbida por los áridos, en tanto que la otra es similar a la empleada en el hormigón de áridos de peso normal y se clasifica como agua libre. El agua libre controla el asentamiento y cuando se mezcla con una cantidad dada de cemento, establece la resistencia de la pasta, al igual que para cualquier mezcla de hormigón. La cantidad y peso del agua absorbida variará con los diferentes materiales ligeros, con la pre-saturación y con los tiempos de mezclado (Reilly 1972; Shideler 1957). El agua absorbida no cambia el volumen de los áridos o del hormigón porque ella está dentro del árido. Lo más importante es que el agua absorbida no debe afectar la relación agua/material cementicio o el asentamiento del hormigón.

12.2.2 Variaciones del peso unitario - El peso unitario de los áridos ligeros varía en dependencia de las materias primas empleadas y del tamaño del árido. Las partículas más pequeñas usualmente tienen mayores pesos unitarios que las más grandes. Los pesos unitarios varían además debido a los cambios en la absorción o el contenido de humedad. Si el árido ligero se dosifica por peso, sin efectuar los ajustes por estas variaciones en el peso unitario, puede haber serios problemas de sobre-rendimiento o infra-rendimiento del hormigón.

El peso unitario seco suelto del árido, depende en primer lugar de su peso específico y de la granulometría y forma de las partículas. Los áridos triturados angulares tienen más vacíos o espacios sin llenar entre las partículas del árido, que los redondeados, o que un modelo de piezas esféricas conformadas (Tobin 1978; Wills 1974). Los áridos con mala granulometría (o sea de una sola fracción) generalmente tienen más vacíos que los que tienen una granulometría uniforme, que poseen suficientes partículas más pequeñas para rellenar los vacíos entre las más grandes.

Numerosos ensayos de rutina tanto de áridos naturales como de ligeros, muestran una correlación extraordinariamente cerrada del contenido de vacíos para los materiales específicos que son producidos por una planta dada durante un prolongado período de tiempo. Cada planta de producción posee su propia característica de los valores del contenido de vacíos para cada tamaño de árido que se produce en la misma y esta información puede ser obtenida usualmente de la fuente.

El volumen absoluto de un árido ligero grueso en específico, es el volumen del material remanente después de que le ha sido sustraído el volumen de vacíos. El volumen absoluto, o sea el volumen desplazado en el hormigón para un material ligero dado, permanece igual aún cuando cambie su densidad o su contenido de humedad.

El empleo apropiado de estos principios básicos hace posible dosificar y entregar hormigón ligero con el asentamiento y el rendimiento apropiado para cualquier trabajo.

12.2.3 Dosificación volumen-peso del árido grueso – Para evitar problemas con el rendimiento del hormigón, es necesario mantener los mismos volúmenes absolutos de los áridos ligeros en cada amasada de hormigón, ajustando los pesos de las amasadas para compensar los cambios en los pesos unitarios. Los ensayos normalizados de pesos unitarios para los áridos ligeros, que se hacen frecuentemente durante las operaciones de dosificación pueden ser empleados para ajustar los pesos de las amasadas para reflejar cualquier cambio que pueda ocurrir en los pesos unitarios. Esta práctica consume bastante tiempo en una planta de mucha producción y como método alternativo ha sido desarrollado y utilizado en algunas áreas, un sistema de dosificación volumen-peso. Cualquiera de los dos métodos produce resultados satisfactorios. La principal diferencia entre los sistemas reportados aquí y el reportado en el ACI 211.2, es que el método de volumen-peso aporta ajustes automáticos de los rendimientos para cada amasada de hormigón ligero sin la necesidad de determinar los factores de peso específico del árido estructural ligero.

12.2.3.1 Calibración de la tolva de pesaje – El sistema volumen-peso puede ser establecido para virtualmente cualquier sistema de dosificación que emplee una tolva o silo para el pesaje de los materiales. La primera operación es determinar el volumen de la tolva de pesaje.

Cuando la compuerta de descarga de la tolva elevada que contiene árido ligero, es abierta, el material fluirá dentro de la tolva de pesaje hasta que se acumule al nivel de la compuerta de descarga. Algunas plantas pueden ser ligeramente diferentes que otras, pero se pueden hacer las modificaciones adecuadas en las tolvas elevadas, las tolvas de pesaje, o ambas, para permitir que la tolva de pesaje se llene al nivel preestablecido cada vez.

El volumen de árido ligero en esta tolva de pesaje llena, se puede calibrar para la mayoría de las plantas dosificadoras de la siguiente manera. El peso total del material (sea seco o con agua absorbida) en la tolva llena se puede leer directamente en las escalas. La tolva se descarga entonces dentro de un camión de volteo y el peso unitario de tres o cuatro muestras de material

suelto se determina en el contenedor adecuado. El peso total de la tolva dividida entre el peso unitario promedio nos dará el volumen total del material en la tolva de pesaje en m^3 . Por ejemplo, si el peso neto de la tolva llena es de 2100 kg y el peso unitario promedio del material es de 772 kg/m^3 , el volumen es simplemente $2100/772 = 2,73 m^3$.

Este procedimiento de calibración será efectuado unas tres veces para asegurar la validez de las mediciones. Puede ser necesario efectuar una nueva calibración si se cambia la fuente de los áridos ligeros, porque el nuevo material puede tener un diferente ángulo de reposo que puede alterar el volumen total en la tolva de pesaje. Si no ocurren cambios mayores en los áridos ligeros, una calibración será suficiente por varios meses o hasta que los materiales cambien significativamente.

La tolva de pesaje calibrada se puede utilizar como un contenedor para determinar el peso unitario del árido ligero grueso para cada amasada de hormigón. Se puede preparar una carta de dosificación para cualquier dosificación especificada de mezcla, basada en un rango completo de pesos unitarios del árido medido en la tolva de pesaje. Este procedimiento se explica con detalle en el ACI 304.5R.

12.2.4 Dosificación del árido ligero fino – No resulta práctico dosificar el árido ligero fino por un método volumétrico debido a sus cambios de volumen a granel por sus diferentes contenidos de humedad superficial (Asociación de cemento Portland 1944). Por esta razón, los áridos ligeros finos se dosifican por peso, de igual manera que la arena natural con reducciones hechas por el contenido total de humedad.

Como la humedad en los finos ligeros puede ser parcialmente absorbida, así como estar en la superficie como agua libre, los medidores de humedad empleados en las tolvas de almacenaje de plantas dosificadoras para las arenas naturales si no son capaces de determinar la humedad total del árido, o sea la humedad superficial y la humedad dentro de sus poros permeables no son satisfactorios para las arenas ligeras. Se han obtenido resultados satisfactorios de dosificación, secando una pequeña muestra (de aproximadamente 500 g) de la arena ligera que se esté utilizando, en un contenedor adecuado hasta peso constante a temperatura de 100 a 110°C. Se calcula la humedad total (absorbida más la humedad libre) comparando el peso húmedo de la muestra con su peso seco. Los ensayos de humedad se deben ejecutar como mínimo una vez al día o siempre que se introduce un suministro fresco de arena ligera.

Para ajustar la cantidad apropiada de finos ligeros, se determina el peso unitario seco en estufa del material tal como se indicó anteriormente. Si este peso unitario seco difiere del mostrado en la proporción de la mezcla de laboratorio, entonces el peso seco de la amasada se cambia multiplicando el volumen suelto por el nuevo peso unitario suelto ya determinado. Este peso seco de la amasada se incrementa por el contenido de humedad determinado previamente para dar el peso real de la báscula a ser utilizado.

12.3 – El mezclado

Las propiedades de absorción de los áridos ligeros requieren de consideración durante el mezclado. El ritmo de absorción con el tiempo, así como la absorción máxima total, tienen que ser adecuadamente integradas dentro del ciclo de mezclado para controlar propiamente la consistencia (Instituto de esquistos, pizarras y arcillas expandidas 1958b; Tobin 1971).

1.2.3.1 La carga de las mezcladoras – la secuencia para introducir los ingredientes del hormigón ligero en la mezcladora varía de una planta a la otra. Una vez que han sido establecidos los procedimientos aceptables tanto para el humedecimiento, como para la dosificación, es importante repetir estos tan rigurosamente como sea posible en todo momento, para producir uniformemente el hormigón. Las condiciones del tiempo, tales como la temperatura y la humedad ambiente,

pueden ejercer influencias significativas sobre la producción del hormigón ligero y deben ser adecuadamente consideradas.

12.3.1.2 Los camiones hormigoneras – La carga de un camión hormigonera sigue la práctica general empleada con las mezcladoras estacionarias. Algunas veces se pueden transportar grandes volúmenes de hormigón ligero en los camiones hormigoneras sin exceder el peso legal o el límite de la carga por eje. El volumen de hormigón en la tambora no excederá del 63% del volumen de la tambora cuando se emplea el equipo como mezcladora, o el 80% cuando se emplea como agitador (Gaynor y Mullarky 1975).

12.3.2 Operación de la mezcladora – El tiempo de entrega tienen un rol importante en el control del asentamiento y puede requerir de cambios en la cantidad de agua necesaria para producir el asentamiento deseado. Los trabajos de construcción a diferentes distancias de la planta dosificadora requieren períodos de transporte más largos o cortos y es común tener demoras en la descarga. Estos factores hacen difícil determinar el tiempo total en que la mezcla permanecerá en la tambora para cualquier carga en particular. La mayoría de los áridos ligeros continúa absorbiendo agua con el tiempo, aunque sean pre-saturados. La pre-saturación disminuye los ritmos de absorción, pero no necesariamente elimina la absorción. Puede ser deseable retener de 10 a 15 litros de agua por metro cúbico al dosificar el hormigón en la planta, para hacer que la amasada no esté muy húmeda en el arribo. Frecuentemente es necesario y permisible añadir agua a la mezcla de hormigón ligero en el lugar de trabajo para reemplazar el agua libre que ha sido absorbida por el árido ligero con vistas a retornar al hormigón al asentamiento deseado. El mezclado se hace tal como se ha descrito en la sección 4.5.2.

12.4 – Control del trabajo

El control de campo del rendimiento del hormigón ligero es de los aspectos más importantes. Un sobre-rendimiento produce un volumen más grande de hormigón que el deseado, mientras que un rendimiento bajo produce menos. El sobre-rendimiento está siempre estrechamente asociado con una pérdida de resistencia debido a la reducción en el contenido neto de cemento. El rendimiento bajo da como resultado que el hormigón que está siendo entregado sea menor que el esperado u ordenado. La ASTM C 127, C 138, C 173 y la C 231 dan métodos para establecer el control de campo.

El peso unitario del hormigón fresco se emplea para medir el rendimiento de una mezcla. El peso total de todos los ingredientes que son colocados en la tambora de la mezcladora, tal como se entrega computado en el albarán de entrega, o el camión completo puede ser pesado antes y después de ser cargado. El peso de todos los ingredientes dividido entre el peso unitario del hormigón, nos dará el volumen total de hormigón en la mezcladora. Cuando el volumen calculado es más del 2% por encima o por debajo del volumen indicado en el albarán de entrega, es necesario hacer un ajuste.

Si el cambio en el rendimiento es debido al contenido de aire ocluido, entonces se puede corregir esta condición en un ajuste en la cantidad de aditivo incorporador de aire.

Si el peso unitario medido en el campo es mayor que el peso unitario húmedo mostrado por la dosificación de la mezcla, esto indica un rendimiento bajo, por el contrario si el peso unitario es menor, esto indica que puede ocurrir un sobre-rendimiento. Cuando no hay cambios apreciables en los pesos de los áridos ligeros por sí mismos, con toda probabilidad las diferencias en el rendimiento pueden ser atribuidas a una incorrecta cantidad o a un incorrecto volumen absoluto de los áridos ligeros. En este caso, de deben dar pasos en la planta dosificadora para corregir el volumen absoluto de los áridos ligeros empleados en el hormigón que está siendo dosificado.

Capítulo 13 – Referencias**13.1 – Normas y reportes de referencia**

Los documentos de las variadas organizaciones que producen normas y que están referidas en este documento se indican a continuación con su designación serial.

American Concrete Institute

116R Cement and Concrete Terminology

207.1R Mass Concrete

207.2R Effect of Restraint, Volume Change, and Reinforcement on Cracking of Mass Concrete

207.5R Roller Compacted Mass Concrete

211.1 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete

211.2 Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete

212.3R Chemical Admixtures for Concrete

221R Guide for Use of Normalweight and Heavyweight Aggregates in Concrete

223 Standard Practice for the Use of Shrinkage Compensating Concrete

224R Control of Cracking in Concrete Structures

302.1R Guide for Concrete Floor and Slab Construction

304.1R Guide for the Use of Preplaced Aggregate Concrete for Structural and Mass Concrete Applications

304.2R Placing Concrete by Pumping Methods

304.3R Heavyweight Concrete: Measuring, Mixing, Transporting and Placing

304.4R Placing Concrete with Belt Conveyors

304.5R Batching, Mixing, and Job Control of Lightweight Concrete

304.6R Guide for the Use of Volumetric-Measuring and Continuous Mixing Concrete Equipment

305R Hot Weather Concreting

306R Cold Weather Concreting

308 Standard Practice for Curing Concrete

309R Guide for Consolidation of Concrete

311.1R ACI Manual of Concrete Inspection (SP-2)

311.4R Guide for Concrete Inspection

318 Building Code Requirements for Structural Concrete

325.9R Guide for Construction of Concrete Pavements and Concrete Bases

347R Guide to Formwork for Concrete

506R Guide for Shotcrete

544.3R Guide for Specifying, Proportioning, Mixing, Placing, and Finishing Steel Fiber-Reinforced Concrete

ASTM

C 33 Specification for Concrete Aggregates

C 94 Specification for Ready-Mixed Concrete

C 127 Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate

C 138 Test Method for Unit Weight, Yield and Air Content (Gravimetric) of Concrete

C 150 Specification for Portland Cement

C 172 Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete

C 173 Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method

C 231 Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method

C 595M Specification for Blended Hydraulic Cements (Metric)

C 618 Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete

C 637 Specification for Aggregates for Radiation-Shielding Concrete
 C 638 Descriptive Nomenclature of Constituents of Aggregates for Radiation-Shielding Concrete
 C 685 Specification for Concrete Made by Volumetric Batching and Continuous Mixing
 C 845 Specification for Expansive Hydraulic Cement
 C 938 Practice for Proportioning Grout Mixtures for Preplaced-Aggregate Concrete
 C 939 Test Method for Flow of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete (Flow Cone Method)
 C 943 Practice for Making Test Cylinders and Prisms for Determining Strength and Density of Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory
 C 953 Test Method for Time of Setting of Grouts for Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory
 D 75 Practice for Sampling Aggregates
 D 2419 Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate

U.S. Army Corps of Engineers

CRD-C 55 Test Method for Within-Batch Uniformity of Freshly Mixed Concrete
 CRD-C 61 Test Method for Determining the Resistance of Freshly Mixed Concrete to Washing Out in Water

Las publicaciones antes mencionadas pueden ser obtenidas a través de las siguientes organizaciones:

American Concrete Institute
 P.O. Box 9094
 Farmington Hills, Mich., 48333-9094

ASTM
 100 Barr Harbor Drive
 West Conshohocken, Pa., 19428

U. S. Army Corps of Engineers Waterways
 Experiment Station
 3909 Halls Ferry Road
 Vicksburg, Miss., 39180

13.2 – Referencias citadas

AASHTO, 1993, Guide Specifications for Highway Construction, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., 296 pp.
 Anderson, W. G., 1977, "Analyzing Concrete Mixtures for Pumpability," ACI JOURNAL, Proceedings V. 74, No. 9, Sept., pp. 447-451.
 Anon., 1954, "Investigation of the Suitability of Prepacked for Mass and Reinforced Concrete Structure," Technical Memorandum No. 6-330, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., 44 pp.
 Anon., 1955, Nucleonics, McGraw-Hill Publishing Co., New York, pp. 60-65.
 Anon., 1977, "Cooling Concrete Mixes with Liquid Nitrogen," Concrete Construction, V. 22, No. 5, pp. 257-258.
 Anon., 1979, Belt Conveyors for Bulk Materials, 2nd Edition, Conveyor Equipment Manufacturers Association Engineering Conference, Washington, D. C.
 Anon., 1988, "Cooled Concrete Controls Cracking for Base Mat Pour," Concrete Construction, V. 33, No. 11, pp.1032-1033.

- Bozarth, F. M., 1967, "Case Study of Influences of Imbalances in Charging of Cement and Water on Mixing Performance of an Eight Cubic Yard Central Plant Mixer," U.S. Bureau of Public Roads, Washington, D.C.
- Browne, R. D., and Blundell, R., 1972, "Relevance of Concrete Property Research to Pressure Vessel Design," Concrete for Nuclear Reactors, SP-34, C. E. Kesler, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., pp. 69-102.
- Carlson, R. W.; Houghton, D. L.; and Polivka, M., 1979, "Causes and Control of Cracking in Unreinforced Mass Concrete," ACI JOURNAL, Proceedings V. 76, No. 7, July, pp. 821-837.
- Cement and Concrete Association, 1976, "Superplasticizing Admixtures in Concrete," Publication No. 45.030, Wexham Springs, 32 pp.
- Concrete Plant Manufacturers Bureau, 1996a, "Concrete Plant Standards of the Concrete Plant Manufacturers Bureau," CMPB-101, Silver Spring, 13 pp.
- Concrete Plant Manufacturers Bureau, 1996b, "Recommended Guide Specifications for Batching Equipment and Control Systems in Concrete Batch Plants," CPMB-102, Silver Spring, 9 pp.
- Concrete Plant Manufacturers Bureau, 1996c, "Concrete Plant Mixer Standards of the Plant Mixer Manufacturers Division, Concrete Plant Manufacturers Bureau," PMMD-100, Silver Spring, 4 pp.
- Concrete Reinforcing Steel Institute, 1982, CRSI Handbook, 5th Edition, Schaumburg, Ill.
- Cope, J., L., 1972, "Conveying Concrete to Lower Dam Construction Costs," Economical Construction of Concrete Dams, American Society of Civil Engineers, New York, pp. 252-255.
- Corps of Engineers, 1994a, "Standard Practice for Concrete for Civil Works Structures," EM-1110-2-2000, Washington, D. C., 119 pp.
- Corps of Engineers, 1994b, "Cast-in-Place Structural Concrete," Civil Works Guide Specification 03301, Washington, D. C., 57 pp.
- Davis, H. S., 1958, "High Density Concrete for Shielding Atomic Energy Plants," ACI JOURNAL, Proceedings V. 54, No. 11, May, pp. 965-978.
- Davis, H. S., 1967, "Aggregates for Radiation Shielding Concrete," Materials Research and Standards, V. 7, No. 11, pp. 494-501.
- Davis, H. S., 1972a, "Concrete for Radiation Shielding—In Perspective," Concrete for Nuclear Reactors, SP-34, C. E. Kesler, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., pp. 3-13.
- Davis, H. S., 1972b, "Iron-Serpentine Concrete," Concrete for Nuclear Reactors, SP-34, C. E. Kesler, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., pp. 1195-1224.
- Davis, H. S., 1972c, "N-Reactor Shielding," Concrete for Nuclear Reactors, SP-34, C. E. Kesler, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., pp. 1109-1161.
- Davis, R. E., 1960, "Prepacked Method of Concrete Repair," ACI JOURNAL, Proceedings V. 57, No. 2, Aug., pp. 155-172.
- Davis, R. E., Jr., and Haltenhoff, C. E., 1956, "Mackinac Bridge Pier Construction," ACI JOURNAL, Proceedings V. 53, No. 6, Dec., pp. 581-596.
- Davis, R. E., Jr.; Johnson, G. D.; and Wendell, G. E., 1955, "Kemano Penstock Tunnel Liner Backfilled with Prepacked Concrete," ACI JOURNAL, Proceedings V. 52, No. 3, Sept., pp. 287-308.
- Expanded Shale, Clay, and Slate Institute, 1958a, "Workability is Easy," Lightweight Concrete Information Sheet No. 1, Bethesda, Md., 3 pp.
- Expanded Shale, Clay, and Slate Institute, 1958b, "Suggested Mix Design for Job Mixed Structural Lightweight Concrete," Lightweight Concrete Information Sheet No. 3, 2 pp.
- Fowler, E. L., and Holmgren, E. F., 1971, "Expansion of Concrete Pumped Through Aluminum Pipeline," ACI JOURNAL, Proceedings V. 68, No. 12, Dec., pp. 950-958.
- Gaynor, R. D., and Mullarky, J. I., 1975, "Mixing Concrete in a Truck Mixer," NRMCA Publication No. 148, National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, 24 pp.

- Gerwick, B. C., 1964, "Placement of Tremie Concrete," Symposium on Concrete in Aqueous Environments, SP-8, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., pp. 9-20.
- Gerwick, B. C., and Holland, T. C., 1983, "Cracking of Mass Concrete Placed Under Water," Concrete International: Design and Construction, V. 5, No. 4, Apr., pp. 29-36.
- Gerwick, B. C.; Holland, T. C.; and Kommendant, G. J., 1981, "Tremie Concrete for Bridge Piers and Other Massive Underwater Placements," Report No. FHWA/RD-81/153, Federal Highway Administration, Washington, D.C., 203 pp.
- Holland, T. C., and Turner, J. R., 1980, "Construction of Tremie Concrete Cutoff Wall, Wolf Creek Dam, Kentucky," Miscellaneous Paper No. SL-80-10, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., 85 pp.
- Kepler, W. F., 1990, "Underwater Placement of a Canal Lining," Concrete International, V. 12, No. 6, June, pp. 54-59.
- Khayat, K. H.; Gerwick, B. C.; and Hester, W. T., 1990, "High-Quality Tremie Concretes for Underwater Repairs," Proceedings, Paul Klieger Symposium on Performance of Concrete, SP-122, D. Whiting, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., pp. 125-138.
- King, J. C., 1971, "Special Concretes and Mortars," Handbook of Heavy Construction, 2nd Edition, McGraw-Hill Book Co., New York, pp. 22-1 to 22-30.
- Klemens, T. L., 1991, "Who Says You Can't Pave Underwater?" Highway & Heavy Construction, V. 134, No. 10, pp. 64-66.
- Koerner, R. M., and Welsh, J. P., 1980, "Fabric Forms Conform to Any Shape," Concrete Construction, V. 25, No. 5, pp. 401-409.
- Laine, E. F.; Dines, K. A.; Okada, J. T.; and Lytle, R. J., 1980, "Probing Concrete with Radio Waves," Proceedings ASCE, V. 106, GT7, pp. 759-766.
- Lamberton, B. A., 1980, "Fabric Forms for Erosion Control and Pile Jacketing," Concrete Construction, V. 25, No. 5, pp. 395-399.
- Lovern, J. D., 1966, "Important Variables Affecting Moisture Control," Modern Concrete, V. 30, No. 4, pp. 44-46.
- Mass, G. R., 1989, "Premixed Cement Paste," Concrete International, V. 11, No. 11, Nov., pp. 82-86.
- Mielenz, R.C., 1994, "Petrographic Evaluation of Concrete Aggregates," Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials, STP-169, ASTM, Philadelphia, Pa., pp. 341-364.
- Nash, K. L., 1974, "Diaphragm Wall Construction Techniques," Proceedings ASCE, V. 100, C04, pp. 605-620.
- Neeley, B. D., 1988, "Evaluation of Concrete Mixtures for Use in Underwater Repairs," Technical Report No. REMR-CS-18, U. S. Army Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., 124 pp.
- Neeley, B. D., and Wickersham, J., 1989, "Repair of Red Rock Dam," Concrete International, V. 11, No. 10, Oct., pp. 36-39.
- Pihlajayaara, S. E., 1972, "Preliminary Recommendation for Design, Making and Control of Radiation Shielding Structures," Concrete for Nuclear Reactors, SP-34, C. E. Kesler, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., pp. 57-67.
- Portland Cement Association, 1944, "Bulking of Sand Due to Moisture," Concrete Information Sheet No. ST20, Skokie, Ill., 2 pp.
- Portland Cement Association, 1988, Design and Control of Concrete Mixtures, 13th Edition, Skokie, Ill., 205 pp.
- Prestressed Concrete Institute, 1981, "Recommended Practice for Use of High-Range Water Reducing Admixtures in Precast Prestressed Concrete Operations," Journal, V. 26, No. 5, Sept.-Oct. pp. 28-48.

- Reilly, W. E., 1972, "Hydrothermal and Vacuum Saturated Lightweight Aggregate for Pumped Structural Concrete," ACI JOURNAL, Proceedings V. 69, No. 7, July, pp. 428-432.
- Saucier, K. L., 1974, "Use of Belt Conveyors to Transport Mass Concrete," Technical Report No. C-74-4, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss. Saucier, K. L., and Neeley, B. D., 1987, "Antiwashout Admixtures in Underwater Concrete," Concrete International, V. 9, No. 5, May, pp. 42-47.
- Shideler, J. J., 1957, "Lightweight Aggregate Concrete for Structural Use," ACI JOURNAL, Proceedings V. 54, No. 4, Sept., pp. 299-328.
- Society of Automotive Engineers, 1993, "Recommended Practice for Cast Shot and Grit Size Specification for Peening and Cleaning," SAE J 444, SAE Handbook, New York, 5 pp.
- Tobin, R.E., 1967, "Lightweight Ready Mix—A New Approach," Concrete Products, 5 pp.
- Tobin, R.E., 1971, "Handling Lightweight Concrete on the Job," Lightweight Concrete, SP-29, D. P. Jenny and A. Litvin, eds., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., pp. 63-70.
- Tobin, R.E., 1978, "Flow Cone Sand Tests," ACI JOURNAL, Proceedings V. 75, No. 1, Jan., pp. 1-12.
- Truck Mixer Manufacturers Bureau, 1996, "Truck Mixer, Agitator, and Front Discharge Concrete Carrier Standards," TMMB-100, Silver Spring, 5 pp.
- Tynes, W. O., 1959, "Investigation of Methods of Preparing Horizontal Construction Joints in Concrete," Technical Report No. 6-518, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., 19 pp.
- Tynes, W. O., 1962, "Influence of Fine Aggregate Grading on Properties of Concrete," Technical Report No. 6-544, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., 25 pp.
- Tynes, W. O., 1963, "Investigation of Methods of Preparing Horizontal Construction Joints in Concrete—Report 2, Tests of Joints of Large Blocks," Technical Report No. 6-518, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., 19 pp.
- U.S. Bureau of Reclamation, 1981, Concrete Manual, 8th Edition, Denver, 627 pp.
- U.S. Department of Commerce, 1966, "A Study of Mixing Performance of Large Central Plant Concrete Mixers," Bureau of Public Roads, Washington, D.C.
- Van Alstine, C. B., 1955, "Mixing Water Control by Use of a Moisture Meter," ACI JOURNAL, Proceedings V. 52, No. 3, Nov. pp. 341-348. Also, Discussion, Part 2, Dec. 1956, p. 1209.
- Volkman, D. E., 1994, "Concrete for Radiation Shielding," Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials, ASTM STP 169C, P. Klieger and J. Lamond, eds., ASTM, pp. 540-546.
- Williams, J. Wayman, Jr., 1959, "Tremie Concrete Controlled with Admixtures," ACI JOURNAL, Proceedings, V. 55, No. 8, Feb., pp. 839-850.
- Wills, M. H., Jr., 1974, "Lightweight Aggregate Particle Shape Effect on Structural Concrete," ACI JOURNAL, Proceedings V. 71, No. 3, Mar., pp. 134-142.
- Xanthakos, Petros P., 1979, Slurry Walls, McGraw-Hill Book Co., New York, 622 pp.