



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

TECNOLOGIA DEL CONCRETO

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A:
BEATRIZ ALEJANDRA CASTELLON OSNAYA



FES Aragón

ASESOR: M. EN I. DANIEL VELAZQUEZ VAZQUEZ

MÉXICO.

2006



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

GRACIAS SEÑOR Por permitirme llegar hasta aquí, por darme la fuerza para vencer todos los obstáculos y tropiezos que haz puesto durante mi vida, te doy gracias por estos padres tan maravillosos que me haz dado, un amigo y esposo estupendo, por darme una gran amiga como hermana y un sin número de amigos sinceros, de los cuales tengo mucho de que sentirme orgullosa y sobre todo te doy las gracias por estar en este momento tan importante de mi vida a mi lado. No tengo palabras para agradecer todo lo que me haz dado señor, mas que decirte **GRACIAS SEÑOR**,

A MIS PADRES

Arturo y Rebeca, quienes con su confianza, cariño y apoyo sin escatimar esfuerzo alguno me han convertido en persona de provecho, ayudándome al logro de una meta más: Mi Carrera Profesional
Por compartir tristezas y alegrías, éxitos y fracaso, por todos los detalles que me han brindado durante mi vida de estudiante y por hacer de mi todo lo que soy.... **GRACIAS**.

A MI ESPOSO

José Ubaldó, gracias por todo el apoyo y paciencia que me haz brindado durante el tiempo que he dedicado para la realización de este trabajo, por ayudarme e impulsarme para que este trabajo lo realizara con éxito y por todo tu amor, tu comprensión y por que sigas a mi lado siempre, Te Amo...

A MI HERMANA Y SOBRINO

Blanca, Se lo que quieres ser. No le des importancia a lo que otros dicen, no te amilanes frente a los contratiempos y dificultades. Ten la seguridad de que tu y solo tu, tendrás que responder por tus actos, por lo tanto busca dentro de ti exactamente lo que quieres ser, pero siempre desarrollándote hacia el crecimiento por ser feliz... Gracias por todo tu apoyo y amistad.

Carlitos, Espero que algún día cuando puedas entender este trabajo te des cuenta de lo mucho que te quiero y que siempre estaré a tu lado para apoyarte en todo lo que emprendas y que esto te sirva como inspiración para que un día llegues mucho mas lejos de lo que yo he llegado hoy, te quiere tu tía Checha.

A MIS ABUELITOS

Agustín y Elvira, Gracias por estar conmigo en los momentos mas importantes de mi vida y por su apoyo, sus sabios consejos, su amor y cariño... Gracias.

A MIS AMIGOS

Misael, Armando, Javier, Gregorio y todos aquellos con los que algún día conviví durante mi formación profesional, Gracias por todos esos momentos inolvidables que vivimos de alegría y sin sabores, recuerden que no se necesita ver frecuentemente al amigo para que la amistad perdure, basta saber que este responderá cuando sea necesario con un acto de afecto, de comprensión y aun de sacrificio.

A MIS MAESTROS

Por que gracias a sus conocimientos, paciencia y pasión por enseñar he logrado lo que mas anhelaba en la vida una carrera profesional, espero que sepan que me han dado las herramientas mas valiosas que a un hombre se le pueden dar, el conocimiento, creanme que su esfuerzo no será en vano. Gracias por enseñarme y por compartir conmigo y con mis compañeros todos sus conocimientos.

MI ASESOR DE TESIS

M en I Daniel Velázquez Vázquez, gracias por dedicar tu valioso tiempo en ayudarme con la realización de este trabajo, por tu apoyo, tu amistad y sobre todo la paciencia que haz tenido conmigo para que este trabajo resultara un éxito... Gracias.

BEATRIZ ALEJANDRA

INDICE	PAG.
INTODUCCION	<i>I</i>
I. FUNDAMENTOS DEL CONCRETO	1
II. TIPOS DE CEMENTOS	9
III. MATERIAS PRIMAS PARA LA FABRICACION DEL CONCRETO	20
IV. DISEÑO Y PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO NORMAL	45
V. DOSIFICACION, MEZCLADO, TRANSPORTE Y MANEJO DEL CONCRETO	55
VI. COLOCACION Y CURADO DEL CONCRETO	65
VII. ENSAYOS DE CONTROL DEL CONCRETO	96
GLOSARIO	120
REFERENCIAS	128

INTRODUCCION

Durante los años que estudie la carrera de ingeniero civil aprendí que el concreto es el material de construcción más utilizado, debido a su versatilidad, durabilidad y economía. El concreto se usa en carreteras, calles, estacionamientos, puentes, edificios altos, presas, casas, pisos, paseos, veredas y muchas otras aplicaciones. Sin embargo he tenido la valiosa experiencia de prestar mis servicios como becario en una importante empresa dedicada a este material y me di cuenta que lo que había aprendido durante la carrera eran solo las bases de lo indispensable, pero para el desarrollo de la Ingeniería civil es necesario conocer una gran cantidad de normas, reglamentos y técnicas para lograr que nuestro trabajo sea desempeñado de la manera mas eficaz.

Durante el tiempo que preste mis servicios como ayudante de laboratorio aprendí que para desarrollar las pruebas mas indispensables en el concreto es necesario manejar un sin numero de normas estandarizadas que permiten el desarrollo y la trabajabilidad del concreto. Estas normas son utilizadas a nivel mundial por cualquier compañía constructora o supervisora del ramo de la construcción, lo cual quiere decir que es indispensable que cada estudiante de la carrera de Ingeniería civil y Arquitectura las conozca y esté en contacto directo con ellas.

Por diferentes motivos, no nos es fácil tener acceso a estas normas y solo cuando llegamos a área laboral tenemos contacto con ellas y aun cuando tenemos los conocimientos básicos, es necesario conocer las normas, reglamentos y técnicas en su totalidad para desempeñar nuestro trabajo con éxito, por este y por algunos motivos personales al llegar al dilema de escoger un tema de para este trabajo, recordé que a mí me dieron la oportunidad de tener contacto con todas estas enseñanzas, por medio de una serie de cursos durante los cuales me han preparado para manejar el concreto como se debe, motivo por el cual he puesto en practica, lo aprendido en estos cursos para que las generaciones futuras de esta carrera tengan la oportunidad de estar en contacto con la tecnología del concreto, así mismo con sus normas para el buen uso del mismo.

Cabe señalar que este no es un trabajo de investigación, sino mas bien es una recopilación de diferentes textos para reflejar las informaciones más actualizadas sobre normas, especificaciones y métodos de ensayo de la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (ASTM), la Asociación Americana de los Funcionarios de las Autopistas Estatales y del Transporte (AASHTO), el Instituto Americano del Concreto (ACI) y de la Asociación de Cemento Portland (Portland Cement Association), donde nos enseñan a manejar el concreto con gran eficiencia, además de aplicar diferentes técnicas para realizar grandes construcciones mas estéticas, seguras, eficientes y económicas.

Sin dudar de que este trabajo será de gran provecho y ayuda para mis compañeros estudiantes de la carrera de Ingeniería civil y esperando que lo expriman al máximo para su desarrollo laboral.

Este es un compendio de normas, reglamentos y técnicas, que van desde lo particular hasta lo general en materia de concreto, en el encontraran desde los materiales fundamentales para la fabricación de un buen concreto, así como las pruebas mas sencillas hasta las mas complejas para comprobar la calidad del concreto, técnicas de manejo del concreto y recomendaciones para el buen uso y calidad del concreto.

Por ultimo este libro enfoca la terminología de construcción usada en México, para facilitar la comprensión de los estudiantes, además de algunos sinónimos que son utilizados en otros países.

INTRODUCCION

Durante los años que estudie la carrera de ingeniero civil aprendí que el concreto es el material de construcción más utilizado, debido a su versatilidad, durabilidad y economía. El concreto se usa en carreteras, calles, estacionamientos, puentes, edificios altos, presas, casas, pisos, paseos, veredas y muchas otras aplicaciones. Sin embargo he tenido la valiosa experiencia de prestar mis servicios como becario en una importante empresa dedicada a este material y me di cuenta que lo que había aprendido durante la carrera eran solo las bases de lo indispensable, pero para el desarrollo de la Ingeniería civil es necesario conocer una gran cantidad de normas, reglamentos y técnicas para lograr que nuestro trabajo sea desempeñado de la manera mas eficaz.

Durante el tiempo que preste mis servicios como ayudante de laboratorio aprendí que para desarrollar las pruebas mas indispensables en el concreto es necesario manejar un sin numero de normas estandarizadas que permiten el desarrollo y la trabajabilidad del concreto. Estas normas son utilizadas a nivel mundial por cualquier compañía constructora o supervisora del ramo de la construcción, lo cual quiere decir que es indispensable que cada estudiante de la carrera de Ingeniería civil y Arquitectura las conozca y esté en contacto directo con ellas.

Por diferentes motivos, no nos es fácil tener acceso a estas normas y solo cuando llegamos a área laboral tenemos contacto con ellas y aun cuando tenemos los conocimientos básicos, es necesario conocer las normas, reglamentos y técnicas en su totalidad para desempeñar nuestro trabajo con éxito, por este y por algunos motivos personales al llegar al dilema de escoger un tema de para este trabajo, recordé que a mí me dieron la oportunidad de tener contacto con todas estas enseñanzas, por medio de una serie de cursos durante los cuales me han preparado para manejar el concreto como se debe, motivo por el cual he puesto en practica, lo aprendido en estos cursos para que las generaciones futuras de esta carrera tengan la oportunidad de estar en contacto con la tecnología del concreto, así mismo con sus normas para el buen uso del mismo.

Cabe señalar que este no es un trabajo de investigación, sino mas bien es una recopilación de diferentes textos para reflejar las informaciones más actualizadas sobre normas, especificaciones y métodos de ensayo de la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (ASTM), la Asociación Americana de los Funcionarios de las Autopistas Estatales y del Transporte (AASHTO), el Instituto Americano del Concreto (ACI) y de la Asociación de Cemento Portland (Portland Cement Association), donde nos enseñan a manejar el concreto con gran eficiencia, además de aplicar diferentes técnicas para realizar grandes construcciones mas estéticas, seguras, eficientes y económicas.

Sin dudar de que este trabajo será de gran provecho y ayuda para mis compañeros estudiantes de la carrera de Ingeniería civil y esperando que lo expriman al máximo para su desarrollo laboral.

Este es un compendio de normas, reglamentos y técnicas, que van desde lo particular hasta lo general en materia de concreto, en el encontraran desde los materiales fundamentales para la fabricación de un buen concreto, así como las pruebas mas sencillas hasta las mas complejas para comprobar la calidad del concreto, técnicas de manejo del concreto y recomendaciones para el buen uso y calidad del concreto.

Por ultimo este libro enfoca la terminología de construcción usada en México, para facilitar la comprensión de los estudiantes, además de algunos sinónimos que son utilizados en otros países.

Capítulo 1

Fundamentos del Concreto

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento portland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava, creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua (Fig. 1-1).

Otros materiales cementantes y adiciones minerales se pueden incluir en la pasta.

Generalmente los agregados (áridos) se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos pueden ser arena natural o artificial (manufacturadas) con partículas de hasta 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg.); agregados gruesos son las partículas retenidas en la malla 1.18 mm (tamiz no.16) y pueden llegar hasta 150 mm (6 pulg.). El tamaño máximo del agregado grueso comúnmente empleado es 19 mm o 25 mm ($\frac{3}{4}$ pulg. o 1 pulg.). Un agregado de tamaño intermedio, cerca de 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg.) es, algunas veces, adicionado para mejorar la granulometría general del agregado. La pasta se compone de materiales cementantes, agua y aire atrapado o aire incluido (intencionalmente incorporado).

La pasta constituye aproximadamente del 25% hasta 40% del volumen total del concreto. La (Figura 1-2) muestra que el volumen absoluto del cemento está normalmente entre 7% y 15% y el volumen del agua está entre 14% y 21%. El contenido de aire atrapado varía del 4% hasta 8% del volumen. Como los agregados constituyen aproximadamente del 60% al 75% del volumen total del concreto, su selección es muy importante. Los agregados deben componerse de partículas con resistencia mecánica adecuada y con resistencia a las condiciones de exposición y no deben contener materiales que puedan causar deterioro del concreto. La granulometría continua de tamaños de partículas es deseable para el uso eficiente de la pasta. A lo largo de este texto, se asumirá que se usan agregados apropiados, a menos que se señale de otra manera.



Fig. 1-1. Componentes del concreto: cemento, agua, agregado fino, agregado grueso, son combinados para formar el concreto.

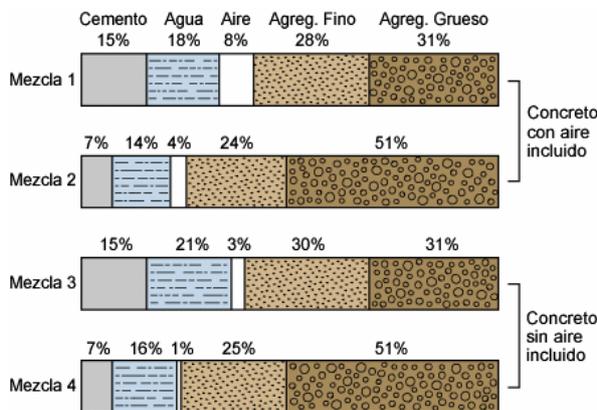


Fig. 1-2. Variación de las proporciones usadas en concreto, en volumen absoluto. Las barras 1 y 3 representan mezclas ricas con agregados de pequeño tamaño. Las barras 2 y 4 representan mezclas pobres con agregados gruesos grandes.

La calidad del concreto depende de la calidad de la pasta y del agregado y de la unión entre los dos. En un concreto adecuadamente confeccionado, cada y toda partícula de agregado es completamente cubierta por la pasta y todos los espacios entre las partículas de agregados se llenan totalmente con pasta, como se enseña en la (Figura 1-3).

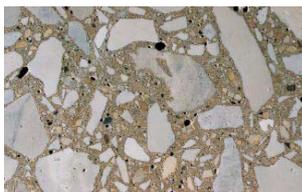
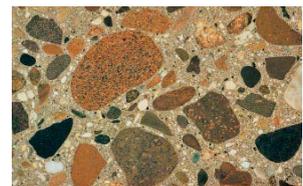


Fig. 1-3. Sección transversal del concreto endurecido, confeccionado con grava redondeada de silicio (izquierda) y calcáreo triturado (derecha). La pasta de cemento y agua cubre completamente cada partícula de agregado y llena todos los espacios entre las partículas.



Para cualquier grupo de materiales y condiciones de curado, la calidad del concreto endurecido es fuertemente influenciada por la cantidad de agua usada con relación a la cantidad de cemento. Cuando grandes cantidades de agua son innecesariamente empleadas, ellas diluyen la pasta de cemento (la cola o pegamento del concreto). Las ventajas de la disminución de la cantidad de agua son:

- Aumento de la resistencia a la compresión (resistencia en compresión) y de la resistencia a flexión
- Disminución de la permeabilidad, entonces disminución de la absorción y aumento de la estanquidad (hermeticidad)
- Aumento de la resistencia a la intemperie
- Mejor unión entre concreto y armadura
- Reducción de la contracción (retracción, encogimiento) y de la fisuración (agrietamiento, fisuramiento)
- Menores cambios de volumen causado por el humedecimiento y el secado. Cuanto menos agua se usa, mejor es la calidad del concreto, si es que la mezcla se puede consolidar adecuadamente.

Menores cantidades de agua de mezcla (mezclado) resultan en mezclas más rígidas (secas); pero, con vibración, aún las mezclas más rígidas pueden ser fácilmente colocadas. Por lo tanto, la consolidación por vibración permite una mejoría de la calidad del concreto. Tanto las propiedades del concreto fresco (plástico) como del concreto endurecido se pueden cambiar con la adición al concreto de aditivos químicos, normalmente en la forma líquida, durante la dosificación. Los aditivos químicos comúnmente se emplean para (1) el ajuste del tiempo de fraguado o de endurecimiento, (2) la reducción de la demanda de agua, (3) el aumento de la trabajabilidad (manejabilidad, docilidad), (4) la inclusión intencional de aire y (5) el ajuste de otras propiedades del concreto fresco o endurecido. Después de terminar el proporcionamiento, dosificación, colocación, consolidación, acabado (terminación, acabado) y curado adecuados, el concreto se endurece, se transforma en un material no-combustible, durable, resistente a la abrasión e impermeable lo cual requiere poca o ninguna conservación (mantenimiento). Además, el concreto es un excelente material de construcción porque se lo puede moldear en una gran variedad de formas, colores y texturas para ser utilizado en un número ilimitado de aplicaciones.

Mezclado

La Figura 1-1 muestra separadamente los componentes básicos del concreto. Son necesarios esfuerzo y cuidado para que se asegure que la combinación de estos elementos sea homogénea. La secuencia de carga de los ingredientes en la mezcladora puede desempeñar un papel importante en la uniformidad del producto acabado.

La secuencia, sin embargo, puede variar y aún producir un concreto de buena calidad. Las diferentes secuencias requieren ajustes en el momento de la adición del agua, el número total de revoluciones del tambor de la mezcladora y la velocidad de la revolución (rotación). El volumen del concreto mezclado en relación con el tamaño del tambor de la mezcladora, el tiempo transcurrido entre el proporcionamiento y el mezclado, y el diseño, configuración y condiciones del tambor y de las paletas de la mezcladora son otros factores importantes en el mezclado. Las mezcladoras aprobadas, correctamente operadas y conservadas garantizan un intercambio de materiales de extremo a extremo a través de la acción del rolado, plegado y mezclado del volumen del concreto sobre sí mismo mientras que el concreto se mezcla.



Trabajabilidad

La facilidad de colocación, consolidación y acabado del concreto fresco y el grado que resiste a la segregación se llama trabajabilidad. El concreto debe ser trabajable pero los ingredientes no deben separarse durante el transporte y el manejo (Fig. 1-4).

Fig. 1-4. El concreto de buena trabajabilidad debería fluir lentamente hacia el lugar, sin segregación.

El grado de la trabajabilidad que se requiere para una buena colocación del concreto se controla por los métodos de colocación, tipo de

consolidación y tipo de concreto. Los diferentes tipos de colocación requieren diferentes niveles de trabajabilidad. Los factores que influyen en la trabajabilidad del concreto son: (1) el método y la duración del transporte; (2) cantidad y características de los materiales cementantes;

(3) consistencia del concreto (asentamiento en cono de Abrams o revenimiento); (4) tamaño, forma y textura superficial de los agregados finos y gruesos; (5) aire incluido (aire incorporado); (6) cantidad de agua; (7) temperatura del concreto y del aire y (8) aditivos. La distribución uniforme de las partículas de agregado y la presencia de aire incorporado ayudan considerablemente en el control de la segregación y en la mejoría de la trabajabilidad.

Las propiedades relacionadas con la trabajabilidad incluyen consistencia, segregación, movilidad, bombeabilidad, sangrado (exudación) y facilidad de acabado. La consistencia es considerada una buena indicación de trabajabilidad. El revenimiento (asentamiento en cono de abrams) se usa como medida de la consistencia y de la humedad del concreto. Un concreto de bajo revenimiento tiene una consistencia rígida o seca. Si la consistencia es muy seca y rígida, la colocación y compactación del concreto serán difíciles y las partículas más grandes de agregados pueden separarse de la mezcla. Sin embargo, no debe suponerse que una mezcla más húmeda y fluida es más trabajable. Si la mezcla es muy húmeda, pueden ocurrir segregación y formación de huecos. La consistencia debe ser lo más seca posible para que aún se permita la colocación empleándose los equipos de consolidación disponibles.

Sangrado y Asentamiento

Sangrado (exudación) es el desarrollo de una lámina de agua en el tope o en la superficie del concreto recién colocado. Es causada por la sedimentación (asentamiento) de las partículas sólidas (cemento y agregados) y simultáneamente la subida del agua hacia la superficie (Fig. 1-5). El sangrado es normal y no debería disminuir la calidad del concreto adecuadamente colocado, acabado y curado. Un poco de sangrado es útil en el control de la fisuración por contracción retracción) plástica. Por otro lado, si es excesiva aumenta la relación agua-cemento cerca de la superficie; puede ocurrir una capa superficial débil y con poca durabilidad, particularmente si se hace el acabado cuando el agua de sangrado aún está presente. Los vacíos y bolsas de agua pueden ocurrir, resultantes del acabado prematuro de la superficie. Después que toda el agua de sangrado (exudación) se evapore, la superficie endurecida va a quedar un poco más baja que la superficie recién colocada. Esta disminución de la altura desde el momento de la colocación hasta el inicio del fraguado se llama contracción por sedimentación.

La tasa de sangrado (exudación) y la capacidad de sangrado (sedimentación total por unidad de peso del concreto original) aumentan con la cantidad inicial de agua, altura del elemento de concreto y presión. El uso de agregados de granulometría adecuada, ciertos aditivos químicos, aire incluido, materiales cementantes suplementarios y cementos más finos reducen el sangrado. El concreto usado para rellenar vacíos, proporcionar soporte o proporcionar impermeabilidad con una buena adhesión debe presentar bajo sangrado para evitar formación de bolsas de agua.



Fig. 1-5. Agua de sangrado (exudación) en la superficie del concreto recién colado en la losa.

Consolidación

La vibración mueve las partículas del concreto recién mezclado, reduce el rozamiento (fricción) entre ellas y les da la movilidad de un fluido denso. La acción vibratoria permite el uso de mezclas más rígidas con mayores proporciones de agregado grueso y menores proporciones de agregados finos. Si el agregado es bien graduado, cuanto mayor es su tamaño máximo, menor es el volumen para llenarse por la pasta y menor es el área superficial para ser cubierta por la pasta, así menos agua y cemento son necesarios. El concreto con la granulometría óptima del agregado es más fácil de consolidarse y colocarse (Fig. 1-6, izquierda). La consolidación del agregado grueso, bien como de mezclas más rígidas mejoran

la calidad y la economía. Por otro lado, la mala consolidación puede resultar en un concreto poroso y débil con poca durabilidad (Fig. 1-6, derecha).



Fig. 1-6. Una buena consolidación es necesaria para lograrse un concreto denso y durable. Una consolidación pobre puede resultar en corrosión temprana de la armadura (refuerzo) y baja resistencia compresión.



Hidratación, Tiempo de Fraguado y Endurecimiento

La calidad de unión (adhesión, adherencia) de la pasta de cemento portland se debe a las reacciones químicas entre el cemento y el agua, conocidas como hidratación.

El cemento portland no es un compuesto químico sencillo, es una mezcla de muchos compuestos. Cuatro de ellos totalizan 90% o más del peso del cemento portland: silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y ferroaluminato tetracálcico (aluminio ferrito tetracálcico).

Además de estos compuestos principales, muchos otros desempeñan un papel importante en el proceso de hidratación. Cada tipo de cemento portland contiene los mismos cuatro compuestos principales, pero en proporciones diferentes. Cuando se examina el clínker (el producto del horno que se muele para fabricar el cemento portland) al microscopio, la mayoría de sus compuestos individuales se puede identificar y sus cantidades se pueden determinar. Sin embargo, los granos más pequeños no se pueden detectar visualmente. Los dos silicatos de calcio, los cuales constituyen 75% del peso del cemento portland, reaccionan con el agua para formar dos compuestos: hidróxido de calcio y silicato de calcio hidratado (hidrato de silicato de calcio). Este último es, sin duda, el más importante compuesto del concreto. Las propiedades de ingeniería del concreto - fraguado y endurecimiento, resistencia y estabilidad dimensional dependen principalmente del silicato de calcio hidratado. Éste es el corazón del concreto. La composición química del silicato de calcio hidratado es un tanto variable, pero contiene cal (CaO) y dióxido de silicio (SiO_2) en una proporción de 3 a 2. En pastas endurecidas de cemento, el silicato de calcio hidratado forma un vínculo denso entre las otras fases cristalinas y los granos de cemento aún no hidratados; también se adhiere a los granos de arena y a los agregados gruesos, cementándolo todo junto. Mientras el concreto se endurece, su volumen bruto permanece casi inalterado, pero el concreto endurecido contiene poros llenos de agua y aire, los cuales no tienen resistencia. La resistencia está en las partes sólidas de la pasta, sobre todo en el silicato de calcio hidratado y en los compuestos cristalinos. Cuanto menos porosa es la pasta de cemento, más resistente es el concreto. Por lo tanto, al mezclarse el concreto, no se debe usar más agua que aquélla estrictamente necesaria para obtenerse un concreto plástico y trabajable. Incluso, la cantidad de agua usada es normalmente mayor que la necesaria para la hidratación completa del cemento. Aproximadamente se necesitan 0.4 gramos de agua por gramo de cemento para la hidratación completa del cemento. Sin embargo, la hidratación completa es rara en los concretos de las obras, debido a una falta de humedad y al largo periodo de tiempo que se requiere para obtener la hidratación total.

El conocimiento de la velocidad de reacción entre el cemento y el agua es importante porque determina el tiempo de fraguado y endurecimiento. La reacción inicial debe ser suficientemente lenta para que haya tiempo para transportar y colocar el concreto. Una vez que el concreto ha sido colocado y acabado, es deseable un endurecimiento rápido. El yeso, que se añade en el molino de cemento cuando al molerse el clínker, actúa como un regulador del fraguado inicial del cemento portland. La finura del cemento, aditivos, cantidad de agua adicionada y temperatura de los materiales en el momento de la mezcla son otros factores que influyen la velocidad de hidratación.

Durabilidad

La durabilidad del concreto se puede definir como la habilidad del concreto en resistir a la acción del ambiente, al ataque químico y a la abrasión, manteniendo sus propiedades de ingeniería. Los diferentes tipos de concreto necesitan de diferentes durabilidades, dependiendo de la exposición del ambiente y de las propiedades deseables. Los componentes del concreto, la proporción de éstos, la interacción entre los mismos y los métodos de colocación y curado determinan la durabilidad final y la vida útil del concreto.

Resistencia al Congelamiento y Deshielo

Se espera que el concreto empleado en estructuras y pavimentos tenga una vida larga y poco mantenimiento. El concreto debe tener una buena durabilidad para resistir a condiciones de exposición anticipadas. El factor de intemperismo potencialmente más destructivo es la congelación y deshielo (hielo-deshielo) mientras el concreto está húmedo, principalmente en la presencia de anticongelantes. El deterioro es causado por la congelación del agua y su posterior expansión en la pasta, agregado o ambos. Con el empleo de aire incluido, el concreto es altamente resistente a este tipo de deterioro. Durante la congelación, el agua desplazada por la formación de hielo en la pasta se acomoda, no siendo perjudicial; las burbujas microscópicas de aire en la pasta ofrecen cámaras para que el agua entre y entonces alviene la presión hidráulica generada. Cuando la congelación ocurre en el concreto que contiene agregado saturado, presiones hidráulicas perjudiciales se pueden crear también en el agregado. El agua, desplazada de las partículas de agregado durante la formación del hielo, no se puede escapar hacia la pasta circundante suficientemente rápido para el alivio de presión. Sin embargo, para la mayoría de las condiciones de exposición, una pasta de buena calidad (baja relación agua-cemento) va a prevenir la saturación de la mayoría de los agregados.

Si la pasta contiene aire incluido, ella va a acomodar la pequeña cantidad de agua en exceso que se pueda expeler de los agregados, protegiendo así el concreto contra el daño del congelamiento y deshielo.

La durabilidad al congelamiento y deshielo se puede determinar a través de ensayos (pruebas) de NMX-C-205-79 (Determinación de la resistencia del concreto a la congelación y deshielo acelerados). A través del ensayo se calcula un factor de durabilidad que refleja el número de ciclos de congelación y deshielo necesario para producir una cierta cantidad de deterioro. La resistencia al descascaramiento por anticongelantes puede ser determinada por la ASTM C 672, Norma de método de ensayo para resistencia al descascaramiento de superficies de concreto expuestas a anticongelantes

Reactividad Alkali-Agregado

La reactividad álcali-agregado es un tipo de deterioro que ocurre cuando los constituyentes minerales activos de algunos agregados reaccionan con los hidróxidos de los álcalis en el concreto. La reactividad es potencialmente peligrosa sólo cuando produce expansión considerable. La reactividad álcali-agregado ocurre de dos formas - reacción álcali-sílice (RAS) y reacción álcali-carbonato (RAC). La reacción álcali-sílice es más preocupante que la reacción álcali-carbonato pues es más común la ocurrencia de agregados conteniendo minerales de sílice.

Las manifestaciones de la presencia de reactividad laboratorio como la ASTM C 666, *Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid* álcali-agregado son red de agrietamiento, juntas cerradas o lascadas o dislocación de diferentes partes de la estructura (Fig.1-7). Como el deterioro por reactividad álcali-agregado es un proceso lento, el riesgo de rotura catastrófica es bajo. La reacción álcali-agregado puede causar problemas de utilización (servicio, funcionalidad) y empeorar otros mecanismos de deterioro, como aquellos de la exposición a congelamiento, anticongelantes o sulfatos.



Fig. 1-7. La fisuración, el cerramiento de las juntas y la dislocación lateral fueron causados por la severa reactividad álcali-agregado en este muro de parapeto.

Las prácticas corrientes para el control de la reacción álcali-sílice incluyen el uso de materiales cementantes suplementarios o cementos adicionados. Estos materiales han sido verificados y comprobadamente pueden controlar la reacción álcali-sílice. Los materiales cementantes suplementarios incluyen cenizas volantes, escoria granulada de alto horno, sílice activa (humo de sílice, microsílíce) y puzolanas naturales. Los cementos adicionados también contienen estos materiales para el control de la reactividad álcali-sílice. Esta práctica permite el uso de agregados y materiales cementantes disponibles en la región. La reducción del contenido de álcalis en el concreto también puede controlar la reacción. El uso de materiales cementantes suplementarios o de cementos adicionados no controla la reacción álcali-carbonato. Felizmente, esta reacción es rara. Si los ensayos (pruebas) de los agregados indican que un agregado es susceptible a la reacción álcali-carbonato, la reacción se puede controlar a través del uso de mezcla de agregados, reducción del tamaño máximo del agregado o uso de agentes inhibidores de la reacción. Para más informaciones sobre las reacciones álcali-sílice y álcali-carbonato.



Fig. 1-8. La Carbonatación destruye la habilidad del concreto de proteger el acero embebido contra la corrosión. Todo concreto carbonata hasta una pequeña profundidad, pero la armadura debe tener un recubrimiento adecuado para prevenir que la Carbonatación alcance el acero. Esta barra de armadura en un muro tenía menos de 10 mm (0.4 pulg.) de recubrimiento de concreto; El código de construcción del ACI requiere un recubrimiento mínimo de 38 mm (1 1/2 pulg.). Después de años de exposición al aire, el concreto carbonató hasta la profundidad de la barra, permitiendo que el acero se oxidara y que la superficie del concreto se desprendiera.

Carbonatación

La Carbonatación del concreto es un proceso por el cual el dióxido (bióxido) de carbono del aire penetra en el concreto y reacciona con los hidróxidos, tales como los hidróxidos de calcio para formar carbonatos. En la reacción con el hidróxido de calcio hay formación de Carbonato de calcio. La Carbonatación y el secado rápido del concreto fresco pueden afectar la durabilidad de la superficie, pero esto se puede evitar con el curado adecuado. La Carbonatación del concreto endurecido no hace daño a la matriz del concreto. Sin embargo, la Carbonatación reduce considerablemente la alcalinidad (pH) del concreto. La alta alcalinidad es necesaria para la protección de la armadura (refuerzo) contra la corrosión y, por consiguiente, el concreto debe ser resistente a la Carbonatación para prevenirse la corrosión del acero de refuerzo. Se aumenta considerablemente el grado de la Carbonatación en el concreto que tiene alta relación agua-cemento, bajo contenido de cemento, corto periodo de curado, baja resistencia y pasta altamente permeable (porosa) (Fig. 1-8).

Resistencia a los Cloruros y Corrosión de la Armadura

El concreto protege a la armadura (refuerzo) embebida de la corrosión, debido a su alta alcalinidad. El ambiente de pH alto en el concreto (normalmente mayor que 12.5) promueve la pasivación y la formación sobre el acero de una película de protección de óxido no corrosivo. Sin embargo, la presencia de iones de cloruros de los anticongelantes y del agua del mar puede destruir o penetrar en la película. Cuando se alcanza el límite de corrosión por cloruros (aproximadamente 0.15% cloruro solubles en agua por peso de cemento), una célula eléctrica se forma a lo largo del acero y entre las barras de acero y el proceso electroquímico de la corrosión empieza. La resistencia del concreto a los cloruros es buena, pero se la puede mejorar con una baja relación agua-cemento (0.40), por lo menos siete días de curado y el uso de materiales cementantes suplementarios, tales como cenizas volantes, para reducirse

la permeabilidad. El aumento del recubrimiento encima del acero también reduce la migración de cloruros.

Otros métodos de reducción de corrosión de acero incluyen el uso de aditivos inhibidores de corrosión, acero revestido con epoxi, tratamientos de superficie, revestimiento del concreto y protección catódica. El revestimiento del acero con epoxi previene que los iones de cloruro alcancen el acero. La presencia del cloruro en el concreto sin armadura (refuerzo) normalmente no trae problemas de durabilidad.

Resistencia Química

El concreto de cemento portland es resistente a la mayoría de los medio ambientes; sin embargo, el concreto a veces es expuesto a sustancias que pueden atacar y causar deterioro. El concreto en la industria química y en las instalaciones de almacenamiento es especialmente propenso al taque químico. El efecto del sulfato y de los cloruros se discute en este capítulo. En el ataque ácido del concreto hay disolución de la pasta de cemento y de los agregados calcáreos. Además del uso de concreto con baja permeabilidad, los tratamientos de superficie pueden ayudar a evitar que las sustancias agresivas entren en contacto con el concreto

Sulfatos y Cristalización de Sales

Muchos sulfatos presentes en el suelo y en el agua pueden atacar y destruir un concreto que no fue adecuadamente diseñado. Los sulfatos (por ejemplo sulfato de calcio, sulfato de sodio y sulfato de magnesio) pueden atacar un concreto pues reaccionan con los compuestos hidratados en la pasta de cemento hidratada. Estas reacciones pueden crear presiones suficientes para romper la pasta de cemento, resultando en desintegración del concreto (pérdida de cohesión de la pasta y de resistencia).

Como en las rocas naturales, tales como en las piedras calizas, el concreto poroso está susceptible al ataque de las intemperies causado por cristalización de sales. Estas sales pueden o no contener sulfatos y pueden o no reaccionar con los compuestos hidratados en el concreto. Algunas sales conocidas por causar deterioro en concreto son el carbonato de sodio y sulfato de sodio. El mayor daño ocurre con el secado de las soluciones saturadas de estas sales, normalmente en ambientes con ciclos de cambios de humedad relativa y de temperatura que alteran las fases mineralógicas. En concretos permeables, expuestos a condiciones de secado, las soluciones de sales pueden ascender hacia la superficie por la acción de los capilares y, posteriormente, - como resultado de la evaporación en la superficie - la fase de solución se vuelve supersaturada y la cristalización de la sal ocurre, algunas veces generando presiones suficientes para causar la fisuración. Si la tasa de migración de la solución de sal a través de los poros es menor que la tasa de evaporación, se forma una zona de secado debajo de la superficie, ocurriendo cristalización en los poros y causando expansión y descascaramiento. Ambas, las partículas de agregado y la pasta de cemento pueden ser atacadas por sales. El ataque de sulfatos y la cristalización de sales son más severos donde el concreto está expuesto a ciclos de mojado y secado, que donde el concreto está constantemente mojado. Esto normalmente puede ser visto en postes de concreto donde el concreto se ha deteriorado sólo pocos centímetros encima y abajo del nivel del suelo. La porción del concreto en la parte más profunda del suelo (donde está continuamente mojado) está en buenas condiciones (Fig. 1-31). Sin embargo, si la exposición al sulfato es muy severa, las secciones continuamente mojadas pueden incluso, con el tiempo, ser atacadas por los sulfatos si el concreto no ha sido adecuadamente diseñado. Para que se obtenga la mejor protección contra el ataque externo por los sulfatos: (1) diseñe el concreto con baja relación agua - materiales cementantes (aproximadamente 0.4) y (2) use cementos especialmente formulados para ambientes con sulfatos, tales como ASTM C 150 (AASHTO M 85) cementos tipo II y tipo V, C 595 (AASHTO M 240) cementos con moderada resistencia a los sulfatos o C 1157 tipos MS o HS. Exposición al Agua del Mar El concreto se ha usado en ambientes marinos por décadas con buen desempeño. Sin embargo, son necesarios cuidados especiales en el diseño de las mezclas y en la selección de los materiales para estos ambientes severos. Una estructura expuesta al agua del mar o la salpicadura del agua del mar es más vulnerable en la zona de marea o salpicadura, donde hay ciclos repetidos de mojado y secado y/o congelamiento y deshielo. Los sulfatos y los cloruros presentes en el agua del mar requieren el uso de concretos de baja permeabilidad para minimizar la corrosión de la armadura (refuerzo) y el ataque de sulfatos .



Fig. 1-32. Vigas de concreto después de muchos años de exposición a un suelo con alta concentración de sulfatos en Sacramento, California, terreno de ensayo. Las vigas en mejores condiciones tienen bajas relaciones agua-materiales cementantes y muchas de ellas tienen cemento resistente a sulfatos. La foto menor, a la derecha en la parte superior, enseña dos vigas inclinadas sobre sus laterales para mostrar niveles decrecientes de deterioro con la profundidad y el nivel de humedad

Capítulo 2

Tipos de Cementos

Los cementos portland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos hidráulicos de calcio (Fig. 2-1). Los cementos hidráulicos fraguan y endurecen por la reacción química con el agua. Durante la reacción, llamada hidratación, el cemento se combina con el agua para formar una masa similar a una piedra, llamada pasta. Cuando se adiciona la pasta (cemento y agua) a los agregados (arena y grava, piedra triturada, piedra machacada, pedregón u otro material granular), la pasta actúa como un adhesivo y une los agregados para formar el concreto, el material de construcción más versátil y más usado en el mundo.

Fig. 2-1. El cemento portland es un polvo fino que cuando se mezcla con el agua se convierte en un pegamento que mantiene los agregados unidos en el concreto.



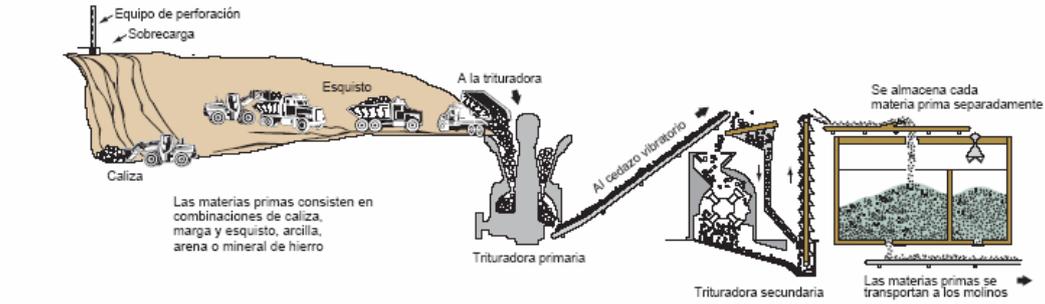
La hidratación empieza cuando el cemento entra en contacto con el agua. En la superficie de cada partícula de cemento se forma una capa fibrosa que gradualmente se propaga hasta que se enlace con la capa fibrosa de otra partícula de cemento o se adhiera a las sustancias adyacentes. El crecimiento de las fibras resulta en rigidización, endurecimiento y desarrollo progresivo de resistencia. La rigidización del concreto puede reconocerse por la pérdida de trabajabilidad, la cual normalmente ocurre después de 3 horas de mezclado, pero es dependiente de la composición y finura del cemento, de cualquier aditivo usado, de las proporciones de la mezcla y de las condiciones de temperatura. Consecuentemente, el concreto fragua y se endurece. La hidratación continúa desde que existan condiciones favorables de temperatura y humedad (curado) y espacio disponible para la formación de los productos de hidratación.

A medida que la hidratación continúa, el concreto se vuelve más duro y resistente. Gran parte de la hidratación y del desarrollo de la resistencia ocurre a lo largo del primer mes, pero si hay humedad y temperatura adecuadas, continúa de manera más lenta, por un largo periodo. Se ha reportado el aumento continuo de resistencia, excediendo 30 años.

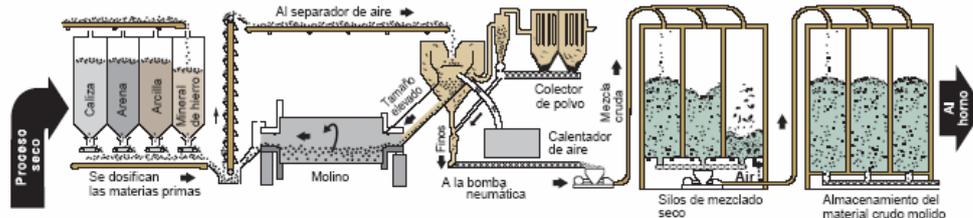
Producción Del Cemento Portland

El cemento portland se produce por la pulverización del clínker, el cual consiste principalmente en silicatos de calcio hidráulicos. El clínker también contiene algunos aluminatos de calcio y ferroaluminatos de calcio y una o más formas de sulfato de calcio (yeso) que se muele conjuntamente con el clínker para la fabricación del producto final. Los materiales usados para la producción del cemento portland deben contener cantidades apropiadas de los compuestos de calcio, sílice, alúmina e hierro. Durante la fabricación, se hace análisis químico frecuente de todos los materiales para garantizarse una calidad alta y uniforme del cemento.

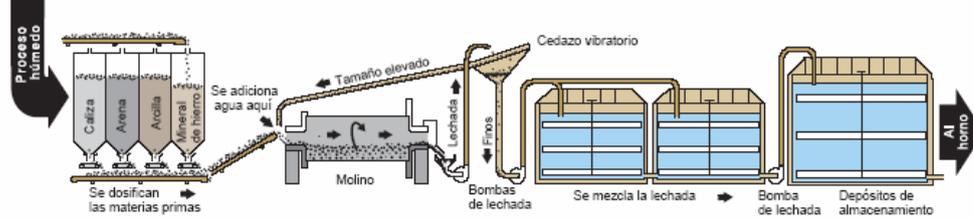
Los diagramas en las Figuras 2-3 y 2-4 muestran las etapas de la fabricación del cemento. Como las operaciones de las plantas de cemento no son básicamente iguales, no se pueden ilustrar adecuadamente por un mismo gráfico todas las plantas. No hay instalaciones típicas para la producción del cemento; cada planta tiene diferencias significativas en disposición, equipos o apariencia general (Fig. 2-5). Las materias primas seleccionadas (Tabla 2-1) se transportan de la cantera (Fig. 2-6), se trituran (Fig. 2-7), se muelen y se dosifican de tal manera que la harina resultante tenga la composición deseada. La harina cruda es generalmente una mezcla de material calcáreo (carbonato de calcio), tal como la caliza y material arcilloso (sílice y alúmina), tal como arcilla, pizarra (esquistos) o escoria de alto horno. El cemento se fabrica tanto por vía seca como por vía húmeda. En el proceso de vía seca, las operaciones de molienda y mezcla se efectúan con los materiales secos, ya en el proceso vía húmeda los materiales se mezclan con agua en la forma de lechada. En otros aspectos, el proceso seco y el proceso húmedo son muy similares.



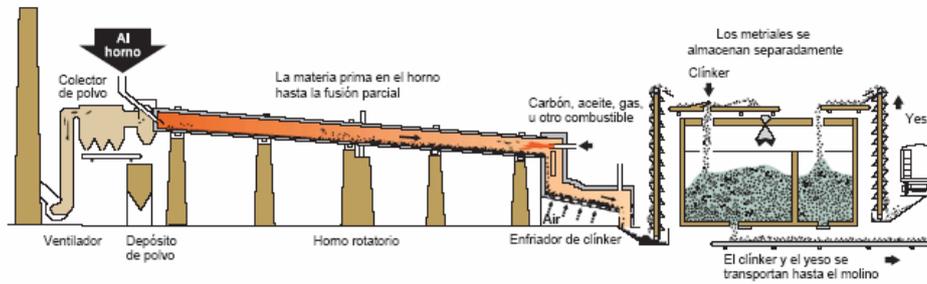
1. La roca se reduce primero hasta un tamaño de 125 mm (5 pulg.) y después a un tamaño de 20 mm (3/4 pulg.) para entonces almacenarla.



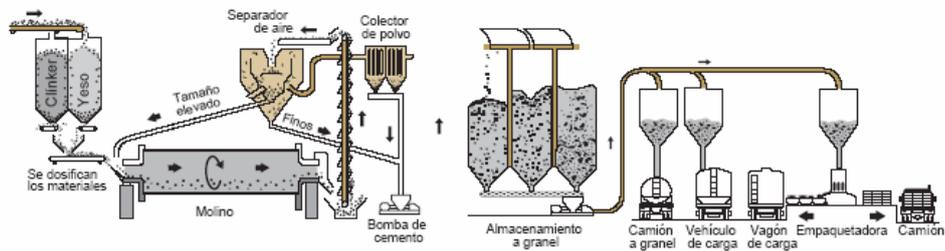
2. Las materias primas se muelen hasta que se vuelvan en polvo y se las mezcla.



2. Las materias primas se muelen, se mezclan con el agua para formar una lechada (pasta) y se mezclan.

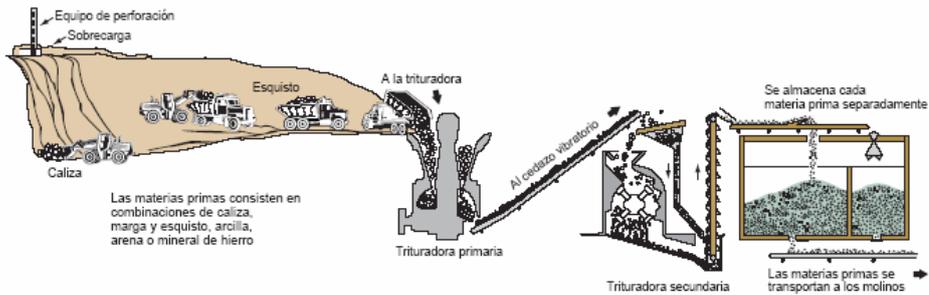


3. La calcinación transforma químicamente las materias primas en el clinker de cemento.

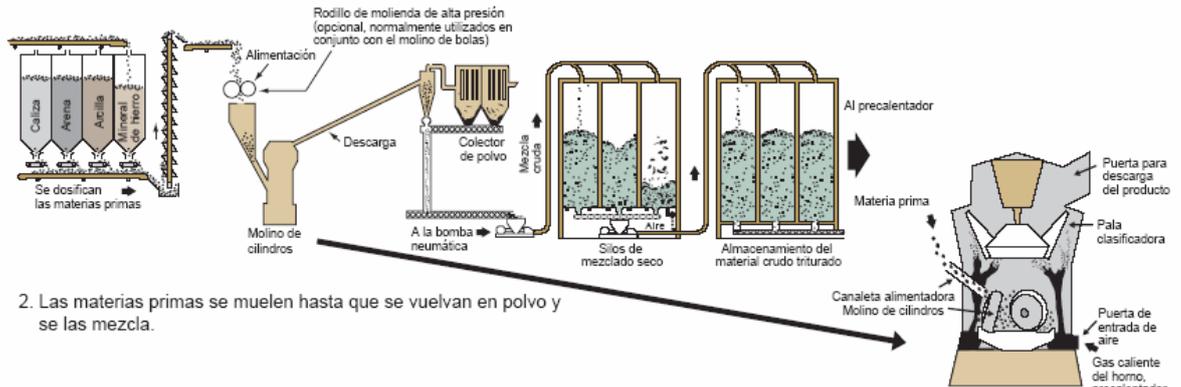


4. Se muele el clinker junto con el yeso para convertirlos en cemento portland y se lo despacha.

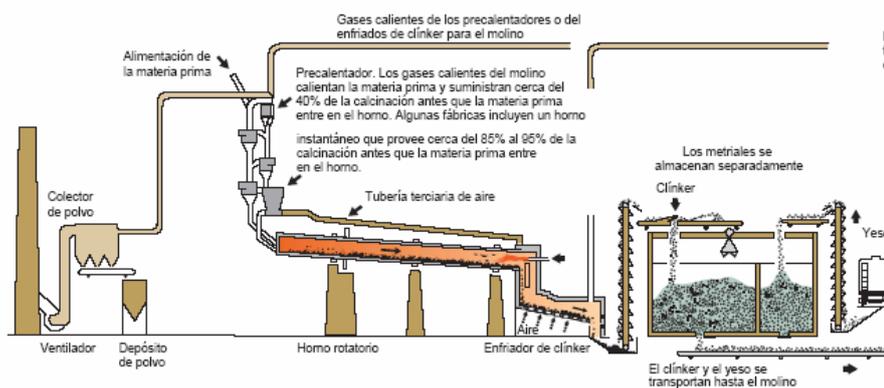
Fig 2-3. Etapas en la producción tradicional del cemento portland.



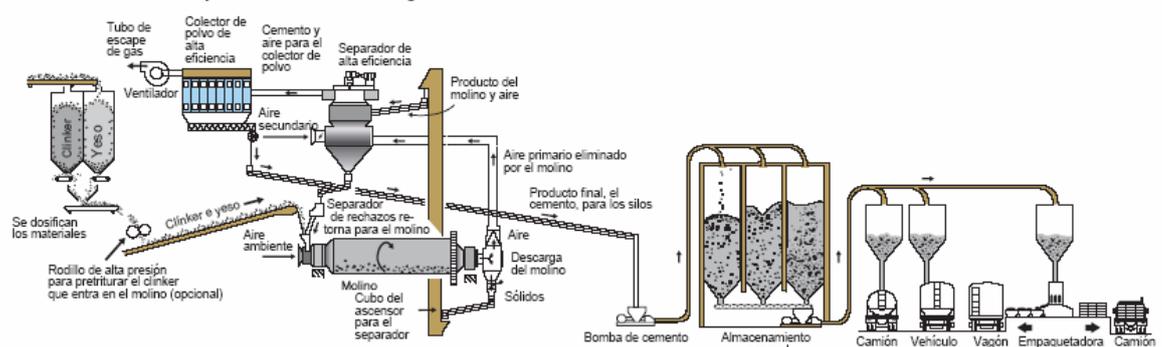
1. La roca se reduce primero hasta un tamaño de 125 mm (5 pulg.) y después a un tamaño de 20 mm (3/4 pulg.) para entonces almacenarla.



2. Las materias primas se muelen hasta que se vuelvan en polvo y se las mezcla.



3. La calcinación transforma químicamente las materias primas en el clinker de cemento. Observe el precalentador de cuatro etapas, el horno instantáneo y el horno con menor longitud.



4. Se muele el clinker junto con el yeso para convertirlos en cemento portland y se lo despacha.

Fig. 2-4. Etapas en la producción moderna del cemento portland, a través del proceso seco.

La Figura 2-4 ilustra desarrollos tecnológicos importantes, los cuales pueden mejorar considerablemente la productividad y la eficiencia energética de las plantas con proceso seco.

Después del mezclado, se alimenta la materia prima molida en la parte superior del horno (Fig. 2-8). La harina cruda pasa a lo largo del horno en una tasa controlada por la inclinación y la velocidad de rotación del horno. El combustible (carbón, aceite nuevo o reciclado, fuel-

oil, gas natural, llantas de goma y subproductos) se fuerza hacia la parte inferior del horno donde las temperaturas de 1400°C a 1550°C cambian químicamente el material crudo en clínker, pelotitas grises con tamaño predominante de canicas (Fig. 2-9). La Figura 2-10 muestra el proceso de producción del clínker desde la alimentación de la materia prima hasta el producto final. Después de esto, el clínker se enfría y se pulveriza. Durante esta operación, se adiciona una pequeña cantidad de yeso (Fig. 2-11) para controlar el tiempo de fraguado



Fig. 2-5. Vista aérea de una planta de cemento.



Fig. 2-6. Caliza, una de las principales materias primas, provee el calcio para la producción de cemento y se extrae cerca de la planta de cemento.



Fig. 2-7. Las rocas extraídas son llevadas por los camiones hasta los triturados primarios.

Tabla 2-1. Fuentes de las Materias Primas Usadas y la Fabricación del Cemento Portland

<u>Cal, CaO</u>	<u>Hierro Fe₂O₃</u>	<u>Sílice SiO₂</u>	<u>Alúmina Al₂O₃</u>	<u>Yeso o Sulfato, CaSO₄·2H₂O</u>
Desechos industriales	Polvo de humo de horno de fundición	Silicato de calcio	Mineral de aluminio*	Anhidrita
Aragonita*	Arcilla*	Roca calcárea	Bauxita	Sulfato de calcio
Calcita*	Mineral de hierro*	Arcilla*	Roca calcárea	Yeso*
Polvo del horno de cemento	Costras de laminado*	Ceniza volante	Arcilla*	
Roca calcárea	Lavaduras de mineral	Greda	Escoria de cobre	
Creta	Cenizas de pirita	Caliza	Ceniza volante*	
Arcilla	Esquisto	Loes	Greda	
Greda		Marga*	Granodiorita	
Caliza*		Lavaduras de mineral	Caliza	
Mármol		Cuarcita	Loes	
Marga*		Ceniza de arroz	Lavaduras de mineral	
Coquilla		Arena*	Esquisto*	
Esquisto*		Arenisca	Escoria	
Escoria		Esquisto*	Estaurolita	
		Escoria		
		Basalto		

Nota: Muchos subproductos industriales tienen potencial como materia prima para la producción del cemento portland.

* Las fuentes más comunes

del cemento y para que se mejoren las propiedades de contracción (retracción) y el desarrollo de resistencia. En el molino, el clínker se muele tan fino que puede pasar, casi completamente, a través de un tamiz (cedazo) de 45 micrómetros (malla No. 325).



Fig. 2-8. Horno rotatorio para la manufactura del clínker de cemento. La foto menor, abajo y a la derecha trae una vista del interior del horno.

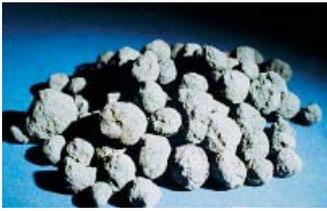


Fig. 2-9. El clinker de cemento portland se forma por la calcinación en el horno del material crudo calcáreo y sílice. Este clinker específico tiene un diámetro de 20 mm (3/4 pulg.)



Fig. 2-11. El yeso, la fuente de sulfato, se muele juntamente con el clinker para formar el cemento portland. El yeso ayuda a controlar el tiempo de fraguado, las propiedades de

contracción (retracción) por secado y el desarrollo de resistencia.

TIPOS DE CEMENTO PORTLAND

Se fabrican diferentes tipos de cemento portland para satisfacer a varios requisitos físicos y químicos para aplicaciones específicas. Los cementos portland se producen de acuerdo con las especificaciones ASTM C 150, AASHTO M 85 o ASTM C 1157. La ASTM C 150, Especificaciones de

Norma para el Cemento Portland (*Standard Specification for Portland Cement*), designa ocho tipos de cementos, usando los números romanos, como sigue:

Tipo I Normal

Tipo IA Normal con aire incluido

Tipo II Moderada resistencia a los sulfatos

Tipo IIA Moderada resistencia a los sulfatos con aire incluido

Tipo III Alta resistencia inicial (alta resistencia temprana)

Tipo IIIA Alta resistencia inicial con aire incluido

Tipo IV Bajo calor de hidratación

Tipo V Alta resistencia a los sulfatos

Tipo I

El cemento tipo I es un cemento para uso general, apropiado para todos los usos donde las propiedades especiales de otros cementos no sean necesarias. Sus empleos en concreto incluyen pavimentos, pisos, edificios en concreto armado, puentes, tanques, embalses, tubería, unidades de mampostería y productos de concreto prefabricado y precolado (Fig. 2-12).

Tipo II

El cemento tipo II se usa donde sean necesarias precauciones contra el ataque por sulfatos. Se lo puede utilizar en estructuras normales o en miembros expuestos a suelos o agua subterránea, donde la concentración de sulfatos sea más alta que la normal pero no severa. El cemento tipo II tiene propiedades de moderada resistencia a los sulfatos porque contiene no más del 8% de aluminato tricálcico (C3A). Los sulfatos en suelos húmedos o en agua penetran en el concreto y reaccionan con el C3A hidratado, ocasionando expansión, descascamiento y agrietamiento del concreto. Algunos compuestos de sulfato, tales como los sulfatos de magnesio, atacan directamente el silicato de calcio hidratado. Para controlar el ataque del concreto por los sulfatos, se debe emplear el cemento tipo II acompañado del uso de baja relación agua-material cementante y baja permeabilidad. El concreto expuesto al agua del mar normalmente se produce con el cemento tipo II. El agua del mar contiene cantidades considerables de sulfatos y cloruros. A pesar de la capacidad de los sulfatos del agua del mar en atacar el concreto, la presencia de los cloruros inhibe la reacción expansiva, que es una característica del ataque por sulfatos. Los cloruros y los sulfatos están ambos presentes en el concreto y compiten por las fases aluminato. Los productos de la reacción del ataque por sulfatos son mucho más solubles en la solución de cloruros y se pueden lixiviar del concreto. Las observaciones de muchas fuentes muestran el desempeño en agua del mar de los concretos con cemento portland con un contenido de C3A tan alto cuanto 10%. Estos concretos han presentado durabilidad satisfactoria, desde que su permeabilidad sea baja y haya un recubrimiento adecuado del acero de refuerzo (armadura).

Los cementos tipo II, especialmente producidos para satisfacer a los requisitos de moderado calor de hidratación, una opción de la ASTM C 150 (AASHTO M 85), van a generar una tasa de liberación de calor más lenta que el cemento tipo I y la mayoría de los cementos tipo II.



Fig. 2-12. El uso típico del cemento normal o el uso general incluye (de la izquierda a la derecha) pavimentos de autopistas, pisos, puentes y edificios.

El comprador tiene la opción de especificar el requisito de moderado calor de hidratación. Un cemento en el cual se especifica el máximo calor de hidratación se lo puede utilizar en estructuras de gran volumen, tales como pilares (pilas, estribos) y cimientos (cimentaciones, fundaciones) grandes y muros (paredes) de contención de gran espesor (Fig. 2-13). Su empleo va a disminuir la subida de temperatura y la temperatura relacionada con la fisuración, la cual es especialmente importante cuando se coloca el concreto en clima caluroso. Debido a su disponibilidad, el cemento tipo II se utiliza, algunas veces, en todas las partes de la construcción, sin tener en cuenta la necesidad de resistencia a los sulfatos o de moderado calor de hidratación. Algunos cementos se pueden etiquetar con más de una designación, por ejemplo Tipo I/II. Esto simplemente significa que tal cemento atiende a los requisitos de ambos los cementos tipo I y tipo II.



Fig. 2-13. Los cementos de moderada resistencia a los sulfatos y alta resistencia a los sulfatos mejoran la resistencia a los sulfatos de los miembros de concreto, tales como (de la izquierda a la derecha) losas sobre el suelo, tubería y postes de concreto expuestos a suelos con alto contenido de sulfatos

Tipo III

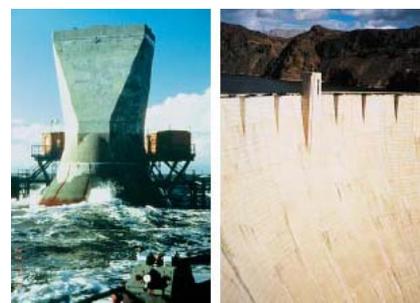
El cemento tipo III ofrece resistencia a edades tempranas, normalmente una semana o menos. Este cemento es química y físicamente similar al cemento tipo I, a excepción de que sus partículas se muelen más finamente. Es usado cuando se necesita remover las cimbras (encofrados) lo más temprano posible o cuando la estructura será puesta en servicio rápidamente. En clima frío, su empleo permite una reducción en el tiempo de curado (Fig. 2-14). A pesar de que se puede usar un alto contenido de cemento tipo I para el desarrollo temprano de la resistencia, el cemento tipo III puede ofrecer esta propiedad más fácilmente y más económicamente.

Tipo IV

El cemento tipo IV se usa donde se deban minimizar la tasa y la cantidad de calor generado por la hidratación. Por lo tanto, este cemento desarrolla la resistencia en una tasa más lenta que otros tipos de cemento. Se puede usar el cemento tipo IV en estructuras de concreto masivo (hormigón masa), tales como grandes presas por gravedad, donde la subida de temperatura derivada del calor generado durante el endurecimiento deba ser minimizada (Fig. 2-15). El cemento tipo IV raramente está disponible en el mercado.

Tipo V

El cemento tipo V se utiliza en concretos expuestos a la acción severa de sulfatos principalmente donde el suelo y el agua subterránea tienen alta concentración de sulfatos. Su desarrollo de resistencia es más lento que en el cemento tipo



I. La alta resistencia a los sulfatos del cemento tipo V se atribuye al bajo contenido de aluminato tricálcico, no excediendo a 5%.

Fig. 2-14. Los cementos de moderado calor y bajo calor de hidratación minimizan el calor generado en miembros de concreto masivo o estructuras, tales como (izquierda) apoyos espesos de puente y (derecha) presa. La presa de Hoover, enseñada aquí, usó el cemento tipo IV para controlar el aumento de temperatura

El uso de baja relación agua-materiales cementantes y baja permeabilidad son fundamentales para el buen desempeño de cualquier estructura expuesta a los sulfatos. Incluso el concreto con cemento tipo V no puede soportar una exposición severa a los sulfatos si tiene alta relación agua- materiales cementantes. El cemento tipo V, como otros cementos, no es resistente a ácidos y a otras sustancias altamente corrosivas.

Cementos con Aire Incluido

La ASTM C 150 y la AASHTO M 85 presentan especificaciones para tres cementos con aire incluido (incorporado) (Tipos IA, IIA y IIIA). Ellos corresponden a la composición de los cementos ASTM tipos I, II y III, respectivamente, a excepción de que, durante su producción, se muelen pequeñas cantidades de material incluso de aire juntamente con el clínker. Estos cementos producen un concreto con una resistencia a congelamiento y deshielo mayor. Tales concretos contienen burbujas minúsculas de aire, bien distribuidas y completamente separadas. El aire incluido en la mayoría de los concretos se logra a través del uso de aditivos inclusores de aire, y no del uso de cemento con aire incluido. Los cementos con aire incluido están disponibles apenas en algunas regiones.

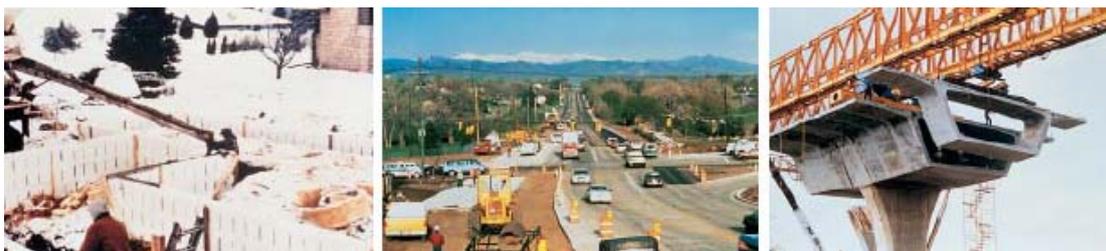


Fig. 2-15. Los cementos de alta resistencia inicial se usan donde la resistencia temprana es necesaria, tales como (de la izquierda para la derecha) colocación en tiempo frío, pavimentos de rápida habilitación al tránsito (fast track) para minimizar los embotellamientos y rápida remoción de las cimbras del concreto premoldeado

Cemento Portland Blanco

El cemento portland blanco es un cemento portland distinto del gris básicamente en el color. Este cemento se produce de acuerdo con las especificaciones de la ASTM C 150, normalmente tipo I o tipo III. El proceso de producción se controla de tal manera que el producto final sea blanco. El cemento portland blanco se fabrica con materias primas seleccionadas que contienen cantidades insignificantes de óxidos de hierro y magnesio, pues son estas sustancias las que le dan el color gris al cemento. El cemento portland blanco se usa principalmente con finalidades arquitectónicas en muros estructurales, concreto prefabricado (premoldeado) y concreto reforzado con fibras de vidrio (CRFV), paneles de fachada, superficies de pavimento, estuco, pinturas en cemento, mortero para ladrillos y concreto decorativo (Fig. 2-16). Se recomienda su empleo siempre que sean deseados concretos, lechadas o morteros blancos o coloridos.



Fig. 2-16. El cemento portland blanco se utiliza en concreto arquitectónico blanco o de colores claras, variando de (de la izquierda para la derecha) terrazos para pisos, enseñado aquí con cemento blanco y agregado de granito verde (IMG12475), para miembros decorativos estructurales premoldeados o moldeados en obra (68981), para el exterior de los edificios. La foto de la derecha muestra el edificio en concreto premoldeado blanco de la sede de la ASTM en West Conshohocken, Pennsylvania. La foto es cortesía de la ASTM.

CEMENTOS HIDRÁULICOS ADICIONADOS (MEZCLADOS O COMPUESTOS).

En la construcción en concreto, se usa el cemento adicionado (mezclado, compuesto o mezcla) de la misma manera que el cemento portland. Se lo puede emplear como el único material cementante en el concreto o se lo puede usar en combinación con otros materiales cementantes suplementarios, adicionados en la planta de concreto o mezcladora (hormigonera). Normalmente, se especifica el uso del cemento mezclado en combinación con puzolanas y escorias locales. Si se emplea un cemento mezclado o un cemento portland sólo o en combinación con puzolanas o escorias, se debe ensayar el concreto para la verificación de la resistencia, durabilidad y otras propiedades requeridas por la especificación del proyecto. Los cementos adicionados se producen por la molienda uniforme y conjunta o por la mezcla de dos o más tipos de materiales finos. Los materiales principales son cemento portland, escoria granulada de alto horno, ceniza volante, humo de sílice, arcilla calcinada, otras puzolanas, cal hidratada y combinaciones premezcladas de estos materiales (Fig. 2-17). Los cementos hidráulicos mezclados necesitan estar en conformidad con la ASTM C 595, Especificación para Cementos Hidráulicos Mezclados o ASTM C 1157, especificación de Desempeño de Cementos Hidráulicos. La ASTM C 595 establece cinco clases principales de cementos adicionados:

- Tipo IS Cemento portland alto horno
- Tipo IP y Tipo P Cemento portland puzolánico
- Tipo I (PM) Cemento portland modificado con puzolana
- Tipo S Cemento de escoria o siderúrgico
- Tipo I (SM) Cemento portland modificado con escoria

Los cementos mezclados que estén de acuerdo con los requisitos de la C 1157, satisfacen a los requisitos de los ensayos (pruebas) de desempeño físico sin restricciones de ingredientes o composición química del cemento. Esto permite que el productor de cemento, buscando optimizar las propiedades de resistencia y durabilidad, use una gran variedad de materiales cementantes, tales como clínker portland, escoria de alto horno, humo de sílice y arcilla calcinada (Fig. 2-17).



Fig. 2-17. Los cementos adicionados usan una combinación de cemento portland o clínker y yeso mezclados o molidos conjuntamente con puzolanas, escorias o ceniza volante. La ASTM C 1175 permite el uso y la optimización de todos estos materiales, simultáneamente si necesario, para producirse un cemento con propiedades óptimas. Se enseñan el cemento adicionado (al centro) rodeado por (derecha y en el sentido del reloj) clínker, yeso, cemento portland, ceniza volante, escoria, humo de sílice y arcilla calcinada

Tipo IS

Se puede usar el cemento portland de alto horno, tipo IS, para la construcción en concreto en general. El uso histórico de cementos mezclados con escorias data del inicio del siglo XX en Europa, Japón y América del Norte.

En la producción de estos cementos, la escoria granulada de alto horno tanto se muele juntamente con el clínker del cemento portland como se la muele separadamente y se la

mezcla con el cemento portland o entonces se lo produce con la combinación de molienda conjunta y mezclado. El contenido de escoria de alto horno en este cemento está entre 25% y 70% de la masa del cemento. Hay otras subcategorías (propiedades especiales opcionales) tales como aire incluido, moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación que se especifican con la adición de los sufijos A, MS, MH. Por ejemplo, un cemento portland de alto horno con aire incluido que tiene moderada resistencia a los sulfatos sería llamado Tipo IS-A (MS).

Tipo IP y Tipo P

Los cementos portland puzolánicos se designan como tipo IP o tipo P. El tipo IP se lo puede usar para la construcción en general y el tipo P se usa en construcciones que no requieran altas resistencias iniciales. Se fabrican estos cementos a través de la molienda conjunta del clínker de cemento portland con una puzolana adecuada, o por el mezclado de cemento portland o cemento de alto horno con puzolana, o por la combinación de la molienda y del mezclado. El contenido de puzolana de estos cementos está entre 15% y 40% de la masa del cemento. Los ensayos (pruebas) de laboratorio indican que el desempeño de los concretos preparados con el cemento tipo IP es similar al concreto del cemento tipo I. Se puede especificar el tipo IP con aire incluido, moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación a través de la adición de los sufijos A, MS o MH. Se puede especificar el tipo P con bajo calor de hidratación (LH), moderada resistencia a los sulfatos (MS) o aire incorporado (A).

Tipo I (PM)

Los cementos portland modificados con puzolana, Tipo I (PM), se usan en construcciones de concreto en general. El cemento se fabrica con la combinación del cemento portland o el cemento portland de alto horno y una puzolana fina. Esta combinación se puede lograr por: (1) el mezclado del cemento portland con la puzolana, (2) el mezclado del cemento portland de alto horno con la puzolana, (3) la molienda conjunta del cemento portland y de la puzolana o (4) la combinación de la molienda y el mezclado. El contenido de puzolana es menor que 15% de la masa del cemento final. Se puede especificar aire incorporado, moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación en cualquier combinación por la adición de los sufijos A, MS o MH.

Tipo S

El cemento de escoria de alto horno se usa con el cemento portland para la confección de concreto o con cal para la preparación de mortero, pero no se lo emplea separadamente en concreto estructural. El cemento de escoria se produce por: (1) mezclado de la escoria granulada de alto horno y el cemento portland, (2) mezclado de la escoria granulada de alto horno con la cal hidratada o (3) mezclado de una combinación de escoria granulada de alto horno, cemento portland y cal hidratada. El contenido mínimo de escoria es del 70% de la masa del cemento. Se puede especificar el aire incluido en el cemento de escoria con la adición del sufijo A, por ejemplo, tipo S-A.

Tipo I (SM)

El cemento portland modificado con escoria, tipo I(SM), se usa para construcciones de concreto en general. Este cemento se produce por: (1) molienda conjunta del clínker de cemento portland con la escoria granulada de alto horno, (2) mezcla del cemento portland con la escoria granulada de alto horno finamente molida o (3) una combinación de molienda conjunta y mezcla. El contenido de escoria es menor que 25% de la masa del cemento final. Se lo puede especificar con aire incorporado, moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación a través de la adición de los sufijos A, MS o MH. Un ejemplo sería el tipo I(SM)-A (MH) para el cemento portland modificado con escoria con aire incorporado y moderada resistencia a los sulfatos.

Cementos en México

Los cementos mexicanos se especifican según la norma NMX -C-414- ONNCCE. De acuerdo con esta norma, hay seis tipos básicos de cementos:

CPO - cemento portland ordinario, el cual puede tener hasta 5% de adición de materiales tales como escoria, puzolanas, humo de sílice o caliza;

CPP - cemento portland puzolánico, que posee del 6% al 50% de material puzolánico, con relación a la masa total del cemento;

CPEG - cemento portland con escoria de alto horno, el cual tiene del 6% al 60% de escoria;

CPC - cemento portland compuesto, se compone de clínker, yeso y dos o más adiciones. Las adiciones se pueden componer del 6% al 35% de escoria, del 6% al 35% de material puzolánico, del 1% al 10% de humo de sílice y del 6% al 35% de caliza. Independientemente del tipo y cantidad de material adicionado, la cantidad de clínker e yeso debe ser del 50% al 94%;

CPS - cemento portland con humo de sílice, que recibe del 1% al 10% de humo de sílice;

CEG - cemento con escoria de alto horno, el cual tiene una cantidad de escoria que varía del 61% al 80%.

Además, estos cementos pueden presentar características especiales, tales como

RS - resistente a sulfatos;

BRA - baja reactividad álcali-agregado;

BCH - bajo calor de hidratación;

B - blanco.

Los cementos aún se dividen en clases de resistencia: 20, 30, 40, las cuales designan resistencias a compresión mínima a los 28 días de 20 MPa, 30 MPa y 40 MPa (200 kg/cm², 300 kg/cm² y 400 kg/cm²), respectivamente. Hay dos clases más de resistencia: 30R y 40R, que además de presentar resistencia a compresión mínima a los 28 días de 30 MPa y 40 MPa, respectivamente, también deben presentar resistencia a compresión a los 3 días de 20 MPa (200 kg/cm²) y 30 MPa (300 kg/cm²), respectivamente. La norma también especifica resistencias máximas a los 28 días, para las clases 20, 30 y 30R. El tiempo mínimo de fraguado inicial de todas las clases es 45 minutos. Los cementos se designan por uno de los 6 tipos de cementos, seguido por la clase de resistencia y por la característica especial. Por ejemplo, un cemento portland puzolánico de clase resistente 30R, de baja reactividad álcali-agregado y bajo calor de hidratación, se designaría como CPP 30R BRA/BCH. La norma NMX - C - 184 presenta el cemento de escoria, que se compone del 65% al 90% de escoria de alto horno. Además de estos cementos, aún están disponibles en el mercado mexicano, el cemento para servicios de albañilería y el cemento para cementaciones de pozo de petróleo tipo G (según la norma NMX - C - 315).

Ceniza Volante, Escoria, Humo de Sílice y Puzolanas Naturales

La ceniza volante, la escoria granulada de alto horno, el humo de sílice (sílice activa, microsílice) y las puzolanas naturales, tales como esquistos calcinados, arcilla calcinada o metacaolinita, son materiales que, cuando son usados conjuntamente con el cemento portland o el cemento adicionado, contribuyen para la mejoría de las propiedades del concreto endurecido, debido a sus propiedades hidráulicas o puzolánicas o ambas. La puzolana es un material silíceo o silíceo aluminoso que, cuando está en la forma de polvo fino y en presencia de humedad, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio liberado por la hidratación del cemento portland para formar silicato de calcio hidratado y otros compuestos cementantes. Las puzolanas y las escorias se clasifican como material cementante suplementario o aditivo (adición) mineral. El uso de materiales cementantes suplementarios en concreto viene creciendo desde la década de 70. La mayoría de estos materiales son subproductos de procesos industriales. Su empleo sensato es deseable no sólo bajo el punto de vista de la conservación del medio ambiente y de la energía, sino también por los beneficios que estos materiales pueden ofrecer al concreto. Los materiales cementantes suplementarios se adicionan al concreto como parte del sistema cementante. Se los puede utilizar como adición o como sustitución parcial del cemento portland o del cemento adicionado, dependiendo de las propiedades de los materiales y de los efectos esperados en el concreto.

Los materiales cementantes suplementarios se usan para mejorar una propiedad particular del concreto, tal como resistencia a la reactividad álcali-agregado. La cantidad óptima de adición se debe establecer a través de pruebas para determinar (1) si el material realmente mejora la propiedad y (2) la correcta cantidad, pues una sobredosis o una dosis insuficiente pueden ser perjudiciales o los efectos deseados no se logran. Los materiales cementantes suplementarios también reaccionan de manera diversa con los diferentes tipos de cemento. Tradicionalmente, la ceniza volante, escoria, arcilla calcinada, esquistos calcinados y humo de sílice se usaban separadamente en el concreto. Actualmente, debido a la facilidad del acceso

a estos materiales, los productores de concreto pueden combinar dos o más de estos materiales, para optimizar las propiedades del concreto. Las mezclas que usan tres materiales cementantes, llamadas mezclas ternarias, se están haciendo comunes. En los Estados Unidos, los materiales cementantes suplementarios se usan, por lo menos, en 60% del concreto premezclado (PCA2000).

Fig. 3-1. Materiales cementantes suplementarios. De la izquierda para la derecha, ceniza volante (Clase C), metacaolinita (arcilla calcinada), humo de sílice, ceniza volante (Clase F), escoria y esquisto.



Capítulo 3

Materias primas para la fabricación del concreto

Agua de Mezcla para el Concreto

Prácticamente cualquier agua natural que sea potable y no presente fuerte sabor u olor se la puede usar como agua de mezcla (de mezclado, de amasado) para la preparación del concreto. Sin embargo, también se pueden emplear en concreto algunas aguas que no se consideran potables. Se puede emplear el agua dudosa en concreto, pero se debe verificar su desempeño. Por ejemplo, se aconseja que los cubos de mortero (ASTM C 109 o AASHTO T 106) preparados con el agua dudosa tengan la resistencia a los 7 días igual a por lo menos 90% de la resistencia de los especímenes de referencia preparados con agua potable o agua destilada. Además, se debe garantizar a través de ensayos del tiempo de fraguado que las impurezas en el agua de amasado no van a disminuir o aumentar adversamente el tiempo de fraguado del cemento. Las normas ASTM C 94 (AASHTO M 157) y AASHTO T 26 presentan criterios de aceptación para el agua que será usada en el concreto. El exceso de impurezas en el agua de mezcla no sólo puede afectar el tiempo de fraguado y las resistencia del concreto, sino también puede causar eflorescencias, manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad del volumen y reducción de la durabilidad. Por lo tanto, se pueden establecer ciertos límites opcionales para cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos en el agua de mezcla o se pueden realizar ensayos adecuados para la determinación del efecto de las impurezas sobre varias propiedades. Algunas impurezas pueden tener un pequeño efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado y aun afectar la durabilidad y otras propiedades.

Se puede utilizar satisfactoriamente el agua para la preparación del concreto con menos de 2000 partes por millón (ppm) de sólidos disueltos. El agua que contiene más de 2000 ppm de sólidos disueltos se debe analizar para verificar su efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado.



Fig. 3-1. El agua que es buena para beber es buena para el concreto.

Carbonato Alcalino Y Bicarbonato

Los carbonatos y los bicarbonatos de sodio y potasio tienen diferentes efectos sobre el tiempo de fraguado de diferentes cementos. El carbonato de sodio puede causar fraguado rápido, el bicarbonato puede tanto acelerar como retardar el fraguado. Estas sales, cuando se encuentran en grandes concentraciones, pueden reducir la resistencia del concreto. Cuando la suma de las sales disueltas excede a 1000 ppm, se hacen necesarios ensayos para el estudio de su influencia sobre la resistencia y el tiempo de fraguado. También se debe considerar la posibilidad de la ocurrencia de reacciones álcali-agregado fuerte.

Cloruro

El efecto adverso de los iones cloruro sobre la corrosión de la armadura (refuerzo) es la principal razón de preocupación a respecto del contenido de cloruros en el agua usada para la preparación del concreto. Los iones cloruro atacan el filme (capa) de óxido protector que se forma sobre el acero resultante de la alta alcalinidad (pH mayor que 12.5) presente en el concreto. El nivel de iones cloruros solubles en ácido, en el cual la corrosión empieza en el concreto, es de aproximadamente del 0.2% al 0.4% en peso de cemento (0.15% al 0.3% soluble en agua). Del total del contenido de iones cloruro en el concreto, sólo aproximadamente del 50% al 85% es soluble en agua. El resto combina químicamente en las reacciones del cemento. Los cloruros se introducen en el concreto con los ingredientes de la mezcla - aditivos, agregados, materiales cementantes y agua de mezcla - o a través de la exposición a las sales anticongelantes, agua de mar o aire cargado de sales en ambientes marinos. Es difícil el establecimiento de límites aceptables del contenido de cloruros para cualquiera de los ingredientes, tal como el agua, pues hay muchas fuentes de iones de cloruro en el concreto. Un límite aceptable depende principalmente del tipo de estructura y del medio al cual esté expuesta durante su vida útil (vida de servicio).

Una alta concentración de sólidos disueltos en el agua natural se debe al alto contenido de cloruro de sodio o sulfato de calcio. Ambos se pueden tolerar en grandes cantidades. La concentración de 20,000 ppm de cloruro de sodio es tolerable en el concreto que se

mantendrá seco durante su vida y tiene bajo potencial de corrosión. El agua empleada en el concreto pretensado (preesfuerzo, presforzado, pretensado, precomprimido) o en el concreto que vaya a tener elementos de aluminio embebidos, no debe contener cantidades nocivas de iones cloruro. La contribución de los cloruros de los otros ingredientes también se debe considerar. Debe evitarse el uso de aditivos a base de cloruro de calcio en el concreto armado (reforzado).

El código de construcción ACI 318 limita el contenido de iones solubles en agua en el concreto armado en los siguientes porcentajes en peso de cemento: Concreto pretensado 0.06%, Concreto reforzado expuesto a cloruros durante su vida 0.15% Concreto reforzado que va a ser mantenido seco y protegido de la humedad durante su vida 1.00% Otras construcciones en concreto reforzado 0.30%. El ACI 318 no limita la cantidad de cloruros en el concreto simple, o sea el concreto que no contiene acero.

Sulfato

La preocupación a respecto del alto contenido de sulfato en el agua usada para la preparación del concreto se debe a las reacciones expansivas potenciales y al deterioro por el ataque de sulfatos, principalmente en áreas donde el concreto será expuesto a suelos o aguas con alto contenido de sulfatos. No obstante, se han usado satisfactoriamente aguas de mezcla conteniendo 10,000 ppm de sulfato de calcio, se debe considerar este límite, a menos que se tomen cautelas especiales.

Otras Sales Comunes

Los carbonatos de calcio y magnesio no son muy solubles en agua y raramente se encuentran en concentraciones suficientes para afectar la resistencia del concreto. Los bicarbonatos de calcio y magnesio están presentes en algunas aguas municipales. No se consideran perjudiciales las concentraciones menores que 400 ppm. El sulfato de magnesio y el cloruro de magnesio pueden estar presentes en altas concentraciones sin que causen daños sobre la resistencia. Se han obtenido buenas resistencias con el uso de agua con concentraciones de hasta 40,000 ppm de cloruro de magnesio. Las concentraciones de sulfato de magnesio deben ser menores que 25,000 ppm.

Agua Del Mar

El agua del mar, con una concentración de sales disueltas de hasta 35,000 ppm, normalmente es adecuada para el uso como agua de mezclado del concreto que no contenga acero. Aproximadamente 78% de la sal es cloruro de sodio y 15% es cloruro y sulfato de magnesio. Aunque la resistencia temprana del concreto preparado con agua de mar pueda ser más elevada que la resistencia del concreto normal, la resistencia a edades mayores (después de 28 días) puede ser menor. Esta reducción de la resistencia se puede compensar con la reducción de la relación agua-cemento. El agua de mar no es apropiada para la preparación de concreto reforzado con acero y no se debe usar en concreto pretensado, debido al riesgo de la corrosión de la armadura, principalmente en ambientes cálidos y húmedos. Si se usa agua de mar para la preparación de concreto sin refuerzo (sin acero) en aplicaciones marítimas, se deben emplear cementos de moderada resistencia a los sulfatos y baja relación agua-cemento. El sodio y el potasio de las sales presentes en el agua de mar, usada en la preparación del concreto, pueden agravar la reactividad álcali-agregado. Por lo tanto, no se debe usar agua de mar en la mezcla del concreto donde estén presentes agregados potencialmente reactivos. El agua de mar empleada en el concreto también tiende a causar eflorescencias y manchas en la superficie del concreto expuesta al aire y al agua.

Aguas Ácidas

La aceptación de aguas ácidas en la mezcla del concreto se debe basar en la concentración de los ácidos en el agua. Ocasionalmente, la aceptación se basa en el pH, que es una medida de la concentración de los iones hidrógenos en una escala logarítmica. El valor de pH es un índice de intensidad y no es la mejor medida de la reactividad potencial de un ácido o de una base. El pH del agua neutra es 7.0; valores inferiores a 7.0 indican acidez y valores superiores a 7.0 indican alcalinidad (una base). Normalmente el agua de mezclado que contiene ácido clorhídrico, ácido sulfúrico y otros ácidos inorgánicos comunes en concentraciones de hasta 10,000 ppm no tiene efecto perjudicial sobre la resistencia. Las aguas ácidas con pH menor que 3.0 pueden crear problemas de manejo y, si posible, se deben evitar. Los ácidos

orgánicos, tal como el ácido tánico, en altas concentraciones pueden tener un fuerte efecto sobre la resistencia.

Aguas Alcalinas

Las aguas con concentraciones de hidróxido de sodio del 0.5% en peso de cemento no afectan considerablemente la resistencia del concreto desde que no se induzca el fraguado rápido. Sin embargo, concentraciones más elevadas pueden reducir la resistencia del concreto. El hidróxido de calcio en concentraciones de hasta 1.2% en peso de cemento tiene poco efecto sobre la resistencia del concreto con algunos tipos de cemento, pero la misma concentración puede reducir significativamente la resistencia a los 28 días de concretos con otros tipos de cemento.

Se debe considerar la posibilidad del aumento de la reactividad álcali-agregado.

Aguas Sanitarias Residuales (Aguas Negras)

Un agua residual típica puede contener aproximadamente 400 ppm de materia orgánica. Después que el agua residual se diluye en un buen sistema de tratamiento, la concentración se reduce para aproximadamente 20 ppm o menos. Esta concentración es muy baja para afectar considerablemente la resistencia del concreto.

Impurezas Orgánicas

El efecto de sustancias orgánicas sobre el tiempo de fraguado del cemento portland y sobre la resistencia última del concreto es un problema muy complejo. Tales sustancias, como marga de superficie, se pueden encontrar en aguas naturales. Las aguas muy coloridas, con un olor apreciable o con algas verdes o marrones visibles se deben considerar sospechosas y por lo tanto hay que analizarlas.

Las impurezas orgánicas provienen normalmente de humus conteniendo ácido tánico.



Fig. 3-2. Los sistemas de recuperación permiten el uso inmediato del agua de lavado en el mezcla.

Azúcar

Un pequeña cantidad de sacarosa, del 0.03% al 0.15% en peso de cemento, normalmente es suficiente para retardar el fraguado del cemento. El límite superior de este rango varía de acuerdo con los diferentes cementos. La resistencia a los 7 días se puede reducir mientras que la resistencia a los 28 días se puede aumentar. El azúcar en cantidades iguales o superiores al 0.25% en peso de cemento puede causar fraguado rápido y grande reducción de la resistencia a los 28 días. Cada tipo de azúcar influye en el tiempo de fraguado y en la resistencia de manera diferente. El azúcar en el agua de mezcla en concentraciones inferiores a 500 ppm, normalmente no presenta efecto nocivo sobre la resistencia, pero si la concentración supera este valor, se deben hacer ensayos de tiempo de fraguado y resistencia.

Sedimentos O Partículas En Suspensión

Se pueden tolerar aproximadamente 2000 ppm de arcilla en suspensión o partículas finas de rocas en el agua de mezclado. Cantidades más elevadas, posiblemente, no afecten la resistencia pero pueden influenciar otras propiedades de algunas mezclas de concreto. Antes de utilizarse un agua embarrada o lodosa, se la debe pasar a través de estanques de sedimentación o se la debe clarificar por cualquier otro medio para la disminución de la cantidad de sedimentos o arcillas introducidos en la mezcla a través del agua de mezcla. Se

pueden tolerar hasta 50,000 ppm cuando los finos del cemento se retornan al concreto por el uso de agua de lavado reciclada.

Interacción Con Los Aditivos

Al evaluarse el efecto de las aguas sobre las propiedades, es importante que se analice el agua con los aditivos que serán usados en el concreto. Algunos compuestos en el agua pueden influenciar el desempeño y la eficiencia de ciertos aditivos. Por ejemplo, algunas veces se necesita aumentarla cantidad de aditivo incluso de aire al usarse el aditivo con agua dura conteniendo altas concentraciones de ciertos compuestos o minerales.

Agregados Para Concreto



Fig. 3-3. Primer plano de agregado fino (arena).

La importancia del uso del tipo y de la calidad correcta del agregado (árido) no se puede subestimar. Los agregados fino y grueso ocupan cerca del 60% al 75% del volumen del concreto (70% a 85% de la masa) e influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía del concreto. Los agregados finos generalmente consisten en arena natural o piedra triturada (partida, macha cada, pedrejón arena de trituración) con la mayoría de sus partículas menores que 5 mm (0.2 pulg.). Los agregados gruesos (Fig. 3-4) consisten en una o en la combinación de gravas o piedras trituradas con partículas predominantemente mayores que 5 mm (0.2 pulg.) y generalmente entre 9.5 mm y 37.5 mm (3/8 y 1 1/2 pulg.) Algunos depósitos naturales de agregado, llamados de gravas de mina, consisten en grava y arena que se pueden usar inmediatamente en el concreto, después de un procesamiento mínimo. La grava y la arena naturales normalmente se excavan o dragan de la mina, del río, del lago o del lecho marino. La piedra triturada se produce triturando la roca de cantera, roca redondeada, guijarros o gravas grandes. La escoria de alto horno enfriada al aire y triturada también se usa como agregados fino y grueso.



Fig. 3-4. Agregado grueso. Grava redondeada (izquierda) y piedra triturada (derecha).

Los agregados frecuentemente se lavan y se gradúan en la mina o en la planta. Se puede esperar alguna variación en el tipo, calidad, limpieza, granulometría (gradación), contenido de humedad y otras propiedades. Cerca de la mitad de los agregados gruesos en el concreto de cemento portland en Norteamérica es grava, la mayoría del resto es piedra triturada. Los agregados naturales para concreto son una mezcla de rocas y minerales. Mineral es una sustancia sólida natural con una estructura interna ordenada y una composición química que varía dentro de límites estrechos. Las rocas, que se clasifican según su origen en ígneas, sedimentarias o metamórficas, generalmente se componen de varios minerales. Por ejemplo, el granito contiene cuarzo, feldespato, mica y otros pocos minerales, la mayoría de las calizas consiste en calcita, dolomía y pequeñas cantidades de cuarzo, feldespato y arcilla. El intemperismo y la erosión de las rocas producen partículas de piedra, grava, arena, limo y arcilla. El concreto reciclado o el concreto de desperdicio triturado es una fuente viable de agregados y una realidad económica, especialmente donde los buenos agregados son escasos. Se pueden utilizar equipos convencionales de trituración de piedras y se han desarrollado nuevos equipos para reducir el ruido y el polvo. Los agregados deben cumplir con algunas normas para que su uso en ingeniería se optimice: deben ser partículas limpias, duras, resistentes, durables y libres de productos químicos absorbidos, revestimiento de arcilla u otros materiales finos en cantidades que puedan afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas de agregados friables (disgregables, deleznales o desmenuzables) o capaces de rajarse son indeseables. Se deben evitar

agregados que contienen cantidades apreciables de esquisto u otras rocas esquistosas, de materiales blandos y porosos. Solamente la identificación de los constituyentes de un agregado no puede dar una base para el pronóstico del comportamiento del agregado en servicio. La inspección visual normalmente revela debilidades en los agregados gruesos. Los registros de servicio son inestimables en la evaluación de los agregados. En la ausencia de registros de desempeño, se deben ensayar los agregados antes que se los use en el concreto. Los agregados más frecuentemente utilizados - arena, grava y escoria de alto horno enfriada al aire - producen concretos frescos de peso normal con masa volumétrica (masa unitaria) de 2200 a 2400 kg/m³. Agregados de esquisto, arcilla, pizarra y escoria expandidos (Fig. 5-3) se usan para producir estructuras de concreto ligero (liviano) con la masa volumétrica el concreto fresco variando de cerca de 1350 a 1850 kg/m³. Otros materiales ligeros tales como la piedra pómez (pumita), cagafierro, perlita, vermiculita y diatomita se emplean para producir concreto ligero aislante con masas volumétricas que varían de 250 a 1450 kg/m³. Materiales pesados, tales como barita, limonita, magnetita, ilmenita, hematina y esferas de hierro se usan para producir concreto de densidad elevada (concreto de gran peso) y blindaje para la radiación. La cantidad deseable de aire, agua, cemento y agregado fino (o sea el mortero) debe ser cerca del 50% al 65% del volumen absoluto (45% a 60% de la masa) del concreto para que se tenga una consolidación adecuada. Los agregados redondeados, como



las gravas, requieren cantidades un poco menores, mientras que agregados triturados requieren cantidades un poco más elevadas. El contenido de agregado fino es normalmente del 35% al 45% de la masa o volumen del contenido total de agregado.

Fig. 3-5. Agregado ligero. Arcilla expandida (izquierda) y esquisto expandido (derecha).

CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

Las características más importantes de los agregados para concreto se presentan en la Tabla 3-1.

Característica	Importancia	Requisito o característica reportada
Resistencia a abrasión y degradación	Índice de calidad del agregado: resistencia al desgaste de pisos y pavimentos	Porcentaje máximo de pérdida de masa. Profundidad de desgaste y tiempo
* ASTM C 131 (AASHTO T 96), COVENIN 0266-77, IRAM 1532, NCh1369.Of1978, NMX-C-196, NTP 400.019, UNIT-NM 51 ASTM C 535, COVENIN 0267-78, NCh1369.Of1978, NMX-C-196, NTP 400.020, UNIT-NM 51 ASTM C 779, NTE 0860		
Resistencia a congelación-deshielo	Descascaramiento superficial, aspereza, pérdida de sección y estética	Número máximo de ciclos o período de inmunidad a congelación, factor de durabilidad.
* ASTM C 666 (AASHTO T 161), COVENIN 1601, NCh2185, NMX-C-205 ASTM C 682 AASHTO T 103		
Resistencia a desintegración por sulfatos	Sanidad contra el intemperismo	Pérdida de masa, partículas que muestren fallas
* ASTM C 88 (AASHTO T 104), COVENIN 0271, IRAM 1525, NCh1328, NMX-C-075-1997- ONNCCE, NTC 126, NTP 400.016, NTE0863		
Forma y textura superficial de las partículas	Trabajabilidad del concreto fresco	Porcentaje máximo de partículas planas y elongadas
* ASTM C 295, IRAM 1649, NMX-C-265, NTC 3773, UNIT-NM 54 ASTM D 3398, COVENIN 0264, IRAM 1681, IRAM 1687, UNIT 1029		
Granulometría	Trabajabilidad del concreto fresco y economía	Porcentajes mínimo y máximo que pasan por los tamices estándar
* ASTM C 117 (AASHTO T 11), IRAM 1540, NMX-C-084, NCh1223, NTC 78, NTE 0697, NTP 400.018, UNIT-NM 46 ASTM C 136 (AASHTO T 27), COVENIN 0255, IRAM 1505, IRAM 1627, NCh165, NMX-C-077, NTC 77, NTE 0696, NTP 400.012, UNIT 48, NTE 0872		
Degradación del agregado fino	Índice de la calidad del agregado: resistencia a degradación durante el mezclado	Cambio de la granulometría
* ASTM C 1137		
Contenido de vacíos no compactado del agregado fino	Trabajabilidad del concreto fresco	Contenido de vacíos no compactado del agregado fino y gravedad específica
* ASTM C 1252 (AASHTO T 304)		
masa volumétrica (masa unitaria)	Cálculos del diseño de la mezcla, clasificación	Peso compactado y peso suelto
* ASTM C 29 (AASHTO T 19), COVENIN 0274, COVENIN 0263, IRAM 1548, NMX-C-073, NTC 92, NTP 400.017, UNIT-NM 45, NTE 8581		
Masa específica relativa	Cálculos del diseño de la mezcla	—
* ASTM C 127 (AASHTO T 85), COVENIN 0269, IRAM 1533, NMX-C-164, NCh1117, NTC 176, NTP 400.021, UNIT-NM 30, UNIT-NM 53 ASTM C 128 (AASHTO T84), COVENIN 0268, IRAM 1520, NCh1239, NMX-C-165, NTC 237, NTP 400.022, UNIT-NM 64, UNIT-NM 52, NTE 0857, NTE 0856		
Absorción y humedad superficial	Control de la calidad del concreto (relación agua-cemento)	—
* ASTM C 70, COVENIN 0272 ASTM C 127 (AASHTO T 85), COVENIN 0269, IRAM 1533, NMX-C-164, NCh1117, NTC 176, NTP 400.021, UNIT-NM 30, UNIT-NM 53 ASTM C 128 (AASHTO T84), COVENIN 0268, IRAM 1520, NCh1239, NMX-C-165, NTC 237, NTP 400.022, UNIT-NM 64, UNIT-NM 52 ASTM C 566 (AASHTO T 255), COVENIN 1375, NMX-C-166, NTC 1776, NTP 339.185		

Granulometría (Gradación)



Fig. 3-6. Varios tamaños de partículas que se encuentran en los agregados para uso en concreto

La granulometría es la distribución del tamaño de las partículas de un agregado, que se determina a través del análisis de los tamices (cedazos, cribas). La variación del tamaño de partículas se muestra en la Figura 3-6. El tamaño de las partículas del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre con aberturas cuadradas. Los siete tamices normalizados para el agregado fino tienen aberturas que varían de 150 mm a 9.5 mm (Tamiz No.100 a 3/8 pulg.), de 0.160 mm a 10 mm. Mientras que el agregado grueso se ensaya con 13 tamices estándar, con aberturas que varían de 1.18 mm a 100 mm (0.046 pulg. a 4pulg.) Las tolerancias para las aberturas de la malla de los tamices se encuentran en ASTM E 11 (AASHTO M 92), IRAM 1501, NCh1022, NCh1024 y UNIT-ISO 565). Los números de tamaño (tamaño de granulometría) de los agregados gruesos se aplican a las cantidades de agregado (en masa), en porcentaje que pasa a través de un conjunto de tamices. El agregado fino o la arena tiene solamente un rango de tamaño de partículas para la construcción en general y para la construcción de carreteras. Algunos países, tales como Argentina, Chile y

México no usan números para tratar de tamaños específicos de agregados, pero usan los tamaños nominales o grados (tamaños límites).

La granulometría y los límites granulométricos se expresan generalmente en porcentaje de material que pasa a través de cada tamiz.

Hay muchas razones para que se especifiquen los límites granulométricos y el tamaño máximo nominal de los agregados, pues afectan las proporciones relativas de los agregados, bien como la demanda de agua y de cemento, trabajabilidad, bombeabilidad, economía, porosidad, contracción (retracción) y durabilidad del concreto. Las variaciones en la granulometría pueden afectar seriamente la uniformidad del concreto de una mezcla a otra. Las arenas muy finas son normalmente antieconómicas, mientras que arenas y gravas gruesas pueden producir mezclas sin trabajabilidad. En general, los agregados que no tienen una gran deficiencia o exceso de cualquier tamaño y presentan una curva granulométrica suave, producirán los resultados más satisfactorios.

Granulometría del Agregado Fino

Los requisitos de las normas ASTM C 33 o AASHTO M6/M80, NMX-C- 111, NTC 174, permiten un rango relativamente amplio en la granulometría del agregado fino, pero las especificaciones de otras organizaciones, a veces, son más restrictivas. La granulometría más deseable para el agregado fino depende del tipo de obra, si la mezcla es rica y del tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas más pobres, o cuando se usan agregados gruesos de pequeñas dimensiones, es conveniente, para que se logre una buena trabajabilidad, que la granulometría se aproxime al porcentaje máximo recomendado que pasa por cada tamiz. En general, si se mantiene constante la relación agua-cemento y se elige correctamente la relación agregado fino-agregado grueso, se puede usar un amplio rango de granulometrías, sin efectos considerables sobre la resistencia.

Sin embargo, algunas veces, se logrará la mayor economía con el ajuste de la mezcla de concreto para que se adapte a la granulometría de los agregados locales. La granulometría de los agregados finos de acuerdo con las normas ASTM C 33 (AASHTO M6), NMX-C-111, es generalmente satisfactoria para la mayoría de los concretos. Los límites de estas normas, con

Tamiz†	Porcentaje que pasa (en masa)
9.5 mm (¾ pulg.)	100
4.75 mm (No. 4)	95 a 100
2.36 mm (No. 8)	80 a 100
1.18 mm (No. 16)	50 a 85
600 µm (No. 30)	25 a 60
300 µm (No. 50)	10 a 30*
150 µm (No. 100)	2 a 10**

† Las aberturas de los tamices especificados en la Nch 163 son, respectivamente, 10 mm, 5 mm, 2.5 mm, 1.25 mm, 0.630 mm, 0.315 mm y 0.160 mm.

* De acuerdo con la ASTM C 33 y la NTP 400.037 este límite es del 5% a 30%. De acuerdo con la COVENIN 277, el límite de porcentaje que pasa en este tamiz es del 8%.

** De acuerdo con la ASTM C 33 y la NTP 400.037 este límite es del 0% al 10%.

respecto a la granulometría se enseñan en la Tabla 3-2. Las especificaciones de la AASHTO, de la NMX y de la

NTC permiten que los porcentajes mínimos (por masa) de material que pasa en los tamices de 300 µm (No.50) y 150 µm (No.100) se reduzcan a 5% y 0%, respectivamente, desde que:

Tabla 3-2. Límites granulométricos del Agregado Fino (ASTM C 33/AASHTO M6, COVENIN 277, IRAM 1512, Nch 163, NMX-C-111, NTC 174 y NTP 400.037)

1. Se use el agregado en un concreto con aire incluido (Incorporado) que contenga más de 237 kg de cemento por m³ de concreto y más del 3% de contenido de aire (AASHTO y NTC). En el caso de México, la mezcla debe contener más de 250 kg/m³ de cemento.

2. Se use el agregado en un concreto que contenga más de 297 kg de cemento por m³ de concreto, cuando el concreto no tenga aire incluido. En el caso de México, la mezcla debe contener más de 300 kg/m³ de cemento.

3. Se use material cementante suplementario aprobado, a fin de suministrar la deficiencia de material que pasa en los dos tamices. Otros requisitos de la ASTM C 33 (AASHTO M6), NMX-C-111 y NTC 174 son:

1. El agregado fino no debe contener más del 45% de material retenido entre cualquiera de dos tamices normalizados consecutivos.

2. El módulo de finura debe ser mayor que 2.3 y menor que 3.1, y no debe variar más que 0.2 del valor típico de la fuente del agregado. Si se excede este valor, el agregado se debe rechazar, a menos que se hagan ajustes adecuados en la proporción entre los agregados fino y grueso.

Las cantidades de agregado fino que pasan a través de los tamices de 300 µm (No. 50) y de 150 µm (No. 100) afectan la trabajabilidad, la textura superficial, el contenido de aire y el

sangrado (exudación) del concreto. La mayoría de las especificaciones permite un porcentaje que pasa en el tamiz 300 µm (No. 50) del 5% al 30%. El límite más bajo puede ser suficiente para condiciones fáciles de colocación o donde se acabe el concreto mecánicamente, como ocurre en los pavimentos. Sin embargo, en pisos acabados manualmente, o donde se desee una textura superficial lisa, se debe usar un agregado fino con, por lo menos, 15% de masa que pase en el tamiz 300 µm (No. 50) y 3% o más en el tamiz 150 µm (No. 100).

Módulo de Finura. El módulo de finura (MF) tanto del agregado fino como del grueso se calcula, se acuerdo con ASTM C 125, COVENIN 255, IRAM 1627, NCh 165, NMXC- 111, NTC 385, NTE 0694:83, NTP 400.011 y UNIT-NM 2, sumándose los porcentajes acumulados de la masa retenida en cada uno de los tamices de la serie especificada y dividiéndose esta suma por 100. La serie especificada de tamices para la determinación del MF es: 150 µm (No. 100), 300 µm (No. 50), 600 µm (No. 30), 1.18 mm (No. 16), 2.36 mm (No. 8), 4.75 mm (No. 4), 9.5 mm (3/8 pulg.), 19.0 mm (3/4 pulg.), 37.5 mm (1 1/2 pulg.), 75 mm (3 pulg.) y 150 mm (6 pulg.). La serie especificada de tamices para la determinación del MF en la norma NMXC-C-111 no incluye el tamiz de malla 150 mm (6 pulg.). El MF es un índice de finura del agregado - cuanto mayor el MF, más grueso es el agregado. Agregados con granulometrías diferentes pueden tener el mismo MF. El MF de los agregados finos es útil para estimar las proporciones de agregados fino y grueso en el concreto.

La degradación del agregado fino debido al rozamiento y a la abrasión decrece el MF y aumenta la cantidad de materiales más finos que 75 µm (No. 200).

Granulometría del Agregado Grueso

Los requisitos de granulometría (gradación) del agregado grueso de las normas ASTM C 33 (AASHTO M 80), COVENIN 277, IRAM 1627, NCh163, NMX-C-111, NTC 174, NTP 400.037 y UNIT 102. permiten límites amplios en la granulometría y una gran variedad de tamaños granulométricos (véanse Tablas 3-3 y 3-4). La granulometría del agregado grueso con un determinado tamaño máximo puede variar moderadamente dentro de un rango, sin que afecte apreciablemente las demandas de cemento y agua de la mezcla, si las proporciones del agregado fino, con relación a la cantidad total de agregados, producen un concreto con buena trabajabilidad.

Tabla 3-3. Requisitos Granulométricos para Agregados Gruesos (ASTM C 33, AASHTO M 80, IRAM 1627,

Número del tamaño	Tamaño nominal, tamices con apertura cuadradas*	Cantidades más finas que cada tamiz de laboratorio,				
		100 mm (4 pulg.)	90 mm (3 3/4 pulg.)	75 mm (3 pulg.)	63 mm (2 1/2 pulg.)	50 mm (2 pulg.)
1	90 a 37.5 mm (3 3/4 a 1 1/2 pulg.)	100	90 a 100	—	25 a 60	—
2	63 a 37.5 mm (2 1/2 a 1 1/2 pulg.)	—	—	100	90 a 100	35 a 70
3	50 a 25.0 mm (2 a 1 pulg.)	—	—	—	100	90 a 100
357	50 a 4.75 mm (2 pulg. a No. 4)	—	—	—	100	95 a 100 ¹
4	37.5 a 19.0 mm (1 1/2 a 3/4 pulg.)	—	—	—	—	100
487	37.5 a 4.75 mm (1 1/2 pulg. a No. 4)	—	—	—	—	100
5†	25.0 a 12.5 mm (1 a 1/2 pulg.)	—	—	—	—	—
58†	25.0 a 9.5 mm (1 a 3/4 pulg.)	—	—	—	—	—
57	25.0 a 4.75 mm (1 pulg. a No. 4)	—	—	—	—	—
6†	19.0 a 9.5 mm (3/4 a 3/8 pulg.)	—	—	—	—	—
67	19.0 a 4.75 mm (3/4 pulg. a No. 4)	—	—	—	—	—
7	12.5 a 4.75 mm (1/2 pulg. a No. 4)	—	—	—	—	—
8	9.5 a 2.36 mm (3/8 pulg. a No. 8)	—	—	—	—	—

† No se especifica en la Nch 163, ni tampoco en la NMXC-111.

* Los tamaños nominales pueden variar ligeramente de un país al otro. Por ejemplo, en Argentina, los tamaños nominales especificados en mm, mientras que en Chile, la Nch 163, trae los siguientes grados: 63-40 mm, 50-25 mm, 40-20 mm, 40-5 mm, 25-5 mm, 50-5 mm, 12.5-5 mm.

¹ La Nch 163 especifica del 90% a 100%.

Las proporciones de la mezcla se deben cambiar para producir un concreto trabajable si ocurrieran grandes variaciones en la granulometría del agregado grueso. Como estas variaciones son difíciles de predecir, frecuentemente es más económico mantener la uniformidad de la producción y el manejo del agregado grueso, para que se reduzcan las variaciones de la granulometría. El tamaño máximo del agregado grueso influye en la economía del concreto. Normalmente, se requiere más agua y cemento en concretos con agregados gruesos de tamaño máximo menor si es comparado con agregados de tamaño máximo mayor, debido al aumento del área superficial total del agregado. El agua y cemento necesarios para que se obtenga un revenimiento (asentamiento) de 75 mm (3 pulg.), con el uso de una gran variedad de tamaños de agregados gruesos. El costo elevado para la obtención y manejo de agregados mayores que 50 mm (2 pulg.) puede compensar el ahorro por la utilización de menos cantidad de cemento. Además, agregados de tamaños diferentes pueden producir concretos con resistencias ligeramente diferentes, para una misma relación agua-cemento. Por ejemplo, con una misma relación agua-cemento, el concreto con un

agregado de tamaño máximo menor podría tener una resistencia a compresión mayor. Esto se verifica principalmente en los concretos de alta resistencia. El tamaño máximo óptimo del agregado grueso para resistencias más elevadas depende de factores, tales como resistencia relativa de la pasta de cemento, adherencia entre cemento y agregado y resistencia de las partículas de agregado. La terminología que se usa para especificar el tamaño del agregado se debe elegir cuidadosamente. El tamaño de la partícula se determina por el tamaño de la abertura del tamiz y se aplica al agregado que pasa a través de éste y que se queda retenido en el tamiz inmediatamente menor. Cuando se habla de una clasificación de tamaños de partículas, se usa en algunos países (Colombia, EE.UU., Perú y Venezuela) el número de tamaño (o tamaño granulométrico), mientras que en otros países (Argentina, Chile, México) se refiere a una clasificación a través del tamaño máximo nominal. El número del tamaño se aplica a una cantidad colectiva de agregado que pasa a través de un conjunto de tamices. Como se puede observar en las Tablas 3-3 y 3-4, la cantidad de agregado que pasa a través del respectivo tamiz se representa en porcentaje y se llama de análisis granulométrico. Algunas veces, hay una confusión entre el significado del tamaño máximo del agregado. El tamaño máximo nominal se define por la ASTM C 125 y por el ACI 116 como el menor tamiz por el cual la mayor parte de la muestra de agregado grueso debe pasar. El tamiz del tamaño máximo nominal puede retener del 5% a 15% de la masa, dependiendo del número de tamaño. Por ejemplo, un agregado con número de tamaño 67 tiene un tamaño máximo de 25 mm (1 pulg.) y un tamaño máximo nominal de 19 mm (3/4 pulg.), 91% de este agregado debe pasar por el tamiz de 19 mm (3/4 pulg.) y todas las partículas deben pasar el tamiz de 25 mm (1 pulg.). La NTP 400.037 define el tamaño máximo nominal del agregado como el menor tamiz que produce el primer retenido, pero no especifica el límite del porcentaje retenido, mientras que la Nch 163 define el tamaño máximo nominal (Dn) como la abertura del tamiz inmediatamente inferior al tamaño máximo absoluto (equivalente al que se llama de tamaño máximo en las normas de los otros países citados aquí), cuando por este tamiz pase 90% o más de la muestra. Cuando menos del 90% pasa por este tamiz, se considera como Dn el propio tamaño máximo absoluto. El tamaño máximo de agregado que se puede utilizar depende del tamaño y de la forma del miembro de concreto y de la cantidad y distribución del acero de refuerzo (armadura). Normalmente, el tamaño máximo del agregado no puede exceder:

1. Un quinto de la dimensión más pequeña del miembro de concreto.
2. Tres cuartos del espacio libre entre las barras de acero del refuerzo y entre las varillas de refuerzo y las cimbras (encofrados).
3. Un tercio de la profundidad de las losas.

Se puede renunciar a estos requisitos si, en la opinión del ingeniero, la mezcla poseyera una trabajabilidad suficiente para que el concreto se coloque adecuadamente sin la formación de agujeros y vacíos.



Fig. 3-7. Realización del ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso en el laboratorio.

Tabla 3-4. Límites de los porcentajes en peso que pasan los tamices de aberturas cuadradas (COVENIN 277)

Piedra picada o grava	75 mm (3")	64.0 mm (2 1/2")	50.8 mm (2")	38.1 mm (1 1/2")	25.4 mm (1")	19.0 mm (3/4")
Nº 0	—	—	—	—	—	100 a 80
Nº 1	—	—	—	100	100 a 90	90 a 50
Nº 2	—	—	100 a 95	90 a 75	70 a 35	30 a 5
Nº 3	100	100 a 90	95 a 85	80 a 20	10 a 0	5 a 0

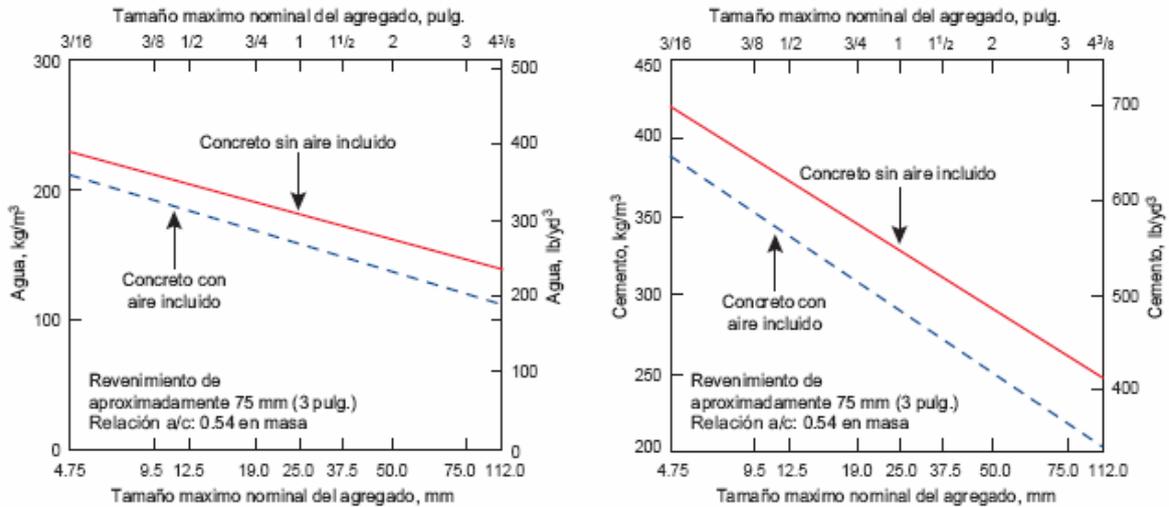


Fig. 3-8. Contenidos de cemento y agua con relación al tamaño máximo del agregado de concreto con y sin aire incluido. Se requiere menos cemento y agua en mezclas con agregados gruesos grandes (Bureau of Reclamation 1981).

Forma y Textura Superficial de las Partículas

La forma y la textura superficial de las partículas de un agregado influyen en las propiedades del concreto fresco más que las del concreto endurecido. Las partículas con textura áspera, angulares o alargadas requieren más agua para producir un concreto trabajable que agregados lisos, redondeados y compactos. Además, las partículas de agregado angulares requieren más cemento para mantener la misma relación agua-cemento. Sin embargo, con la granulometría satisfactoria, tanto los agregados triturados como los no triturados (de un mismo tipo de roca), generalmente, producen concretos con la misma resistencia, si se mantiene el contenido de cemento. Los agregados angulares o con granulometría pobre también pueden ser más difíciles de bombear. La adherencia entre la pasta de cemento y un determinado agregado generalmente aumenta con el cambio de partículas lisas y redondeadas por las ásperas y angulares. Cuando la resistencia a flexión es importante o cuando se necesite alta resistencia a compresión, se debe considerar este aumento de la adherencia al elegirse el agregado para el concreto.

La cantidad de vacíos de los agregados fino y grueso compactados se puede usar como un índice de las diferencias en la forma y la textura de los agregados con la misma granulometría. La demanda de agua de mezcla y cemento normalmente aumentan con el aumento de la cantidad de vacíos. Los vacíos entre las partículas de agregados aumentan con la angularidad del agregado.

Fig. 3-8. Videograder para medir el tamaño y la forma de los agregados.

El agregado debe ser relativamente libre de partículas planas y alargadas. Una partícula se considera plana y alargadas cuando la relación entre longitud y espesor supera un valor especificado. Las partículas planas y alargadas se deben evitar o, por lo menos, limitar a cerca del 15% de la masa total del agregado. Este requisito es igualmente importante para el agregado grueso y para el agregado fino triturado, pues el agregado fino obtenido por la trituración de la roca frecuentemente contiene partículas planas y alargadas. Estas partículas de agregado requieren un aumento del agua de mezcla y, por lo tanto, pueden afectar la resistencia del concreto, principalmente a flexión, si no se ajusta la relación agua-cemento. Están disponibles varias máquinas de ensayo para la determinación rápida de la distribución del tamaño de las partículas del agregado. Diseñadas para dar una alternativa más rápida al ensayo normalizado de análisis granulométrico, estas máquinas captan y analizan imágenes digitales de las partículas de agregado para determinar la granulometría. La Figura 3-8 enseña un "videograder" que mide el tamaño y la forma de un agregado, usando cámaras para el escáner de línea, donde se construyen imágenes en dos dimensiones para una serie de imágenes en línea. Otras máquinas usan cámaras con escáner de matriz que captan fotos bi-



dimensionales del agregado que cae que los fragmentos individuales pasen delante de dos cámaras sincronizadas y orientadas ortogonal mente.

Masa Volumétrica (Masa Unitaria) y Vacíos

La masa volumétrica (masa unitaria) de un agregado es la masa o el peso del agregado necesario para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. El volumen a que se refiere aquí es aquél ocupado por los agregados y por los vacíos entre las partículas de agregado. La masa volumétrica aproximada del agregado comúnmente usado en el concreto de peso normal varía de

1200 a 1750 kg/m³ (75 a 110 lb/pie³). La cantidad de vacíos entre las partículas afecta la demanda de pasta en el diseño de la mezcla. La cantidad de vacíos varía de cerca del 30% a 45% para el agregado grueso y de cerca del 40% a 50% para el agregado fino. La angularidad aumenta la cantidad de vacíos, mientras que los tamaños mayores de un agregado bien graduado y la mejoría de la granulometría disminuyen el contenido de vacíos. Los métodos para la determinación de la masa volumétrica del agregado y el contenido de vacíos se encuentran en las normas ASTM C 29 (AASHTO T 19), NMX-C-073. En estas normas, se describen tres métodos para la consolidación del agregado en el recipiente, dependiendo del tamaño máximo del agregado: varillado, sacudido y vaciado con pala. La medición del contenido de vacíos suelto del agregado fino se presenta en la ASTM C 1252.

Masa Específica (Densidad)

La masa específica (densidad) de las partículas que se usa en los cálculos de proporcionamiento (no incluyen los vacíos entre las partículas) se determina por la multiplicación de la masa específica relativa de los agregados por la densidad del agua. Se usa un valor para la densidad del

agua de aproximadamente 1000 kg/m³ (62.4 lb/pie³). La masa específica del agregado, juntamente con valores más precisos de la densidad del agua, se presentan en las normas ASTM C 127 (AASHTO T 85) y ASTM C 128 (AASHTO T 84). La masa específica de las partículas de la mayoría de los agregados naturales está entre 2400 y 2900 kg/m³ (150 y 181 lb/pie³).

Absorción y Humedad Superficial

La absorción y la humedad superficial de los agregados se deben determinar de acuerdo con las normas ASTM C 70, NMX-C-164, así el agua total del concreto se puede controlar y las masas correctas de los materiales de la mezcla se pueden determinar. La estructura interna de una partícula de agregado se constituye de materia sólida y vacía que pueden o no contener agua.

Las condiciones de humedad de los agregados se presentan en la Figura 3-9 y se las puede definir como:

1. **Secado al horno** - totalmente absorbente
2. **Secado al aire** - la superficie de las partículas está seca, pero su interior contiene humedad y, por lo tanto, aún es ligeramente absorbente
3. **Saturado con superficie seca (SSS)** - no absorben ni ceden agua al concreto
4. **Húmedos** - Contiene un exceso de humedad sobre la superficie (agua libre)

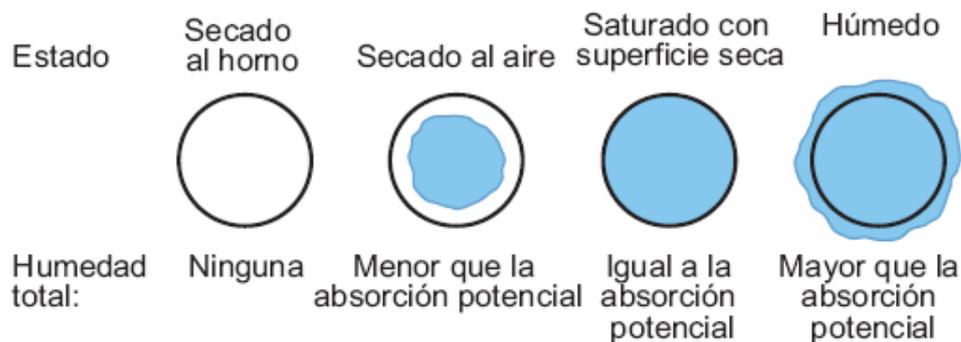


Fig. 3-9. Condiciones de humedad de los agregados.

La cantidad de agua que se adiciona en la planta de concreto se debe ajustar para las condiciones de humedad de los agregados, a fin de que se atienda a la demanda de agua del diseño de la mezcla de manera precisa. Si el contenido de agua del concreto no se mantiene constante, la relación agua-cemento variará de una amasada a la otra, resultando en la variación de otras propiedades, tales como la resistencia a compresión y la trabajabilidad. Los agregados grueso y fino generalmente tienen niveles de absorción (contenido de humedad a SSS) que varían del 0.2% al 4% y del 0.2% al 2%, respectivamente. Los contenidos de agua libre generalmente varían del 0.5% al 2% para el agregado grueso y del 2% al 6% para el agregado fino. El contenido máximo de humedad del agregado grueso drenado es normalmente menor que aquél del agregado fino. La mayoría de los agregados finos puede mantener un contenido máximo de humedad drenada de cerca del 3% al 8%, mientras que el agregado grueso puede mantener del 1% al 6%.

Propiedades de Humedecimiento y Secado

El intemperismo debido al humedecimiento y secado puede afectar la durabilidad del agregado. Los coeficientes de expansión y contracción de las rocas varían con la temperatura y el contenido de humedad. En algunos agregados, pueden ocurrir deformaciones elevadas si ocurren humedecimientos y secados alternos y, en el caso de algunos tipos de rocas, esto puede causar un aumento permanente de volumen y su eventual ruptura. Los terrones de arcilla y otras partículas friables (deleznales, disgregables o dezmenuzables) se pueden degradar rápidamente con el humedecimiento y secado repetidos. También se pueden desarrollar erupciones, resultantes de las características de hinchazón por la humedad, de algunos agregados, principalmente en arcillas y esquistos. A pesar de que no existen ensayos específicos para determinar esta tendencia, un petrógrafo experimentado puede frecuentemente ayudar a determinar el potencial de falla.

Abrasión y Resistencia al Derrapamiento

La resistencia a la abrasión (desgaste) de un agregado frecuentemente se usa como un índice general de su calidad. La resistencia a la abrasión es esencial cuando el agregado se usará en un concreto sujeto al desgaste, como en los pisos para servicio pesado (industriales) o pavimentos.

La baja resistencia al desgaste de un agregado puede aumentar la cantidad de finos en el concreto durante el mezclado y, consecuentemente, puede haber un aumento en la demanda de agua, requiriéndose ajustes de la relación agua-cemento. El ensayo más común de resistencia a la abrasión es el ensayo de abrasión Los Ángeles (método del tambor giratorio) realizado de acuerdo con la ASTM C 131 (AASHTOT 96) Y NMX-C-196. En este ensayo, una cantidad especificada de agregado se coloca en un tambor de acero que contiene esferas de acero, se gira el tambor y se mide el porcentaje de material desgastado. Las especificaciones normalmente establecen un límite máximo de pérdida de masa. Sin embargo, una comparación de los resultados de los ensayos de abrasión con la resistencia a abrasión de un concreto producido con el mismo agregado, generalmente no muestra una clara relación. La pérdida de masa resultante del impacto en el tambor, frecuentemente, es comparable con aquella por abrasión. La resistencia al desgaste del concreto se determina más precisamente por la abrasión del propio concreto.

Para lograr una buena resistencia al derrapamiento (resbalón) en los pavimentos, el contenido de partículas silíceas del agregado fino debe ser, por lo menos, 25%. Para propósitos de especificación, el contenido de partículas silíceas se considera igual al residuo insoluble, después del tratamiento en ácido clorhídrico bajo condiciones normalizadas (ASTM D 3042). Algunas arenas manufacturadas producen superficies resbalosas de pavimentos y se las debe investigar para aceptación antes de su uso.

Resistencia y Contracción

La resistencia del agregado raramente se ensaya y, generalmente, no influye en la resistencia del concreto convencional tanto cuanto la resistencia de la pasta y de la adherencia pasta-agregado. Sin embargo, la resistencia del agregado se vuelve importante en el concreto de alta resistencia. Los niveles de esfuerzos (tensiones) en el agregado son, frecuentemente, mucho mayores que el esfuerzo promedio en toda la sección del concreto. Las resistencias a tensión (tracción) de los agregados varían de 20 a 150 kg/cm² o de 2 a 15 MPa (300 a 2300

lb/pulg²) y la resistencia a compresión varía de 660 a 2750 kg/cm² o de 65 a 270 MPa (10,000 a 40,000 lb/pulg²). La resistencia se puede medir de acuerdo con la ASTM C 170. Los diferentes tipos de agregados tienen compresibilidad, módulo de elasticidad, propiedades de contracción relacionadas con humedades diferentes que pueden afectar las mismas propiedades del concreto. Los agregados con absorción elevada pueden tener alta contracción por secado. Los agregados de cuarzo y feldespato, además de calizas, dolomitas y granitos, se consideran como agregados de baja contracción, mientras que los agregados con arenisca, pizarra, hornblenda y grauwaca frecuentemente están asociados con una alta contracción del concreto (Fig. 3-10).

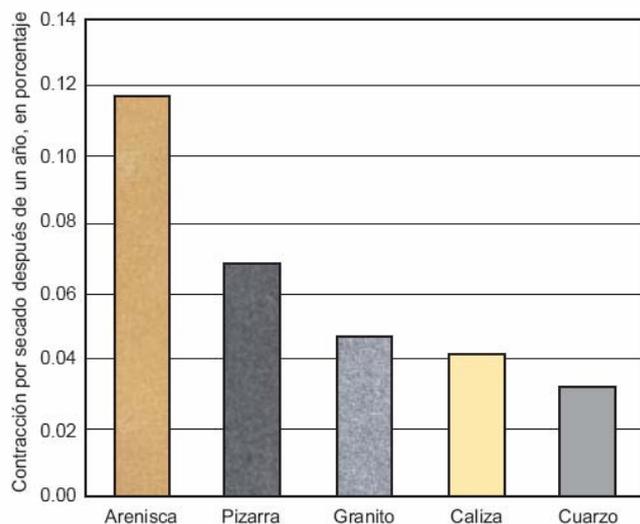


Fig. 3-10. Concretos conteniendo arenisca o pizarra presentan alta contracción. Granito, calizas y cuarzo son agregados que producen concretos con baja contracción

Resistencia a Ácidos y Otras Sustancias Corrosivas

El concreto de cemento portland es durable en la mayoría de los ambientes naturales, pero, sin embargo, el concreto se puede exponer ocasionalmente a sustancias que lo atacarán.

La mayoría de las soluciones ácidas se desintegran lenta o rápidamente en concreto de cemento portland, dependiendo del tipo y la concentración del ácido. Ciertos ácidos, tales como el ácido oxálico, son inofensivos. Las soluciones débiles de algunos ácidos tienen efectos insignificantes. A pesar de que normalmente los ácidos atacan y lixivian los compuestos de calcio de la pasta de cemento, pueden no atacar fácilmente ciertos agregados, como los agregados silíceos. Los agregados calcáreos frecuentemente reaccionan rápidamente con los ácidos. Sin embargo, el efecto de sacrificio del agregado calcáreo es normalmente benéfico comparándose con el agregado silíceo en un ambiente de exposición a ácidos suaves o en áreas donde no haya agua fluyendo. Con los agregados calcáreos, el ácido ataca uniformemente toda la superficie expuesta del concreto, reduciendo la tasa de ataque de la pasta y previniendo la pérdida de las partículas de agregados en la superficie. Los agregados calcáreos también tienden a neutralizar al ácido, especialmente en sitios estancados. Los ácidos también pueden decolorar el concreto. Se deben evitar los agregados silíceos cuando soluciones fuertes de hidróxido de sodio estén presentes, pues estas soluciones atacan este tipo de agregado. La lluvia ácida (frecuentemente con pH de 4 a 4.5) puede marcar levemente la superficie del concreto, normalmente sin afectar el desempeño de las estructuras de concreto expuestas. La lluvia extremadamente ácida o condiciones con agua muy ácida pueden justificar diseños o precauciones especiales para el concreto, especialmente en áreas sumergidas. El abastecimiento continuo de ácido con pH de menos de 4, como ocurre en tuberías, se considera altamente agresivo y suficiente para quemar el concreto. El concreto continuamente expuesto a líquidos con pH menor que 3 se debe proteger de manera similar al concreto expuesto a soluciones ácidas diluidas (ACI 515.1R).

Las aguas naturales normalmente tienen un pH mayor que 7 y raramente menor que 6. Las aguas con pH mayor que 6.5 pueden ser agresivas si contienen bicarbonatos. Las soluciones de ácido carbónico con concentraciones entre 0.9 y 3 partes por millón se consideran destructivas para el concreto. Una relación agua-cemento baja, baja permeabilidad y un contenido de cemento de bajo a moderado pueden aumentar la resistencia a ácidos o la resistencia a corrosión del concreto. Una baja permeabilidad que resulte de una baja relación

agua-cemento o el uso de humo de sílice u otras puzolanas, ayudan a evitar la penetración del agente corrosivo en el concreto. El contenido de cemento de bajo a moderado resulta en menos pasta susceptible al ataque. El uso de agregados calcáreos de sacrificio se debe considerar donde sea necesario.

Ciertos ácidos, gases, sales y otras sustancias que no se mencionaron aquí también pueden desintegrar el concreto. Se debe evitar el contacto del concreto con ácidos y otros productos químicos que atacan severamente el concreto a través de recubrimientos de protección.

Reactividad Álcali-Agregado

Los agregados que contienen ciertos constituyentes pueden reaccionar con los hidróxidos alcalinos en el concreto. La reactividad es potencialmente perjudicial sólo cuando produce una expansión significativa. Esta reactividad álcali-agregado (RAA) se presenta en dos formas reacción álcali-sílice (RAS) y reacción álcali-carbonato (RAC). La RAS es más preocupante que la RAC porque la ocurrencia de agregados que contienen minerales reactivos de sílice es más común. Los agregados de carbonatos reactivos de álcalis tienen una composición específica que no es muy común. La reactividad álcali-sílice se ha reconocido como una fuente potencial de deterioro desde finales de los años 30. A pesar de que existan agregados reactivos en toda América Latina y EE.UU., la ocurrencia de RAS no es tan común. Existen muchas razones para esto:

- La mayoría de los agregados son estables en concreto de cemento hidráulico.
- Agregados con buenos registros de servicio son abundantes en muchas áreas.
- La mayoría de los concretos en servicio están suficientemente secos para inhibir RAS.
- En muchas mezclas de concreto, el contenido de álcalis del concreto es suficientemente bajo para controlar la RAS.
- Algunas formas de RAS no producen expansión nociva significativa.

Para reducir el potencial de la RAS se hace necesario entender su mecanismo, usar adecuadamente los ensayos para identificar los agregados potencialmente reactivos y, si es necesario, tomar precauciones para minimizar el potencial de expansión y el agrietamiento resultante.

Beneficio De Agregados

El procesamiento del agregado consiste en: (1) procesamiento básico - trituración, tamizado y lavado - para obtener la granulometría y la limpieza adecuadas y (2) beneficio - mejoramiento de la calidad a través de métodos de procesamiento, tales como separación en un medio pesado, tamizado con agua, clasificación por corriente ascendente y trituración. En la separación en medio pesado, los agregados pasan a través de un líquido pesado compuesto de minerales pesados finamente granulados y agua, proporcionado para tener una masa específica relativa (densidad relativa) menor que las partículas de agregado deseadas pero mayor que las partículas dañinas. Las partículas más pesadas se hunden en el fondo mientras que las partículas más livianas flotan en la superficie. Este proceso se puede usar cuando las partículas aceptables y las dañinas tienen masas específicas relativas muy diferentes. El tamizado separa las partículas con pequeñas diferencias de masa específica pulsando una corriente de agua. Las pulsaciones de agua hacia arriba a través de un tamiz (una caja con el fondo perforado) mueven el material más ligero para formar una capa sobre el material más pesado. Entonces, se remueve la capa de arriba. La clasificación por corriente ascendente separa las partículas con grandes diferencias de masa específica. Los materiales ligeros, como la madera y el lignito, flotan en una rápida corriente ascendente de agua. La trituración también se usa para remover las partículas blandas y desmenuzables de los agregados gruesos. Este proceso es, algunas veces, el único medio para lograr la utilización de este material. Infelizmente, en cualquier proceso, parte del material aceptable algunas veces se pierde y la remoción de las partículas dañinas puede ser difícil y costosa.

Manejo Y Almacenamiento De Agregados

Los agregados se deben manejar y almacenar de manera que se minimicen la segregación y la degradación y que se prevenga la contaminación con sustancias deletéreas (Fig. 3-11). Las pilas se deben construir en capas delgadas de espesor uniforme para minimizar la segregación. El método más económico y aceptable de formación de pilas de agregados es el método de volteo con camión, que descarga el material de manera que no se lo separe.

Entonces, se recupera el agregado con un cargador frontal. El cargador debe remover porciones de los bordes de la pila desde la parte inferior hacia la parte superior, de manera que cada porción contenga una parte de cada capa horizontal. Cuando no se entregan los agregados en camiones, se pueden obtener resultados aceptables y económicos con la formación de pilas en capas con un cucharón de quijadas (método de tirar y extender). En el caso de agregados no sujetos a degradación, se pueden tender los agregados con un tractor de neumático (llantas) de caucho y recuperar con un cargador frontal. Al tender el material en capas finas, la segregación se minimiza. Sea el manejo con camión, con cargador, con cucharón de quijadas o estera (banda) transportadora, no se deben construir pilas altas en forma de cono, pues resultan en segregación. Sin embargo, si las circunstancias demandan la construcción de pilas cónicas, o si las pilas se han segregado, las variaciones de la granulometría se pueden disminuir cuando se recupera la pila.



Fig. 3-11. Pila de agregados en una planta de concreto premezclado

En estos casos, los agregados se deben cargar con un movimiento continuo alrededor de la pila para que se mezclen los tamaños, en vez de comenzar en un lado y trabajar en línea recta a través de la pila. Los agregados triturados segregan menos que los agregados redondeados (grava) y los agregados mayores segregan más que los agregados menores. Para evitar la segregación del agregado grueso, las fracciones de tamaño se pueden amontonar y dosificar separadamente. Sin embargo, los procedimientos de amontonamiento adecuados, deben eliminar esta necesidad. Las especificaciones ofrecen un rango de las cantidades permitidas de material en cada fracción debido a la segregación en las operaciones de amontonamiento y dosificación. Los agregados que han sido lavados se deben amontonar con anticipación suficiente para que se drenen, hasta una humedad uniforme, antes de su uso. El material fino húmedo tiene una tendencia menor para segregar que el material seco. Cuando el agregado fino seco se descarga en los cubos o esteras (bandas) transportadoras, el viento puede llevarse los finos. Esto se debe evitar al máximo. Las mamparas o las divisiones se deben usar para evitar la contaminación de las pilas de agregados. Las divisiones entre las pilas deben ser suficientemente altas para prevenir el mezclado de los materiales. Los depósitos de almacenamiento deben ser circulares o casi cuadrados. Su fondo debe tener una inclinación mayor que 50 grados con la horizontal en todos los lados hasta un escurridor central. Al cargarse el depósito, el material debe caer verticalmente sobre el escurridor dentro del depósito. El vaciado del material dentro del depósito en un ángulo y contra los lados del depósito causará segregación. Las placas de desviación o divisores ayudarán a minimizar la segregación. El depósito se debe mantener lleno si es posible, pues reduce la rotura de las partículas de agregados y la tendencia de segregación.

Aditivos Para Concreto



Fig. 3-12. Aditivos líquidos, de la izquierda hacia la derecha: aditivo antideslave, reductor de retracción, reductor de agua, agente espumante, inhibidor de corrosión y incorporador de agua

Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto que, además del cemento portland, del agua y de los agregados, se adicionan a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado (Fig. 3-12). Los aditivos se pueden clasificar según sus funciones, como sigue:

1. Aditivos incorporadores de aire (inclusores de aire)
2. Aditivos reductores de agua

3. Plastificantes (fluidificantes)
4. Aditivos aceleradores (acelerantes)
5. Aditivos retardadores (retardantes)
6. Aditivos de control de la hidratación
7. Inhibidores de corrosión
8. Reductores de retracción
9. Inhibidores de reacción álcali-agregado
10. Aditivos colorantes
11. Aditivos diversos, tales como aditivos para mejorar la trabajabilidad (manejabilidad), para mejorar la adherencia, a prueba de humedad, impermeabilizantes, para lechadas, formadores de gas, anti-deslave, espumante y auxiliares de bombeo.

La Tabla muestra una clasificación mucho más amplia de los aditivos. El concreto debe ser trabajable, fácilmente acabado, fuerte, durable, estanco y resistente al desgaste. Estas calidades se las puede obtener fácil y económicamente con la selección de los materiales adecuados, preferiblemente al uso de aditivos (a excepción de los inclusores de aire cuando son necesarios).

Las razones principales para el uso de aditivos son:

1. Reducción del costo de la construcción de concreto;
2. Obtención de ciertas propiedades en el concreto de manera más efectiva que otras;
3. Manutención de la calidad del concreto durante las etapas de mezclado, transporte, colado (colocación) y curado en condiciones de clima adverso;
4. Superación de ciertas emergencias durante las operaciones de mezclado, transporte, colocación y curado; A pesar de estas consideraciones, se debe observar que ningún aditivo de cualquier tipo o en cualquier cantidad se lo puede considerar como un sustituto de las buenas prácticas de construcción.

La eficiencia de un aditivo depende de factores tales como: tipo, marca y cantidad del material cementante; contenido de agua; forma, granulometría y proporción de los agregados; tiempo de mezclado y temperatura del concreto. Los aditivos para uso en concreto deben cumplir con las

especificaciones, como se presenta en la Tabla. Las mezclas que se van a ensayar, se las deben producir con los aditivos y materiales usados en la obra en la temperatura y humedad prevista para la obra. De esta manera, se puede observar la compatibilidad de los aditivos y de los materiales de la obra, bien como los efectos de los aditivos sobre las propiedades del concreto endurecido. Se debe usar la cantidad de aditivo recomendada por el fabricante o la cantidad óptima determinada por los ensayos de laboratorio.

Tabla 3-5. Aditivos de Concreto Según su Clasificación

Tipo de Aditivo y Normas	Efecto Deseado	Material
Acelerador	Acelerar el tiempo de fraguado y el desarrollo de la resistencia temprana	Cloruro de calcio, (ASTM D 98 and AASHTO M 144) trietanolamina, tiocianato de sodio, formiato de calcio nitrato de calcio, nitrato de calcio
ASTM C 494, AASHTO M 194 (tipo C), COVENIN 0356, IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NMX-C-255, NMX-C-356, NTC 1299 (tipo C), NTP 334.088		
Adherencia	Aumentar la resistencia de adherencia	Cloruro polivinilo, acetato polivinilo, acrílicos, copolímeros de butadienoestireno
Aditivo para Lechada	Ajustar las propiedades de la lechada para aplicaciones específicas	Consulte los aditivos Incluidores de aire, aceleradores, retardadores y reductores de agua
Agente Espumante	Producir concreto ligero y concreto celular con baja densidad	Surfactantes catiónicos o aniónicos Proteína hidrolizada
Anti-deslave	Aumentar la cohesión del concreto para su colocación bajo agua	Celulosa, polímero acrílico
A Prueba de Humedad	Retrasar la penetración de humedad en el concreto seco	Jabones de estearato de calcio o amonio u oleato Estearato butilo Productos de petróleo
Auxiliar de bombeo	Mejorar las condiciones de bombeo	Polímeros orgánicos y sintéticos Floculantes orgánicos Emulsiones orgánicas de parafina, alquitrán, asfalto, acrílicos Bentonita y sílice pirogénica Cal hidratada (ASTM C 141)
Colorante	Producir concreto coloreado	Negro de humo modificado, óxido férrico, tierra de sombra, óxido de cromo, óxido de titanio y azul cobalto
ASTM C 979, NMX-C 313, NTC 3760		
Control de Hidratación	Suspender y reactivar la hidratación del cemento con un estabilizador y un activador	Ácidos carboxílicos Sales de ácidos orgánicos conteniendo fósforo
Formador de gas	Causar expansión antes del fraguado	Poivo de aluminio
Fungicida, germicida e Insecticida	Inhibir o controlar el crecimiento de bacterias y hongos	Fenoles polihalogenados Emulsiones de dieldrin Compuestos de cobre
Impermeabilizantes	Disminuir la permeabilidad	Látex Estearato de calcio
Incluidores (Incorporador) de Aire	Mejorar la durabilidad en los ambientes sujetos a congelación-deshielo, sales, sulfatos y ambientes alcali reactivos Mejorar la durabilidad	Sales de resinas de madera (resina viscol) Algunos detergentes sintéticos Sales de lignina sulfonada Sales de ácidos de petróleo Sales de material protáico Ácidos grasos y resinosos y sus sales Sulfonatos de alquilbenceno Sales de hidrocarburos sulfonados
ASTM C 260, AASHTO M 154, COVENIN 0357, IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NGO 41069, NMX-C-200, NTC 3502, NTP 334.089, NGO 41016		
Inhibidor de reacción álcali-agregado	Reducir la expansión por reactividad álcali-agregado	Sales de bario, nitrato de litio, carbonato de litio, hidróxido de litio
Inhibidor de Corrosión	Reducir la corrosión del acero en ambientes con alta concentración de cloruros	Nitrato de calcio, nitrato de sodio, benzoato de sodio, ciertos fosfatos y fluosilicatos, fluoaluminatos, esteramina
Purgador de aire (reductor de aire)	Disminuir el contenido de aire	Fosfato tributilo, fosfato dibutilo, alcohol octilo, ésteres insolubles en ácidos carbónico y bórico, silicatos
Reductor de agua	Reducir en hasta 5% el contenido de agua	Lignosulfonatos Ácido carboxílico hidroxilato Carbohidratos (también tienden a retardar el fraguado, entonces normalmente se añade un acelerador)
ASTM C 494, AASHTO M 194 (tipo A), COVENIN 0356, IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NMX-C-255, NTC 1299, NTP 334.088		

Tipo de Aditivo y Normas	Efecto Deseado	Material
Reductor de agua y acelerador	Reducir en hasta 5% el contenido de agua y acelerar el fraguado	Véase reductor de agua (se añade acelerador)
ASTM C 494, AASHTO M 194 (tipo E), COVENIN 0356, IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NMX-C-255, NTC 1299, NTP 334.088		
Reductor de agua y retardador	Reducir en hasta 5% el contenido de agua y retardar el fraguado	Véase reductor de agua (se añade retardador)
ASTM C 494, AASHTO M 194 (tipo D), COVENIN 0356, IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NMX-C-255, NTC 1299, NTP 334.088		
Reductor de agua de alto rango	Reducir en hasta 12% el contenido de agua	Véanse superplastificantes
ASTM C 494, AASHTO M 194 (tipo F), COVENIN 0356, IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NTC 1299, NTP 334.088,		
Reductor de agua de alto rango y retardador	Reducir en hasta 12% el contenido de agua y retardar el fraguado	Véanse superplastificantes y reductores de agua
ASTM C 494, AASHTO M 194 (tipo G), COVENIN 0356, IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NTC 1299, NTP 334.088		
Reductor de agua de medio rango	Reducir el contenido de agua de 6% a 12% sin retardo del fraguado	Lignosulfonatos Policarboxilatos
Reductor de contracción	Disminuir la contracción por secado	Éter alkil polioxiálkileno Propileno glicol
Retardador	Retardar el tiempo de fraguado	Lignina Bórax Azúcares Ácido tartárico y sales
ASTM C 494, AASHTO M 194 (tipo B), COVENIN 0356, IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NMX-C-255, NTC 1299 (tipo B), NTP 334.088		
Superplastificante	Aumentar la fluidez del concreto Disminuir la relación agua-cemento	Formaldehido condensado de melamina sulfonato Formaldehido condensado de naftaleno sulfónico Lignosulfonatos Policarboxilatos
ASTM C 1017 (tipo 1), IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NTC 4023 (tipo F), NTP 334.088		
Superplastificante y Retardador	Aumentar la fluidez del concreto con tiempo de fraguado retardado Disminuir la relación agua-cemento	Véanse superplastificantes y reductores de agua
ASTM C 1017 (tipo 2), IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NTC 4023 (tipo G)		

Aditivos Incluidores De Aire

Los aditivos incluidores de aire (incorporadores de aire) se usan para introducir y estabilizar, de propósito, burbujas microscópicas de aire en el concreto. El incluidor de aire mejora considerablemente la durabilidad de concretos expuestos a ciclos de congelación-deshielo (hielo-deshielo) (Fig. 3-13). El aire incorporado mejora la resistencia del concreto al descascaramiento de la superficie causado por el uso de productos descongelantes (anticongelantes) (Fig.3-14). Además, también se mejora la trabajabilidad del concreto fresco y se reducen o eliminan tanto la segregación como el sangrado (exudación). El concreto con aire incluido contiene diminutas burbujas de aire distribuidas uniformemente por toda la pasta de cemento. Se puede producir el aire incorporado en el concreto a través del uso de cemento con incluidor de aire, de aditivos incluidores de aire o de la combinación de ambos métodos. Un cemento con incluidor de aire es un cemento portland con adiciones de incluidor de aire, las cuales se muelen conjuntamente con el clínker durante la fabricación del cemento. Por otro lado, el aditivo incorporador de aire se lo adiciona directamente a los materiales del concreto antes o durante el mezclado. Los incluidores de aire usados en la producción del cemento con incluidor de aire deben cumplir con las normas correspondientes.



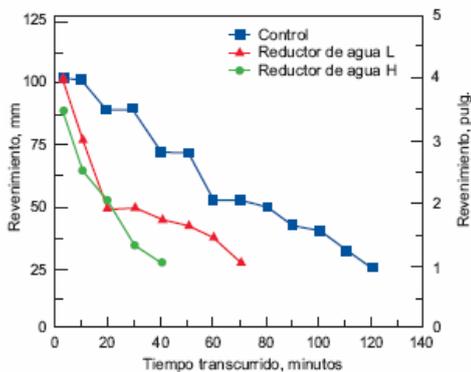
Fig. 3-13. Daños causados por la congelación (fragmentación) en la juntas de un pavimento (superior), fisuración por congelación inducida cerca de las juntas (inferior) y ampliación de la vista de las fisuras (foto menor, en la parte interna).



Fig. 3-14. Descascaramiento del concreto resultante de una carencia de aire incorporado, uso de descongelantes y prácticas inadecuadas de acabado y curado.

Aditivos Reductores De Agua

Los aditivos reductores de agua se usan para disminuir la cantidad de agua de mezcla necesaria para la producción de un concreto con un revenimiento (asentamiento) específico, para reducir la relación agua-cemento, para disminuir el contenido de cemento y para aumentar el revenimiento. Los reductores de agua típicos disminuyen el contenido de agua aproximadamente del 5% al 10%. La adición al concreto del aditivo reductor de agua sin la reducción del contenido de agua puede producir una mezcla con mayor revenimiento. Sin embargo, la tasa de pérdida de revenimiento no se disminuye y en algunos casos se aumenta (Fig. 3-15). La pérdida rápida de revenimiento resulta en reducción de la trabajabilidad y en menos tiempo para la colocación del concreto. Con los aditivos reductores de agua normalmente se obtiene un aumento de la resistencia porque se disminuye la relación agua-cemento. En concretos con los mismos contenidos de cemento y de aire y revenimiento (asentamiento), la resistencia a los 28 días de un concreto conteniendo un reductor de agua (y reducción de la cantidad de agua) puede ser del 10% al 25% mayor que la resistencia de un concreto sin aditivo. A pesar de la reducción del contenido de agua, los aditivos reductores de agua pueden aumentar la retracción por secado (contracción por desecación). Normalmente, el efecto del aditivo reductor de agua sobre la contracción (retracción) por secado es pequeño si lo comparamos a otros factores más significativos que causan la fisuración (agrietamiento) por contracción en concreto. El uso de reductores de agua para la disminución del contenido de cemento y de agua, manteniéndose la misma relación agua-cemento, puede resultar en una resistencia a compresión igual o menor y puede aumentar la pérdida de revenimiento (asentamiento) en dos o más veces. Los reductores de agua disminuyen, aumentan o no tienen ningún efecto sobre el sangrado (exudación), dependiendo de su composición química. La disminución del sangrado (exudación) puede dificultar las operaciones de acabado de superficies planas cuando las condiciones de secado son rápidas. Los aditivos reductores de agua se pueden modificar para ofrecer varios grados de retraso, mientras que otros no afectan considerablemente el tiempo de fraguado. Por ejemplo, el aditivo tipo A de la ASTM C 494 (AASHTO M 194) puede tener un pequeño efecto sobre el tiempo de fraguado, el tipo E lo acelera y el tipo D normalmente lo retarda de 1 a 3 horas (Fig. 3-16). Algunos aditivos reductores de agua también pueden incorporar aire. Los aditivos a base de lignina pueden aumentar el contenido de aire en 1% a 2%. Los concretos con



reductores de agua habitualmente tienen buena retención de aire (Tabla 3-6). La eficiencia de los reductores de agua es función de su composición química, de la temperatura del concreto, de la finura y composición del cemento, del contenido de cemento y de la presencia de otros aditivos. La clasificación y los componentes de los reductores de agua se presentan en la Tabla 3-4. Para más información sobre los efectos de los reductores de agua sobre las propiedades del concreto.

Fig. 3-15. Pérdida de revenimiento a 23°C (73°F) en concretos conteniendo reductores de agua

convencionales (ASTM C 494 y AASHTO M 194 Tipo D) comparados con mezclas de control

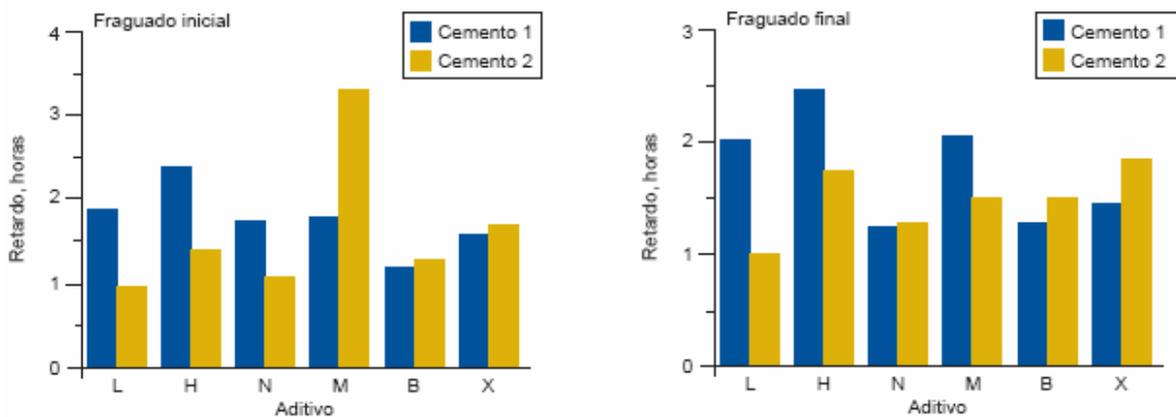


Fig. 3-16. Retraso del fraguado en mezclas con aditivo reductor de agua con relación a la mezcla de control. Los concretos L y H contienen reductores de agua convencionales y los concretos N, M, B y X contienen reductores de agua de alto rango.

Tabla 3-6. Pérdida de Aire en Mezclas de Concreto con Reducido Contenido de Cemento

Mezcla	Contenido de aire inicial %*	Contenido de aire final†	Porcentaje de aire retenida	Tasa de pérdida de aire, %/minuto
C Control	5.4	3.0	56	0.020
L Reductor	7.0	4.7	67	0.038
H agua	6.2	4.6	74	0.040
N Reductor	6.8	4.8	71	0.040
M agua	6.4	3.8	59	0.065
B alto	6.8	5.6	82	0.048
X rango	6.6	5.0	76	0.027

* Representa el contenido de aire medido después de la adición del aditivo.

† Representa el contenido de aire medido cuando el revenimiento disminuye para menos de 25 mm (1 pulg.)

Whiting y Dziedzic, 1992.

Superplastificantes Para Concretos Fluidos

Los aditivos superplastificantes (superfluidificantes, superfluidizantes) son aditivos reductores de agua de alto rango que obedecen las normas en la Tabla 3-5. En algunos países, tales como EE.UU., México y Ecuador, se puede usar el término plastificante como sinónimo del término superplastificante. Pero, en países tales como Argentina, Chile, y Ecuador el término superplastificante se refiere a los reductores de agua de alto rango, mientras que el término plastificante (fluidificante) se refiere a los reductores de agua convencionales y por lo tanto, en estos casos, los términos superplastificante y plastificante no se pueden usar como sinónimos. En este texto, se empleará el término superplastificante sólo para designar los reductores de agua de alto rango. Estos aditivos se adicionan al concreto de revenimiento y relación agua-cemento de bajo a normal para producir un concreto fluido, con alto revenimiento (asentamiento) (Fig.3-16). El concreto fluido o plástico es un concreto con consistencia bien fluida, pero trabajable, y que se puede colocar con poca o ninguna vibración o compactación mientras que se lo mantiene prácticamente libre de sangrado (exudación) o segregación excesivas. Algunas aplicaciones para el concreto fluido son: (1) colado de concreto en secciones muy delgadas (Fig. 3-17), (2) áreas con poco espaciamiento del acero (refuerzo) de refuerzo, (3) colado bajo el agua, (4) concreto bombeado, para reducir la presión de bombeo, (5) áreas donde no se pueden usar los métodos convencionales de consolidación y (6) para la reducción de los costos de manejo. La adición de los superplastificantes en concretos con revenimiento de 75 mm (3 pulg.) permite que se produzca un concreto con revenimiento de 230 mm (9 pulg.). El concreto fluido se define por la ASTM C 1017 como un concreto que tiene un revenimiento mayor que 190 mm (7 1/2 pulg.), pero todavía mantiene sus propiedades cohesivas.



Fig. 3-16. El concreto fluido con alto revenimiento (superior) se coloca fácilmente (medio), incluso en áreas con alta congestión de armadura (inferior).



Fig. 3-17. El concreto fluido con plastificantes se coloca fácilmente en secciones delgadas, tales como este revestimiento unido que no es más espeso que 1 1/2 diámetro de una moneda de cuarto de dólar (aproximadamente 4 cm).



Aditivos Retardadores

Los aditivos retardadores (retardantes) se usan para retrasar la tasa de fraguado del concreto. Pero hay otras maneras de hacerlo. Uno de los métodos más prácticos es la reducción de la temperatura del concreto a través del enfriamiento del agua de la mezcla y/o de los agregados.

Esto porque las temperaturas elevadas del concreto fresco (30°C [86°F]) normalmente son la causa del aumento de la tasa de endurecimiento, que torna la colocación y el acabado del concreto más difíciles. Los retardadores no disminuyen la temperatura inicial del concreto, en cambio aumentan la tasa de sangrado (exudación) y la capacidad de sangrado del concreto.

Los aditivos retardadores son muy útiles para extender el tiempo de fraguado del concreto, pero también se usan para disminuir la pérdida de revenimiento y extender la trabajabilidad, especialmente antes de la colocación del concreto en ambientes con altas temperaturas.

El error de este enfoque se enseña en la Figura 3-18, donde la adición del retardador resultó en un aumento de la tasa de pérdida de revenimiento comparativamente con los concretos de control. Los retardadores algunas veces se usan para: (1) compensar el efecto acelerador de la temperatura sobre el fraguado del concreto; (2) retardar el fraguado inicial del concreto o de la lechada cuando ocurren condiciones de colocación difíciles o poco usuales, tales como el colado del concreto en pilares o cimentaciones de gran tamaño, la cementación de pozos de petróleo o el bombeo de concreto o lechadas a grandes distancias o, (3) retrasar el fraguado para la ejecución de técnicas de acabado especiales, tales como superficies con agregados expuestos.

Aditivos De Control De La Hidratación

Los aditivos de control de la hidratación se tornaron disponibles al final de los años 80. Consisten en un sistema químico de dos partes: (1) un estabilizador o retardador que básicamente detiene la hidratación de los materiales cementantes y (2) un activador que, cuando es adicionado al concreto estabilizado, reestablece la hidratación y el fraguado normales. El estabilizador puede suspender la hidratación por 72 horas y el activador se adiciona al concreto poco antes de que se lo use. Estos aditivos pueden suspender el fraguado por toda la noche, posibilitando la reutilización de concretos retornados al camión de concreto premezclado. Este aditivo también es útil en la mantención del concreto estabilizado, sin endurecer, durante el transporte por largos periodos. En este caso, se reactiva el concreto cuando llega a la obra. Este aditivo actualmente no tiene una norma de especificación.

Aditivos Aceleradores

Los aditivos aceleradores (acelerantes) se usan para acelerar la tasa de hidratación (fraguado) y el desarrollo de la resistencia del concreto en edades tempranas. El desarrollo de la resistencia del concreto también se puede acelerar por otros métodos: (1) usando el cemento de alta resistencia inicial, (2) bajando la relación agua-cemento, a través de la adición de 60

a 120 kg/m³ (100 a 200 lb/yd³) de cemento, (3) usando un reductor de agua o (4) curando el concreto a altas temperaturas. El uso difundido de los aceleradores a base de cloruro de calcio ha proporcionado muchos datos y experiencia sobre su efecto sobre las propiedades del concreto. Además de acelerar el desarrollo de resistencia, el cloruro de calcio promueve un aumento de la contracción por secado, corrosión potencial de la armadura, decoloración y un aumento del potencial de descascaramiento.

El cloruro de calcio no es un agente anticongelante. Si es usado en las cantidades permitidas, el cloruro de calcio no va a reducir el punto de congelación del concreto más que unos pocos grados. Cuando es usado, el cloruro de calcio se debe añadir al concreto en la forma de solución, como parte del agua de mezcla. Si es adicionado en la forma de hojuelas secas, ni todas las partículas secas se van a disolver durante el mezclado. Los terrones no disueltos pueden causar reventones, descascarillamiento o manchas oscuras en el concreto endurecido. La cantidad de cloruro de calcio adicionada al concreto no debe ser mayor que la necesaria para la producción de los efectos deseados y nunca mayor que 2% de la masa del material cementante. Se recomienda prudencia en el uso de cloruro de calcio en las siguientes condiciones:

1. Concretos sujetos al curado a vapor
2. Concretos que tengan metales distintos inmersos, principalmente si estuvieren conectados a la armadura de refuerzo
3. Losas de concreto soportadas por cimbras (encofrados) permanentes de acero galvanizado
4. Concretos coloridos

No se deben usar cloruros de calcio o aditivos conteniendo cloruros solubles en los siguientes casos:

1. Construcción de estacionamientos
2. En concreto pretensado debido al riesgo de la corrosión del acero
3. En concreto con aluminio inmerso (por ejemplo tuboconductos), pues puede ocurrir corrosión severa del aluminio, especialmente si el aluminio está en contacto con la armadura inmersa de acero y el concreto está en un ambiente húmedo
4. En concreto que contenga agregados que, bajo las condiciones de ensayos normalizados, se han mostrado potencialmente reactivos
5. En concreto expuesto a suelos o agua que contengan sulfatos
6. En losas de pisos que se van a acabar en seco con llanas (fratas, flotas) metálicas
7. Durante el clima caluroso en general
8. En la colocación de concretos masivos

Inhibidores De Corrosión

Los inhibidores de corrosión se usan en concreto de estructuras de estacionamientos, estructuras marinas y puentes donde las sales de cloruro estén presentes (Fig. 3-18). Los óxidos ferrosos, aunque estables en el ambiente alcalino del concreto, reaccionan con los cloruros para formar complejos que se alejan del acero para formar polvo. Los iones cloruro continúan a atacar el acero hasta que la capa de óxidos pasivadora se destruya. Los aditivos inhibidores de la corrosión detienen químicamente la reacción de corrosión. Los aditivos inhibidores de corrosión comercialmente disponibles incluyen: nitrito de calcio, nitrito de sodio, etanolamina dimetil, aminas, fosfatos y esteraminas. Los inhibidores anódicos, tales como los nitritos, bloquean la reacción de corrosión y estabilizan la película pasivadora de protección del acero. Esta película de óxido férrico se crea por el ambiente de pH alto en el concreto. Los iones nitrito ayudan a estabilizar los óxidos férricos. En realidad, se previene la penetración de los iones cloruro en la película pasivadora y su contacto con el acero. Una cierta cantidad de nitrito puede detener la corrosión hasta un cierto nivel de iones cloruro. Por lo tanto, el aumento en los niveles de iones cloruro requiere un aumento en los niveles de nitritos para paralizar la corrosión.

Los inhibidores catódicos reaccionan con la superficie del acero para interferir en la reducción del oxígeno. Esta reducción es la principal reacción catódica en ambientes alcalinos.

Fig. 3-18. Los daños en esta estructura de estacionamiento en concreto son resultado de la corrosión de la armadura, inducida por cloruros.



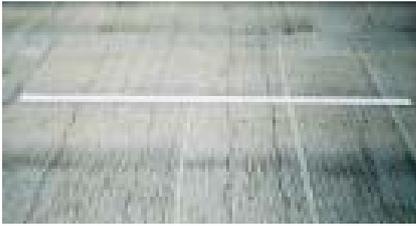


Fig. 3-19. Fisuras por contracción, tales como las enseñadas en este tablero de puente, se pueden reducir con prácticas adecuadas de colocación, acabado y curado de concreto y con el uso de aditivos reductores de contracción.

Aditivos Reductores De Contracción (Retracción)

Los aditivos reductores de contracción (retracción), introducidos en el mercado en los años 80, tienen su uso potencial en tableros de puentes, losas de pisos críticos y edificios donde se deban minimizar las fisuras (grietas) y la deformación por razones de durabilidad y estéticas (Fig. 3-19). El éter alquil polioxiálqueno y el propileno glicol se usan como reductores de contracción. Ensayos en laboratorio han mostrado reducciones de la contracción por secado entre 25% y 50%. Estos aditivos tienen efectos insignificantes sobre el revenimiento (asentamiento) y la pérdida de aire, pero pueden retardar el fraguado

Aditivos Químicos Para La Reducción De La Reactividad Álcali-Agregado (Inhibidores De Ras)

Los aditivos químicos para el control de la reactividad álcali-agregado (expansión álcali-agregado) se introdujeron en el mercado en los años 90 (Fig. 3-20). Nitrito de litio, carbonato de litio, hidróxido de litio, silicato de aluminio y litio (espodumenio calcinado) y sales de bario han reducido la reacción álcali-sílice (RAS) en ensayos de laboratorio. Algunos de estos materiales tienen su uso potencial como aditivos para cemento. Hay poca experiencia de campo disponible sobre la eficiencia de estos materiales.

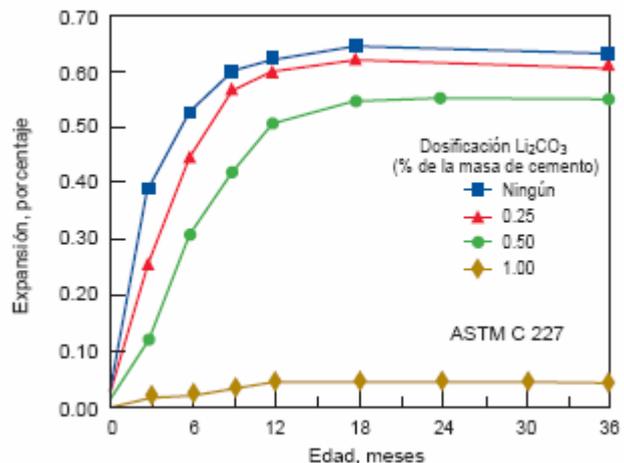


Fig. 3-20. Expansión de probetas producidas con aditivos de carbonato de litio

Aditivos Colorantes

Se usan materiales naturales y sintéticos para colorear el concreto sea por razones estéticas, sea por seguridad (Fig. 3-21). El color rojo se usa alrededor de líneas eléctricas subterráneas o líneas de gas como una advertencia a cualquier persona cerca de las instalaciones. El concreto amarillo se usa en las guías de seguridad en los pavimentos. Generalmente, la cantidad de pigmentos usada en concreto no debe exceder 10% de la masa del cemento. Los pigmentos usados en cantidades inferiores a 6% no afectan las propiedades del concreto. El negro de humo no modificado reduce significativamente el contenido de aire. La mayoría de los negros de humo para la coloración del concreto contiene un aditivo para compensar este efecto sobre el aire. Antes de usar el aditivo colorante en un proyecto, se debe ensayar su estabilidad bajo la luz del sol y autoclave, su estabilidad química en cemento y su efecto sobre las propiedades del concreto. No se debe usar el cloruro de calcio con pigmento para que se eviten distorsiones del color. Los pigmentos deben estar de acuerdo con las normas ASTM C 979 y NMXC 313.



Fig. 3-21. Se emplearon pigmentos rojos y azules para colorear este piso de terrazo

Aditivos A Prueba De Agua

El pasaje del agua a través del concreto normalmente es una evidencia de la existencia de fisuras o de áreas con consolidación incompleta. El concreto sano y denso, producido con relación agua-cemento menor que 0.50 es estanco si es adecuadamente colado (colocado) y curado. Los aditivos conocidos como agentes a prueba de agua incluyen ciertos jabones, estearatos y productos del petróleo. Pueden reducir, pero generalmente no lo hacen, la permeabilidad del concreto con bajo contenido de cemento, alta relación agua-cemento o deficiencia de finos en los agregados. Su empleo en mezclas bien proporcionadas puede aumentar el agua necesaria y, en realidad, resulta en un aumento de la permeabilidad. Los aditivos a prueba de agua se usan, a veces, para reducir la transmisión de humedad a través del concreto que esté en contacto con el agua o con el suelo húmedo. Muchos de los llamados aditivos a prueba de agua no son eficientes, especialmente cuando son usados en concretos en contacto con agua bajo presión.

Aditivos Impermeabilizantes

Los aditivos impermeabilizantes reducen la tasa en la cual el agua bajo presión se transmite a través del concreto. Uno de los mejores métodos para disminuir la permeabilidad del concreto consiste en el aumento del tiempo de curado húmedo y la reducción de la relación agua-cemento para menos de 0.50. La mayoría de los aditivos que reducen la relación agua-cemento, como consecuencia, reducen también la permeabilidad. Algunos materiales cementantes suplementarios, principalmente el humo de sílice, reducen la permeabilidad durante el proceso de hidratación y de la reacción puzolánica. Otros aditivos que actúan para bloquear la capilaridad del concreto se muestran eficientes en la reducción de la corrosión en ambientes químicamente agresivos. Tales aditivos, diseñados para el uso en concretos con alto contenido de cemento y baja relación agua-cemento, contienen ácido graso alifático y una emulsión acuosa de glóbulos poliméricos y aromáticos.

Auxiliar De Bombeo

Los auxiliares de bombeo se adicionan al concreto para mejorar la bombeabilidad. El auxiliar de bombeo no puede solucionar todos los problemas de bombeo, pero se usa de manera más eficiente para transformar concretos con poca bombeabilidad en concretos bombeables. Estos aditivos aumentan la viscosidad o la cohesión del concreto, reduciendo la separación del agua de la pasta que está bajo la presión de la bomba. Algunos auxiliares de bombeo pueden aumentar la demanda de agua, reducir la resistencia a compresión, atrapar aire o retardar el tiempo de fraguado. Se pueden corregir estos efectos colaterales con el ajuste de las proporciones de la mezcla o con la adición de otros aditivos que los compensen. Algunos de los aditivos que tienen otros propósitos principales, pero que también mejoran la bombeabilidad, son los agentes inclusores de aire y algunos reductores de agua y retardadores.

Aditivos Para Lechadas

Las lechadas de cemento portland se usan para una gran variedad de propósitos: estabilizar cimientos (fundaciones), bases de máquinas, rellenar fisuras y juntas de concreto, cementar pozos de petróleo, rellenar el núcleo de los muros de mampostería, cementar tendones de pretensado y pernos de anclaje y rellenar vacíos en concretos con agregados precolocados. Se usan varios aditivos inclusores de aire, aceleradores, retardadores y aditivos sin contracción (retracción) para modificar las propiedades de la lechada en aplicaciones específicas.

Purgador De Aire

Los aditivos purgadores (reductores) de aire reducen el contenido de aire en el concreto. Se usan cuando no se puede reducir el contenido de aire con el ajuste de la proporción o con el cambio de la dosis del agente inclusor de aire y de otros aditivos. Sin embargo, los aditivos purgadores de aire se emplean muy raramente y su eficiencia y dosis se deben establecer en mezclas de prueba antes de su empleo en las mezclas de obra.

Aditivos Anti-Deslave

Los aditivos anti-deslave aumentan la cohesión del concreto hasta un nivel que permita su exposición limitada al agua, resultando en poca pérdida de cemento. Esto permite el colado

(colocación) del concreto en agua y bajo el agua sin el uso de tubos sumergidos. Estos aditivos aumentan la viscosidad del agua en la mezcla, resultando en una mezcla con mayor tixotropía y resistencia a la segregación. Normalmente, estos aditivos consisten en éter de celulosa soluble en agua o polímeros acrílicos.

Compatibilidad De Los Aditivos Y Los Materiales Cementantes

Los problemas en el concreto fresco muchas veces resultan de la incompatibilidad entre el cemento y el aditivo o entre los aditivos. La incompatibilidad entre los materiales cementantes suplementarios y los aditivos o cementos también puede ocurrir. Tales incompatibilidades pueden resultar en pérdida de revenimiento (asentamiento), pérdida de aire, fraguado rápido y otros factores. Como estos problemas afectan principalmente el concreto en el estado fresco, el desempeño a largo plazo del concreto endurecido también se puede modificar adversamente. Por ejemplo, el fraguado rápido puede dificultar la consolidación del concreto, comprometiendo su resistencia. Aún no se encuentran disponibles ensayos fiables para la determinación de las incompatibilidades debidas a variaciones en los materiales, equipos de mezcla, tiempo de mezclado y factores ambientales. Las pruebas realizadas en laboratorio no reflejan las condiciones experimentadas por el concreto en la obra. Cuando se descubre la incompatibilidad en la obra, normalmente la solución usada es el cambio del aditivo o del material cementante.

Almacenamiento Y Dosificación De Los Aditivos Químicos

Los aditivos químicos se pueden almacenar en toneles o cisternas. Los aditivos en polvo se pueden poner en cajas especiales y algunos están disponibles en bolsas plásticas con las proporciones preestablecidas. Los aditivos adicionados a los camiones mezcladores en la obra, normalmente están en bolsas. Los aditivos en polvo, como algunos superplastificantes o los toneles de aditivos se deben almacenar en obra. Las cisternas en las plantas de concreto se deben identificar adecuadamente para que se evite la contaminación o el mezclado del aditivo errado. La mayoría de los aditivos líquidos no se deben congelar, por lo tanto se deben almacenar en ambientes calientes o calentados. Consulte al fabricante del aditivo sobre la temperatura de almacenamiento adecuada. Los aditivos en polvo normalmente son menos sensibles a las temperaturas, pero pueden ser sensibles a la humedad. Los aditivos químicos

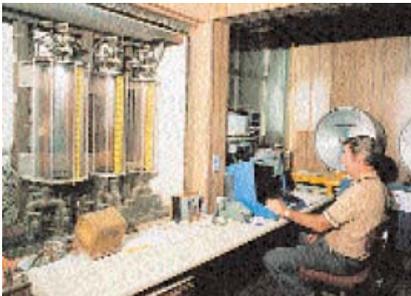


Fig. 3-22. El dosificador de aditivo líquido en una planta de concreto premezclado da una medida volumétrica precisa de los aditivos.

líquidos normalmente se dosifican separadamente en el agua de la mezcla de manera volumétrica (Fig. 3-22). Los aditivos líquidos y en polvo se pueden medir en masa, pero los aditivos en polvo no se deben medir en volumen. Se deben tomar algunas precauciones para no combinar ciertos aditivos antes de su dosificación, pues algunas combinaciones pueden neutralizar el efecto deseado. Consulte a los fabricantes de los aditivos sobre las combinaciones de aditivos compatibles o sobre los ensayos de laboratorio que comprueben su desempeño.

Capítulo 4

Diseño y Proporcionamiento de Mezclas de Concreto Normal

El proceso de determinación de las características requeridas del concreto y que se pueden especificar se llama diseño de mezcla. Las características pueden incluir: (1) propiedades del concreto fresco, (2) propiedades mecánicas del concreto endurecido y (3) la inclusión, exclusión

o límites de ingredientes específicos. El diseño de la mezcla lleva al desarrollo de la especificación del concreto. El proporcionamiento (dosificación) de la mezcla se refiere al proceso de determinación de las cantidades de los ingredientes del concreto, usando materiales locales, para que se logren las características especificadas. Un concreto adecuadamente proporcionado debe presentar las siguientes cualidades:

- Trabajabilidad aceptable del concreto fresco
- Durabilidad, resistencia y apariencia uniforme del concreto endurecido
- Economía

Es importante el entendimiento de los principios básicos del diseño de mezclas, tales como los cálculos usados para establecer las proporciones de la mezcla. Las cualidades citadas arriba se pueden alcanzar en las construcciones en concreto sólo con la selección adecuada de los materiales y de las características de la mezcla (Fig. 4-1).



Fig. 4-1. (inferior) La mezcla de prueba verifica si el concreto cumple con los requisitos de diseño antes de su empleo en la obra.

Selección De Las Características De La Mezcla

Antes que se pueda determinar las proporciones de la mezcla, se seleccionan sus características considerando el uso que se propone dar al concreto, las condiciones de exposición, tamaño y forma de los elementos y las propiedades físicas del concreto (tales como resistencia a la congelación y resistencia mecánica) requeridas para la estructura. Las características deben reflejar las necesidades de la estructura, por ejemplo, se debe verificar la resistencia a los iones cloruros y se deben especificar los métodos de ensayos apropiados. Después que se hayan elegido las características, se puede proporcionar (dosificar) la mezcla a partir de datos de campo o de laboratorio. Como la mayoría de las propiedades deseadas en el concreto endurecido dependen principalmente de la calidad de la pasta cementante, la primera etapa para el proporcionamiento del concreto es la elección de la relación agua-material cementante apropiada para la resistencia y durabilidad necesarias. Las mezclas de concreto se deben mantener lo más sencillas posible, pues un número excesivo de ingredientes normalmente dificulta el control del concreto. Sin embargo, el tecnólogo de concreto no debe descuidar la moderna tecnología del concreto.

Relación entre Resistencia y Relación Agua-Material Cementante

La resistencia (compresión o flexión) es el indicador de la calidad del concreto más universalmente utilizado. A pesar de ser una característica importante, otras propiedades, tales como durabilidad, permeabilidad y resistencia al desgaste se reconocen hoy en día como de igual importancia o, en algunos casos, de mayor importancia, especialmente cuando se considera la vida útil de la estructura. Dentro del rango normal de resistencias usadas en la construcción de concreto, la resistencia es inversamente proporcional a la relación agua-cemento o agua-material cementante. Para concretos totalmente compactados, producidos con agregados limpios y sanos, la resistencia y otras propiedades requeridas del concreto, bajo las condiciones de obra, se gobiernan por la cantidad del agua de mezcla usada por unidad de cemento o material cementante.

La resistencia de la pasta cementante en el concreto depende de la calidad y de la cantidad de componentes reactivos en la pasta y de su grado de hidratación. El concreto se vuelve más

resistente con el tiempo, siempre que la temperatura y la humedad disponibles sean adecuadas.

Por lo tanto, la resistencia en cualquier edad es función tanto de la relación agua-material cementante original y del grado de hidratación del material cementante. La importancia del curado temprano y minucioso se reconoce fácilmente.

La diferencia en la resistencia del concreto para una dada relación agua-cemento puede resultar de: (1) cambios del tamaño, granulometría, textura superficial, forma, resistencia y rigidez del agregado, (2) diferencias en los tipos y fuentes de material cementante, (3) contenido de aire incluido (incorporado), (4) la presencia de aditivos y (5) duración del curado.

Resistencia

La resistencia a compresión especificada a los 28 días, es la resistencia que el promedio de cualquier conjunto de tres ensayos consecutivos de resistencia debe lograr o superar. El ACI 318 requiere que el sea, por lo menos, 180 kg/cm² o 17.5 MPa (2500 lb/pulg²). Ninguna prueba individual (promedio de dos cilindros) puede tener resistencia de 36 kg/cm² o 3.5 MPa (500 lb/pulg²) inferior a la resistencia especificada. Los especímenes (probetas) se deben curar bajo las condiciones de laboratorio para una determinada clase de concreto (ACI 318). Algunas especificaciones permiten rangos alternativos. El promedio de resistencia (resistencia media) debe ser igual a la resistencia especificada más una tolerancia que lleva en consideración las variaciones de los materiales, de los métodos de mezclado, del transporte y colocación del concreto y variaciones en la producción, curado y ensayo de probetas cilíndricas de concreto. La resistencia media, que es mayor que f'_c , se llama f'_{cr} , y es la resistencia requerida en el diseño de la mezcla. Los requisitos para la f'_{cr} se discuten en detalles en "Proporcionamiento", más adelante en este capítulo. Las Tablas 4-1 y 4-2 muestran los requisitos de resistencia para varias condiciones de exposición.

En proyectos de pavimentos, la resistencia a flexión se usa, algunas veces, en lugar de la resistencia a compresión. Sin embargo, la resistencia a flexión se evita debido a su gran variabilidad.

Tabla 4-1. Relación Agua-Material Cementante Máxima y Resistencia de Diseño Mínima para Varias Condiciones de Exposición

Condición de exposición	Relación agua-material cementante máxima por masa de concreto	Resistencia a compresión de diseño mínima f'_c , kg/cm ² (MPa) [lb/pulg ²]
Concreto protegido de la exposición a congelación-deshielo, de la aplicación de sales de deshielo o de sustancias agresivas	Elija la relación agua-material cementante basándose en la resistencia, trabajabilidad y requisitos de acabado (terminación superficial)	Elija la resistencia basándose en los requisitos estructurales
Concreto que se pretende que tenga baja permeabilidad cuando sea expuesto al agua	0.50	280 (28) [4000]
Concreto expuesto a congelación-deshielo en la condición húmeda y a descongelantes	0.45	320 (31) [4500]
Para protección contra la corrosión del refuerzo (armadura) del concreto expuesto a cloruro de las sales descongelantes, agua salobre, agua del mar o rociado de estas fuentes.	0.40	350 (35) [5000]

Tabla 4-2. Requisitos para el Concreto Expuesto a los Sulfatos del Suelo y del Agua*

Exposición a sulfatos	Sulfatos solubles en agua (SO ₄) presentes en el suelo, porcentaje en masa **	Sulfatos (SO ₄) en el agua, ppm**	Tipo de cemento ***	Relación agua-material cementante, máxima en masa	Resistencia a compresión de diseño mínima, f' _c kg/cm ² MPa [lb/pulg ²]
Insignificante	Menor que 0.10	Menor que 150	Ningún tipo especial necesario	—	—
Moderada†	0.10 a 0.20	150 a 1500	Cemento de moderada resistencia a sulfatos	0.50	280 (28) [4000]
Severa	0.20 a 2.00	1500 a 10,000	Cemento de alta resistencia a sulfatos	0.45	320 (31) [4500]
Muy severa	Mayor que 2.00	Mayor que 10,000	Cemento de alta resistencia a sulfatos	0.40	360 (35) [5000]

Relación Agua-Material Cementante

La relación agua-material cementante es simplemente la masa del agua dividida por la masa del material cementante (cemento portland, cemento adicionado, ceniza volante, escoria, humo de sílice y puzolanas naturales). La relación agua-material cementante elegida para un diseño de mezcla debe ser el menor valor necesario para resistir a las condiciones de exposición anticipadas.

Las Tablas 4-1 y 4-2 muestran los requisitos para varias condiciones de exposición. Cuando la durabilidad no es el factor que gobierne, la elección de la relación agua-material cementante se debe basar en los requisitos de resistencia a compresión. En estos casos, la relación agua-material cementante y las proporciones de la mezcla para la resistencia requerida se deben basar en datos de campo adecuados o en mezclas de prueba que empleen los materiales de la obra, a fin de que se determine la relación entre la resistencia y la relación agua-material cementante. Cuando no se disponga de más datos, se pueden utilizar la Figura 9-2 y la Tabla 9-3 para elegir la relación agua-material cementante, con base en el promedio requerido de la resistencia, f'_{cr}, para mezclas de pruebas.

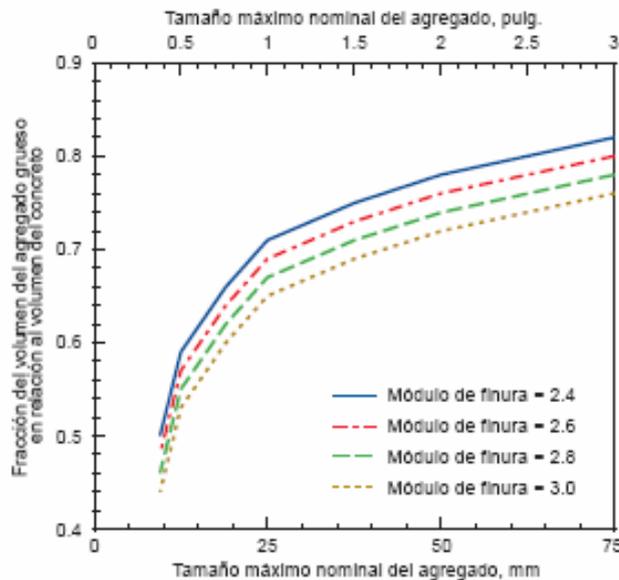


Fig. 4-2. Relación aproximada entre resistencia a compresión y relación agua-material cementante para el concreto con agregado grueso de tamaño máximo nominal de 19 mm a 25 mm (3/4 a 1 pulg.). La resistencia se basa en cilindros curados durante 28 días en ambiente húmedo, de acuerdo con la ASTM C 33 (AASHTO T 23). Adaptado de la tabla 9-3 del ACI 211.1, ACI 211.3 y Hover 1995.

En el diseño de mezclas, la relación agua-material cementante, a/mc, se usa frecuentemente como sinónimo de la relación agua-cemento (a/c). Sin embargo, algunas especificaciones diferencian las dos relaciones. Tradicionalmente, la relación agua-cemento se refiere a la relación agua-cemento portland o agua-cemento

adicionado.

Agregados

Dos características de los agregados tienen una influencia importante en el proporcionamiento (dosificación) de las mezclas de concreto porque afectan la trabajabilidad del concreto fresco:

- Granulometría (tamaño y distribución de las partículas)
- Naturaleza de las partículas (forma, porosidad, textura superficial)

La granulometría es importante para que se logre una mezcla económica, pues afecta la cantidad de concreto que se puede producir para una dada cantidad de material cementante y agua. Los agregados gruesos deben tener el mayor tamaño máximo posible para las

condiciones de la obra. El tamaño máximo que se puede usar depende de factores tales como la forma del elemento de concreto que se va a fundir, la cantidad y la distribución del acero de refuerzo (armadura) en el elemento y el espesor de la losa. La granulometría también influye en la trabajabilidad y la facilidad de colocación del concreto. Algunas veces, hay carencia del agregado de tamaño mediano, cerca de 9.5 mm (3/8 pulg.), en el suministro de agregado. Esto puede resultar en un concreto con alta contracción, demanda elevada de agua y baja trabajabilidad. Su durabilidad también se puede afectar. Hay muchas opciones para obtener una granulometría ideal del agregado. El tamaño máximo del agregado grueso no debe exceder un quinto de la menor dimensión entre los lados de las cimbras (encofrados, formaleta), ni tampoco, tres cuartos la distancia libre entre las varillas o cables de refuerzo individual, paquetes de varillas o tendones o ductos de presfuerzo (pretensado, presforzado, precomprimido). También es una buena práctica limitar el tamaño del agregado para que no supere tres cuartos del espacio libre entre el refuerzo y la cimbra. En losas sobre el terreno sin refuerzo, el tamaño máximo del agregado no debería exceder un tercio del espesor de la losa. Se pueden usar tamaños menores cuando la disponibilidad o alguna consideración económica lo requieran.

La cantidad de agua de mezcla necesaria para producir un volumen unitario de concreto, para un dado revenimiento (asentamiento), depende de la forma, del tamaño máximo y de la cantidad de agregado grueso. Los tamaños mayores minimizan los requisitos de agua y, por lo tanto, permiten la disminución del contenido de cemento. Un agregado redondeado requiere menos agua de mezcla que un agregado triturado, en concretos con el mismo revenimiento (asentamiento) (véase "Contenido de Agua"). El tamaño máximo del agregado grueso que producirá el concreto con la mayor resistencia, para un dado contenido de cemento, depende de la fuente del agregado, bien como de su forma y granulometría. En el concreto de alta resistencia (mayor que 700 kg/cm² o 70 MPa [10,000 lb/pulg²]), el tamaño máximo es cerca de 19 mm (3/4 pulg.). Las resistencias más elevadas también se pueden lograr con el empleo de piedra triturada en vez de grava redondeada. La granulometría más deseada para el agregado fino dependerá del tipo de obra, del contenido de pasta de la mezcla y del tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas más pobres, se desea una granulometría fina (módulo de finura más bajo) para lograr una buena trabajabilidad. En mezclas más ricas, se usa una granulometría más gruesa (mayor módulo de finura) para aumentar la economía. En algunas áreas, los cloruros químicamente adheridos al agregado pueden dificultar que el concreto cumpla con los límites del ACI 318 u otras especificaciones. Sin embargo, parte o hasta incluso todos los cloruros en los agregados pueden no estar disponibles para la corrosión del acero de refuerzo y, por lo tanto, aquellos cloruros se deben ignorar. El volumen de agregado grueso se puede determinar a través de la Figura 4-3 o de la Tabla 4-4. Estos volúmenes se basan en agregados en la condición varillados (compactados) en seco, conforme se describe en ASTM C 29 (AASHTO T 19) y NMX-C-073. Se los eligen a través de relaciones

Tamaño máximo nominal del agregado mm (pulg.)	Volumen del agregado grueso varillado (compactado) en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino ^a			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 (3/8)	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2)	0.59	0.57	0.55	0.53
19.00 (3/4)	0.66	0.64	0.62	0.60
25.00 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2)	0.75	0.73	0.71	0.69

empíricas a fin de que se produzca un concreto con un grado de trabajabilidad adecuado para la construcción de concreto reforzado (armado) en general. Para concretos menos trabajables, tales como los necesarios en la construcción de pavimentos, el volumen de agregado se puede aumentar en cerca de 10%. Para concretos más trabajables, tales como los necesarios para el bombeo, el volumen se puede reducir en hasta 10%.

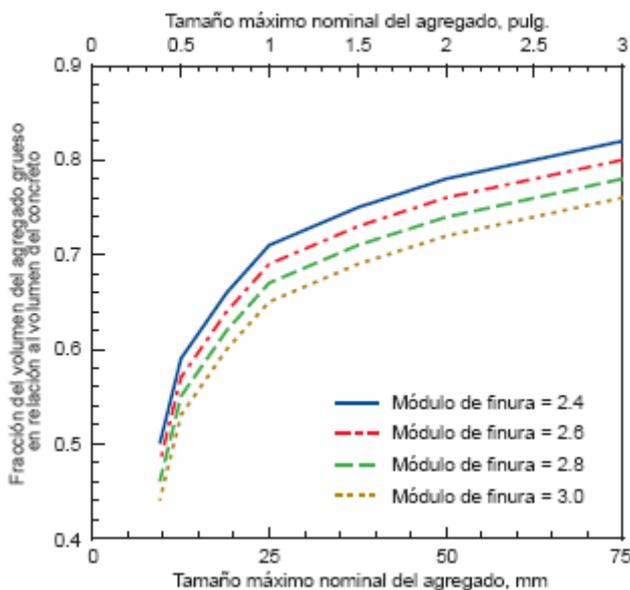


Tabla 4-3. Volumen de Agregado Grueso por Volumen Unitario de Concreto

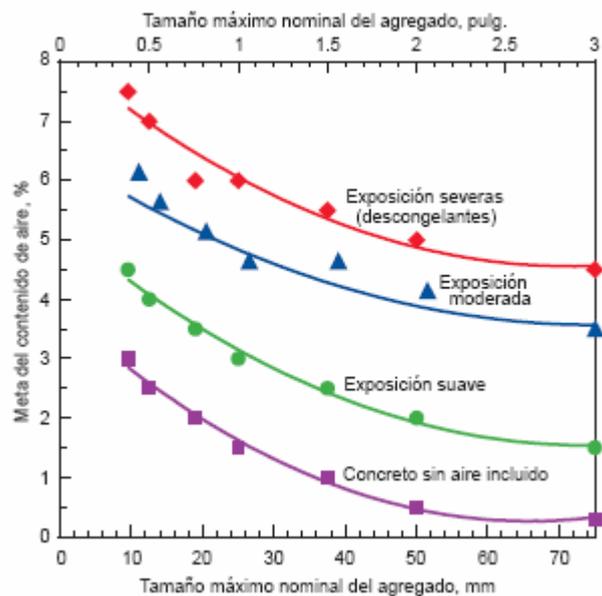
Fig. 4-3. Volumen del agregado grueso por unidad de volumen de concreto. Los volúmenes se basan en agregados en la condición varillados en seco, como se describe en ASTM C 29 (AASHTO T 19). Para concretos más trabajables, como los concretos bombeables, este volumen se puede reducir hasta 10%. Adaptado de la tabla 9-4, ACI 211-1 y Hover (1995 y 1998).

Contenido de Aire

El aire incluido (incorporado) se debe usar en todo el concreto que será expuesto a congelación-deshielo y a productos químicos descongelantes y se lo puede utilizar para mejorar la durabilidad, incluso donde no se lo requiera. La inclusión de aire se logra con el uso de cemento portland con inclusor de aire o con la adición de aditivo inclusor (incorporador) de aire en la mezcladora. La cantidad de aditivo se debe ajustar para compensar las variaciones de los ingredientes en el concreto y de las condiciones de la obra. La cantidad recomendada por el fabricante del aditivo producirá, en la mayoría de los casos, el contenido deseado.

Los contenidos de aire recomendado para el concreto con aire incluido se presentan en la Figura 4-4. Nótese que la cantidad de aire necesaria para proveer una resistencia adecuada contra congelación-deshielo depende del tamaño máximo del agregado y del grado de exposición. En mezclas proporcionadas (dosificadas) adecuadamente, el aumento del tamaño máximo del agregado lleva a la disminución del contenido de mortero y, por consecuencia, a la disminución del contenido de aire requerido en el concreto, como se puede observar en la Figura 4-4. El ACI 211.1 define los niveles de exposición, como sigue:

Fig. 4-4. Los requisitos de contenido total de aire para concretos con diferentes tamaños de agregados. Las especificaciones de obra para el contenido de aire deben requerir que se entregue el concreto en la obra con -1 hasta +2 puntos porcentuales de los valores para exposición moderada y severa. Adaptado de la tabla 9-5, ACI 211.1 y Hover (1995 y 1998).



Exposición Leve o Suave. Esta

exposición incluye las condiciones de servicio en interiores y exteriores, en un clima donde el concreto no se expondrá a congelación ni a descongelantes. Cuando se desee la inclusión de aire por sus efectos benéficos distintos de la durabilidad, tales como trabajabilidad, cohesión o aumento de la resistencia en mezclas con bajo contenido de cemento, se pueden usar contenidos de aire inferiores a aquéllos necesarios para la durabilidad.

Exposición Moderada. Servicio en clima donde se espera la ocurrencia de congelación, pero el concreto no se expondrá continuamente a la humedad o al agua libre por largos periodos antes de la congelación, ni tampoco se expondrá a descongelantes o a otros productos químicos agresivos. Son ejemplos de esta exposición las vigas, columnas, muros, trabes

(tabiques) o losas exteriores que no estén en contacto con el suelo húmedo y que no reciban aplicación directa de descongelantes.

Exposición Severa. Concreto que se expondrá a descongelantes o a otros productos químicos agresivos o el concreto que se pueda volver altamente saturado por el contacto continuo con humedad o agua libre antes de la congelación. Son ejemplos de esta exposición los pavimentos, tableros de puentes, bordillo (cordones), cunetas, aceras, revestimiento de canales o tanques de agua y pozos exteriores.

Cuando se mantiene constante el agua de mezcla, el aire incluido (incorporado) aumenta el revenimiento (asentamiento). Cuando se mantienen constantes el contenido de cemento y el revenimiento, la inclusión de aire resulta en la disminución de la demanda de agua de mezcla, principalmente en mezclas pobres. Al realizarse el ajuste de la mezcla, a fin de que se mantenga constante el revenimiento mientras se cambia el contenido de aire, el contenido de agua se debe disminuir cerca de 3 kg/m³ (5 lb/yd³) para cada punto porcentual de incremento en el contenido de aire o se lo debe aumentar cerca de 3 kg/m³ (5 lb/yd³) para cada punto porcentual de disminución en el contenido de aire. Un contenido específico de aire puede no ser posible que se logre fácilmente o repetidamente debido a muchas variables que afectan la inclusión de aire y, por lo tanto, se debe proveer un rango permisible de contenido de aire alrededor de un cierto valor. A pesar que frecuentemente se usa el rango de $\pm 1\%$ de la Figura 9-4 en las especificaciones de proyecto, a veces este es un límite muy estrecho e impracticable. La solución es el uso de un rango más amplio, tal como -1 a + 2 puntos porcentuales de los valores fijados. Por ejemplo, para un valor de 6% de aire, el rango especificado para el concreto entregado en la obra podría ser de 5% a 8%.

Revenimiento (Asentamiento)

Siempre se debe producir el concreto para que tenga trabajabilidad, consistencia y plasticidad adecuadas con las condiciones de la obra. La trabajabilidad es la medida de la facilidad o de la dificultad de colocación, consolidación y acabado (terminación, superficial) del concreto. La consistencia es la capacidad del concreto de fluir. Plasticidad es la facilidad de moldeado del concreto. Si se usa más agregado en el concreto o si se adiciona menos agua, la mezcla se vuelve más rígida (menos plástica y menos trabajable) y difícil de moldearse. Ni las mezclas muy secas y desmoronables, ni las muy aguadas y fluidas se pueden considerar plásticas. El ensayo de revenimiento (asentamiento) se usa para medir la consistencia del concreto. Para una dada proporción de cemento y agregado, sin aditivos, cuanto mayor el revenimiento, más húmeda es la mezcla. El revenimiento es un indicador de trabajabilidad cuando se evalúan mezclas similares. Sin embargo, no se lo debe utilizar para comparar mezclas de proporciones totalmente diferentes. Si se lo usa en diferentes revolturas (bachadas, amasadas, pastones) del mismo diseño de mezcla, un cambio en el revenimiento indica un cambio en la consistencia y en las características de los materiales, de las proporciones de la mezcla, del contenido de agua, del mezclado, del tiempo del ensayo o de la propia prueba. Son necesarios diferentes valores de revenimientos (asentamiento) para los varios tipos de construcción. Generalmente, se indica el revenimiento en la especificación de la obra como un rango, como de 50 a 100 mm (2 a 4 pulg.) o como un valor máximo que no se debe exceder. La ASTM C 94 e IRAM 1666 presentan en detalles las tolerancias para el revenimiento. Cuando no se especifica el revenimiento, un valor aproximado se puede elegir de la Tabla 9-6 para la consolidación mecánica del concreto. En el ajuste de la mezcla, se puede aumentar el revenimiento en cerca de 10 mm con la adición de 2 kilogramos de agua por metro cúbico de concreto (1 pulgada con la adición de 10 libras por yarda cúbica de concreto).

Contenido de Agua

El contenido de agua se influencia por un gran número de factores: tamaño, forma y textura del agregado, revenimiento, relación agua-material cementante, contenido de agua, tipo y contenido de material cementante, aditivos y condiciones ambientales. Un aumento del contenido de aire y del tamaño del agregado, una reducción de la relación agua-material cementante y del revenimiento o el uso de agregados redondeados, de aditivos reductores de agua o de ceniza volante reducirá la demanda de agua. Por otro lado, el aumento de la temperatura, del contenido de cemento, del revenimiento, de la relación agua-cemento, de la angularidad del agregado y la disminución de la proporción entre el agregado grueso y el agregado fino aumentarán la demanda de agua. El contenido de agua aproximado de la Tabla

4-4 y de la Figura 4-5, usado en el proporcionamiento, son para el agregado angular (piedra triturada). Para algunos concretos y agregados, la estimativa de la Tabla 4-4 y de la Figura 4-5 se puede reducir aproximadamente 10 Kg/m³ (20 lb/yd³) para el agregado subangular, 20 Kg/m³ (35 lb/yd³) para grava con algunas partículas trituradas y 25 kg/m³ (45 lb/yd³) para grava redondeada, para que se obtenga el revenimiento especificado. Esto muestra la necesidad de las mezclas de prueba para los materiales locales, pues cada fuente de agregado es diferente y puede afectar de manera diversa las propiedades del concreto. Se debe tener en mente que el cambio de la cantidad de cualquier ingrediente del concreto normalmente afecta las proporciones de los otros ingredientes, bien como, altera las propiedades de la mezcla. Por ejemplo, la adición de 2 kg de agua por metro cúbico aumentará el revenimiento en aproximadamente 10 mm, además de aumentar el volumen de aire y el contenido de pasta y disminuir el volumen de agregado y la masa volumétrica del concreto. En el ajuste de las mezclas, para un mismo revenimiento, una disminución de 1% en el contenido del aire aumentará la demanda de agua en cerca de 3 kg por metro cúbico (5 lb por yarda cúbica) de concreto.

Tabla 4-4. (Métrica). Requisitos Aproximados de Agua de Mezcla y Contenido de Aire para Diferentes Revenimientos y Tamaños Máximos Nominales del Agregado

Revenimiento (asentamiento) (mm)	Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregado indicados*							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm**	75 mm**	150 mm**
Concreto sin aire incluido								
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	—
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	—
Promedio del contenido de aire total recomendado, para el nivel de exposición, porcentaje†								
Exposición leve	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

* Estas cantidades de agua de mezcla son para utilizarse en el cálculo de los contenidos de cementos en las mezclas de prueba. Estas cantidades son máximas para agregados gruesos razonablemente angulares con granulometría dentro de los límites de las especificaciones.

** El revenimiento (asentamiento) del concreto conteniendo agregado mayor que 37.5 mm se basa en el ensayo de revenimiento realizado después de la remoción de las partículas mayores que 37.5 mm, a través de cribado húmedo.

† Las especificaciones de obra deben especificar un contenido de aire en el concreto entregado en la obra dentro -1 +2 puntos porcentuales del valor anotado en la tabla para las exposiciones moderada y severa.

Adaptada del ACI 211.1 y del ACI 318. Hover (1995) presenta esta información en la forma de gráfico.

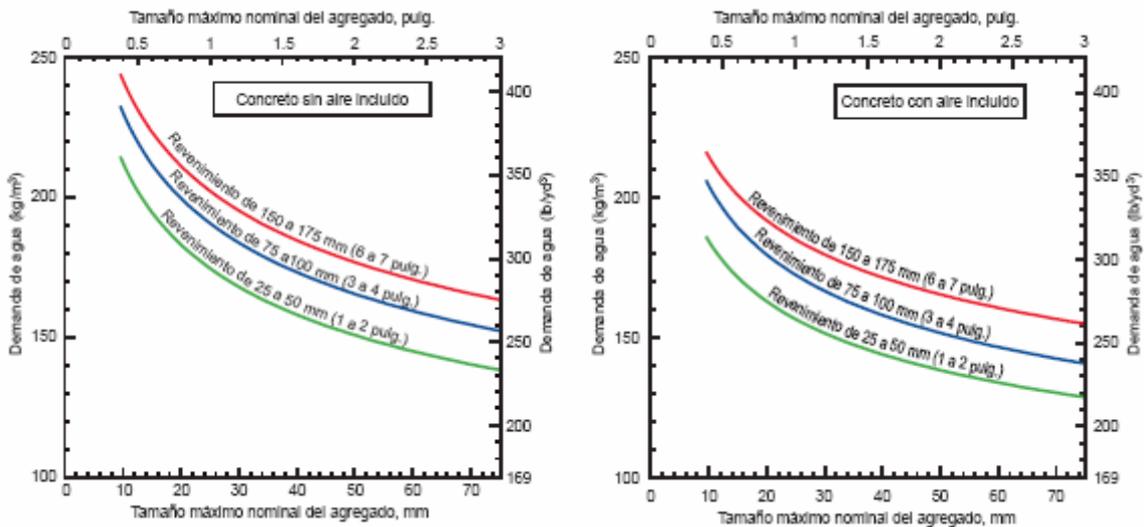


Fig. 4-5. Demanda de agua aproximada para varios revenimientos y tamaños de agregados triturados para (izquierda) concreto sin aire incluido y (derecha) concreto con aire incluido. Adaptado de la tabla 9-5, ACI 211.1 y Hover (1995 y 1998).

Contenido y Tipo de Materiales Cementantes

El contenido de materiales cementantes frecuentemente se determina a través de la relación agua-material cementante elegida y del contenido de cemento, a pesar que habitualmente se incluye un contenido de cemento mínimo en las especificaciones en conjunto con una relación agua-material cementante máxima. Los requisitos de contenido mínimo de cemento tienen como objetivo asegurar durabilidad y acabado satisfactorios, mejorar la resistencia al desgaste de losas y garantizar una apariencia adecuada para las superficies verticales. Esto es importante aún cuando los requisitos de resistencia se cumplan con contenidos de materiales cementantes más bajos. Sin embargo, se deben evitar cantidades de materiales cementantes excesivamente elevadas, para que se mantenga la economía en la mezcla y no afecte adversamente la trabajabilidad y otras propiedades.

En exposición severa a congelación-deshielo, descongelantes y sulfatos es deseable especificar: (1) un contenido mínimo de 335 kg de material cementante por metro cúbico de concreto (564 lb por yarda cúbica) y (2) sólo la cantidad suficiente de agua de mezcla para que se logre la consistencia deseada sin exceder la relación agua-material cementante máxima presentada en las

Tablas 4-1 y 4-2. Para la colocación del concreto bajo el agua, normalmente no se debe usar menos que 390 kg de material cementante por metro cúbico de concreto y relación agua-material cementante que no supere 0.45. Para trabajabilidad, facilidad de acabado, resistencia a abrasión y durabilidad de superficies planas, no se debe utilizar una cantidad de material cementante menor que aquélla presentada en la Tabla 4-5. Para economizar, la cantidad de cemento requerida se debe minimizar sin sacrificarse la calidad del concreto. Como la calidad depende principalmente de la relación agua-cemento, el contenido de agua se debe mantener mínimo, a fin de reducir los requisitos de cemento. Algunas medidas para disminuir los requisitos de agua y cemento incluyen el uso de: (1) la mezcla más áspera que se pueda utilizar, (2) el uso del mayor tamaño máximo de agregado posible y (3) la relación óptima agregado fino- agregado grueso.

El concreto que se expondrá a sulfatos se debe producir con el tipo de cemento presentado en la Tabla 4-2. El agua del mar contiene cantidades significativas de sulfatos y cloruros. A pesar que los sulfatos en el agua del mar son capaces de atacar el concreto, la presencia de cloruros inhibe la reacción expansiva que es una de las características del ataque de sulfatos. Esta es la principal explicación para que varias fuentes hayan considerado el desempeño del concreto en agua del mar con durabilidad satisfactoria, a pesar de que estos concretos se produjeron con cementos portland con contenidos de aluminato tricálcico (C3A) tan altos como 10% o hasta mayores. Sin

embargo, la permeabilidad de estos concretos era muy baja y el acero de refuerzo (armadura) tenía recubrimiento adecuado. Son aceptables los cementos portland que cumplan con los requisitos de C3A no superior a 10%, ni inferior a 4% (para garantizar la durabilidad del refuerzo)

(ACI 357R). Los materiales cementantes suplementarios tienen varios efectos sobre la demanda de agua y el contenido de aire. La adición de ceniza volante generalmente reduce la demanda de agua y el contenido de aire si no se ajusta el contenido de aditivo inclusor (incorporador) de aire. El humo de sílice aumenta la demanda de agua y disminuye el contenido de aire. Escoria y metacaolinita tienen poco efecto cuando son usados en dosis normales.

Tabla 4-5. Requisitos Mínimos de Material Cementante para Concreto Usado en Superficies Planas

Tamaño máximo nominal del agregado, mm (pulg.)	Material cementante kg/m ³ (lb/yd ³)*
37.5 (1½)	280 (470)
25 (1)	310 (520)
19 (¾)	320 (540)
12.5 (½)	350 (580)
9.5 (¾)	380 (610)

* Las cantidades de material cementante talvez tengan que aumentarse en la exposición severa. Por ejemplo, en el caso de exposición a descongelantes, el concreto debe contener, por lo menos, 335 kg/m³ (564 lb/yd³) de material cementante.
Adaptada del ACI 302.

Aditivos

Los aditivos reductores de agua se adicionan al concreto para reducir la relación agua-material cementante, la cantidad de material cementante, el contenido de agua, el

contenido de pasta o para mejorar la trabajabilidad del concreto sin cambiar la relación agua-material cementante. Los reductores de agua generalmente reducen los contenidos de cemento en 5% a 10% y algunos también aumentan el contenido de aire en 1/2 % a 1%. Los retardadores (retardantes) también pueden aumentar el contenido de aire. Los reductores de agua de alto rango reducen el contenido de agua entre 12% y 30% y algunos pueden aumentar simultáneamente el contenido de aire en 1%, mientras que otros pueden reducir o no tener ningún efecto en el contenido de aire.

Los aditivos con base de cloruro de calcio reducen el contenido de agua en cerca del 3% y aumentan el contenido de aire cerca de 1/2%. Al utilizarse un aditivo con base de cloruros, se debe considerar el riesgo de corrosión del refuerzo (armadura).

Cuando se utiliza más de un aditivo en el concreto, el fabricante debe asegurar la compatibilidad del entremezclado de los aditivos, o la combinación de los aditivos se debe ensayar en mezclas de pruebas. El agua contenida en los aditivos se debe considerar como parte del agua de mezcla, si el contenido de agua en el aditivo fuera suficiente para afectar la relación agua-material cementante en 0.01 o más. El uso excesivo de aditivos múltiples se debe minimizar para un mejor control de la mezcla de concreto y para disminuir la incompatibilidad de los aditivos.

Proporcionamiento

El diseño de las mezclas de concreto involucra: (1) en el establecimiento de características específicas y (2) en la elección de proporciones de materiales disponibles para la producción del concreto con las propiedades requeridas y la mayor economía. Los métodos de proporcionamiento evolucionaron desde el método volumétrico arbitrario (1: 2: 3 - cemento: arena: agregado grueso) a principios del siglo XX (Abrams 1918) hasta los métodos actuales de masa y volumen absoluto, descritos en el ACI comité 211, *Práctica Estándar de Elección de las Proporciones para el Concreto Normal, de Densidad Elevada y Masivo* (ACI 211.1). Los métodos de proporcionamiento a través de masa son bastante sencillos y rápidos para estimar las proporciones de la mezcla, usando una masa supuesta o conocida de concreto por unidad de volumen. El método del volumen absoluto es más preciso y envuelve el uso de las masas específicas relativas de todos los ingredientes para calcular el volumen absoluto que cada uno de ellos ocupará en una unidad de volumen de concreto. El método del volumen absoluto será enseñado en este capítulo. Una mezcla de concreto también se puede proporcionar por la experiencia de campo (datos estadísticos) o de mezclas de pruebas. Algunos documentos valiosos para ayudar en el proporcionamiento del concreto incluyen: *Práctica Estándar de Elección de las Proporciones para el Concreto Ligero* (ACI 211.2), *Guía para la Elección de las Proporciones de Concretos de Revenimiento Cero* (ACI 211.3), *Guía para la Elección de* en los aditivos se debe considerar como parte del agua de mezcla, si el contenido de agua en el aditivo fuera suficiente para afectar la relación agua-material cementante en 0.01 o más. El uso excesivo de aditivos múltiples se debe minimizar para un mejor control de la mezcla de concreto y para disminuir la incompatibilidad de los aditivos.

Proporcionamiento con Mezclas de Prueba

Cuando no hay registro de ensayos de campo disponibles o son insuficientes para el proporcionamiento a través de métodos de experiencia de campo, las proporciones de la mezcla elegidas se deben basar en mezclas de pruebas. Las mezclas de prueba deben utilizar los mismos materiales de la obra. Se deben elaborar tres mezclas con tres relaciones agua-material cementante distintas o tres contenidos de cemento diferentes, a fin de producir un rango de resistencias que contengan f'_{cr} . Las mezclas de prueba deben tener un revenimiento y un contenido de aire dentro ± 20 mm y $\pm 0.5\%$, respectivamente, del máximo permitido. Se deben producir y curar tres cilindros para cada relación agua-material cementante, de acuerdo con ASTM C 192 (AASHTO T 126) y NMXC-159. A los 28 días, o a una edad especificada, se debe determinar la resistencia a compresión a través de los ensayos a compresión de los cilindros. Los resultados de las pruebas se deben diseñar para producir una curva de resistencia versus relación agua-material cementante para proporcionar la mezcla. Varios métodos diferentes se han utilizado para proporcionar los ingredientes del concreto, incluyéndose: Asignación arbitraria (1:2:3), volumétrica Relación de vacíos Módulo de finura Área superficial de los agregados

Contenido de cemento Cualquiera de estos métodos puede producir aproximadamente la misma mezcla final después de los ajustes en el campo. Sin embargo, el mejor enfoque es la elección de las proporciones basándose en la experiencia del pasado y en datos de ensayo

confiables con la relación entre resistencia y relación agua-material cementante establecida para los materiales que se utilizaran en la obra. Las mezclas de prueba pueden ser revolturas relativamente pequeñas, con precisión de laboratorio, o revolturas de gran volumen, producidas durante la producción normal del concreto.

Normalmente, se hace necesario el uso de ambas para que se logre una mezcla satisfactoria para la obra. En primer lugar, se deben elegir los siguientes parámetros: (1) resistencia requerida, (2) contenido mínimo de material cementante o relación agua-material cementante máxima, (3) tamaño máximo nominal del agregado, (4) contenido de aire y (5) revenimiento deseado. Entonces, se producen las mezclas de prueba, variándose las cantidades relativas de agregado fino y grueso, bien como los otros ingredientes. Se elige la proporción de la mezcla, basándose en consideraciones de trabajabilidad y economía. Cuando la calidad del concreto se especifica por la relación agua-material cementante, los procedimientos de mezcla de prueba consisten esencialmente en la combinación de la pasta de las proporciones correctas con la cantidad necesaria de agregados finos y gruesos para producir el revenimiento y la trabajabilidad requeridas. Se deben utilizar muestras representativas de los materiales cementantes, del agua, de los agregados y de los aditivos.

Entonces, se calculan las cantidades por metro cúbico. Los agregados se deben prehumedecer y secar hasta la condición saturada con superficie seca (SSS) para simplificar los cálculos y eliminar los errores causados por las variaciones en el contenido de humedad de los agregados. Los agregados se colocan en recipientes cubiertos para que se mantengan en la condición SSS hasta que se los utilice. La humedad de los agregados se debe determinar y las masas de la mezcla de prueba se deben corregir adecuadamente. El tamaño de la mezcla depende de los equipos disponibles y del número y tamaño de los especímenes de prueba que se van a utilizar. Revolturas mayores producirán datos más precisos. Se recomienda el mezclado mecánico pues representa mejor las condiciones de obra y es obligatorio en el caso de los concretos con aire incluido. Se deben utilizar los procedimientos de mezclado que se presentan en ASTM C 192 (AASHTO T 126) y NMX-C-159.

Capítulo 5

Dosificación, Mezclado, Transporte y Manejo del Concreto

La especificación, producción y entrega del concreto se hacen de diversas maneras. Aquí se van a explicar los procesos básicos y las técnicas comunes.

La ASTM C 94 describe tres opciones para pedir y especificar concreto:

1. Opción A se basa en el desempeño. Ésta requiere que el comprador especifique sólo la resistencia a compresión, mientras que el productor del concreto selecciona las proporciones de la mezcla necesarias para la obtención de la resistencia a compresión requerida.
2. Opción B se basa en prescripción. El comprador especifica las proporciones de la mezcla, incluyendo el contenido de cemento, agua y aditivos.
3. Opción C es una opción mezclada. Ésta requiere que el productor de concreto seleccione las proporciones con el contenido mínimo de cemento y la resistencia específica por el comprador.

Dosificación

La dosificación es el proceso de medida, por masa o por volumen, de los ingredientes del concreto y su introducción en la mezcladora. Para producir un concreto con calidad uniforme, los ingredientes se deben medir con precisión para cada revoltura. La mayoría de las especificaciones requiere que la dosificación sea por masa y no por volumen. El agua y los aditivos líquidos se pueden medir con precisión tanto por volumen como también por masa.

Las especificaciones normalmente requieren que los materiales se midan para revolturas individuales con la siguiente precisión: material cementante $\pm 1\%$, agregados $\pm 2\%$, agua $\pm 1\%$ y aditivos $\pm 3\%$. Los equipos deben ser capaces de medir las cantidades con estas tolerancias para la menor cantidad de mezcla normalmente usada, bien como para mezclas mayores (Fig. 5-1). Se deben verificar periódicamente la precisión de las escalas y los equipos de mezclado y se deben hacer los ajustes, si es necesario. Los aditivos químicos líquidos se deben adicionar



típica de concreto premezclado.

a la mezcla en soluciones acuosas. El volumen del líquido, si es significativo, se debe sustraer de la cantidad de agua de mezcla de la revoltura. Los aditivos que no se pueden adicionar a la mezcla en solución, se los puede dosificar por masa o por volumen, de acuerdo con la recomendación del fabricante. Se deben verificar los surtidores de aditivos frecuentemente, pues errores en su dosificación, principalmente en el caso de sobredosis, pueden crear problemas serios tanto en el concreto fresco como en el endurecido.

Fig. 5-1. Sala de control de los equipos de dosificación en una planta

Mezclado Del Concreto

Todo concreto se debe mezclar completamente hasta que tenga una apariencia uniforme, con todos sus ingredientes igualmente distribuidos. Las mezcladoras no se deben cargar más que sus capacidades y se deben operar en la velocidad de mezclado recomendada por el fabricante. Se puede aumentar la producción con el uso de mezcladoras mayores o con mezcladoras adicionales, pero no a través del aumento de la velocidad de mezclado o de la sobrecarga del equipo con el cual se cuenta. Si las palas (aspas o paletas) de la mezcladora se desgastan o se recubren con concreto endurecido, el mezclado va a ser menos eficiente. Estas condiciones se deben corregir. Si el concreto fue adecuadamente mezclado, las muestras tomadas de diferentes porciones de la mezcla van a tener esencialmente la misma masa volumétrica, contenido de aire, revenimiento (asentamiento) y contenido de agregado grueso. Las diferencias máximas permitidas en la evaluación de la uniformidad de la revoltura del concreto premezclado se encuentran en la ASTM C 94 (AASHTO M 157).

El concreto ligero estructural se puede mezclar de la misma manera que el concreto de peso normal, cuando el agregado tiene menos que 10% de absorción total en masa o cuando la absorción es menor que 2% en masa en las dos primeras horas de inmersión en agua.

Mezclado Estacionario

El concreto a veces se mezcla en la obra a través de una mezcladora estacionaria o de una mezcladora pavimentadora (Fig. 5-2). Las mezcladoras estacionarias incluyen tanto las mezcladoras en obra como las mezcladoras en central de concreto premezclado. Están disponibles en volúmenes de hasta 9.0m³ y pueden ser del tipo basculante o fijo o del tipo de pala rotatoria con abertura superior o del tipo paleta. Todos los tipos pueden estar equipados con botes de carga y algunos son equipados con un canalón de descarga giratorio. Muchas mezcladoras estacionarias tienen dispositivos para medir el tiempo y algunos se pueden regular para que no se pueda descargar la mezcla sino hasta que haya transcurrido el tiempo designado.

Se debe tomar una atención cuidadosa en relación al tiempo de mezclado requerido. Muchas especificaciones requieren un tiempo mínimo de mezclado de 1 minuto más 15 segundos para cada metro cúbico, a menos que los ensayos de desempeño tengan mostrado que periodos más cortos son aceptables y van a producir una mezcla de concreto uniforme. Periodos cortos de mezclado pueden resultar en mezclas no homogéneas, distribución pobre de los vacíos de aire, desarrollo de resistencia pobre y problemas de endurecimiento rápido. El periodo de mezclado se debe medir a partir del momento que todo el cemento y agregados estén en el tambor y desde que toda el agua sea adicionada antes que transcurra un cuarto del tiempo de mezclado.

Bajo las condiciones normales, hasta un 10% del agua de mezcla se debe ubicar en el tambor antes que los materiales sólidos sean adicionados. El agua restante se debe adicionar uniformemente con los materiales sólidos, dejando cerca de un 10% para ser añadido después que todos los materiales estén en el tambor. Cuando se usa agua caliente en clima frío, este orden de carga puede requerir alguna modificación para prevenir el endurecimiento prematuro cuando el agua entra en contacto con el cemento. En este caso, la adición de los materiales cementantes se debe retrasar hasta que casi todo el agregado y el agua se mezclen en el tambor. Cuando la mezcladora se carga directamente de la planta mezcladora, los materiales se deben adicionar simultáneamente en una tasa tal que el tiempo de cargamento sea casi el mismo para todos los materiales. Si se usan materiales cementantes suplementarios, se los debe adicionar después del cemento. Si se utilizan aditivos retardadores o reductores de agua, se los debe adicionar siempre en la misma secuencia en el ciclo de carga. De otra manera, pueden ocurrir grandes variaciones en el tiempo de fraguado o en el porcentaje de aire incluido. La adición del aditivo debe completarse dentro del primer



minuto después de la adición completa del agua al cemento o antes del inicio de los últimos tres cuartos del ciclo de mezclado, cualquiera que ocurra primero. Si se emplean dos o más aditivos en la misma mezcla de concreto, deben ser adicionados separadamente. Esto para prevenirse cualquier interacción que pueda interferir en la eficiencia de cualquiera de los aditivos y que pueda afectar las propiedades del concreto. Además, la secuencia en la cual se los adiciona a la mezcla también puede ser importante.

Fig. 5-2. Se puede mezclar el concreto en la obra en una

mezcladora estacionaria.

Concreto Premezclado

El concreto premezclado se dosifica y se mezcla fuera de la obra y se entrega en la construcción en el estado fresco y no endurecido. Se puede producir por uno de los siguientes métodos:

1. El concreto mezclado en central se mezcla completamente en la mezcladora estacionaria (Fig. 5-3) y se lo entrega en un camión agitador (Fig. 5-4 inferior), en un camión mezclador operando en la velocidad de agitación (Fig. 5-3) o en un camión no agitador (Fig. 5-4 superior).

2. El concreto se mezcla parcialmente en la mezcladora estacionaria y el mezclado se completa en el camión mezclador.



3. El concreto mezclado en el camión se mezcla completamente en el camión mezclador. La ASTM C 94 (AASHTO M 157) resalta que cuando se usa un camión mezclador para el mezclado completo,

normalmente se requieren de 70 a 100 revoluciones del tambor y de las palas en la tasa de rotación designada por el fabricante como velocidad de mezclado para producir un concreto con la uniformidad deseada. Después de 100 revoluciones, éstas deben ser a una tasa de rotación designada por el fabricante como velocidad de agitación. La velocidad de agitación es normalmente de 2 a 6 rpm y la velocidad de mezclado de 6 a 18 rpm. El mezclado con velocidades elevadas por periodos prolongados, cerca de más de 1 hora, puede resultar en pérdida de resistencia, aumento de la temperatura, pérdida excesiva del aire incluido (incorporado) y pérdida acelerada de revenimiento del concreto. Cuando se usan camiones mezcladores, la ASTM C 94, también limita el tiempo entre mezclado y descarga completa del concreto en la obra en 1 1/2 hora, o antes que el camión haya logrado 300 revoluciones después de la adición del agua al cemento y agregados, o de introducir el cemento a los agregados. Los mezcladores y agitadores se deben siempre operar dentro de los límites de volumen y velocidad de rotación designados por el fabricante del equipo.

Fig. 5-3. Mezclado en central en una mezcladora estacionaria con tambor basculante y entrega con camión mezclador operando en velocidad de agitación.



Fig. 5-4. (Superior) Camiones no mezcladoras, indicados donde el colocación rápida de grandes Camión agitador también se usa en agitación permite que los camiones proyectos con tasas de colocación mayores que los camiones no



agitadores se usan en plantas transporte corto y rápido permite la volúmenes de concreto. (Inferior) plantas mezcladoras. El mezclado con agitadores ofrezcan concreto para lenta de concreto y en distancias agitadores.

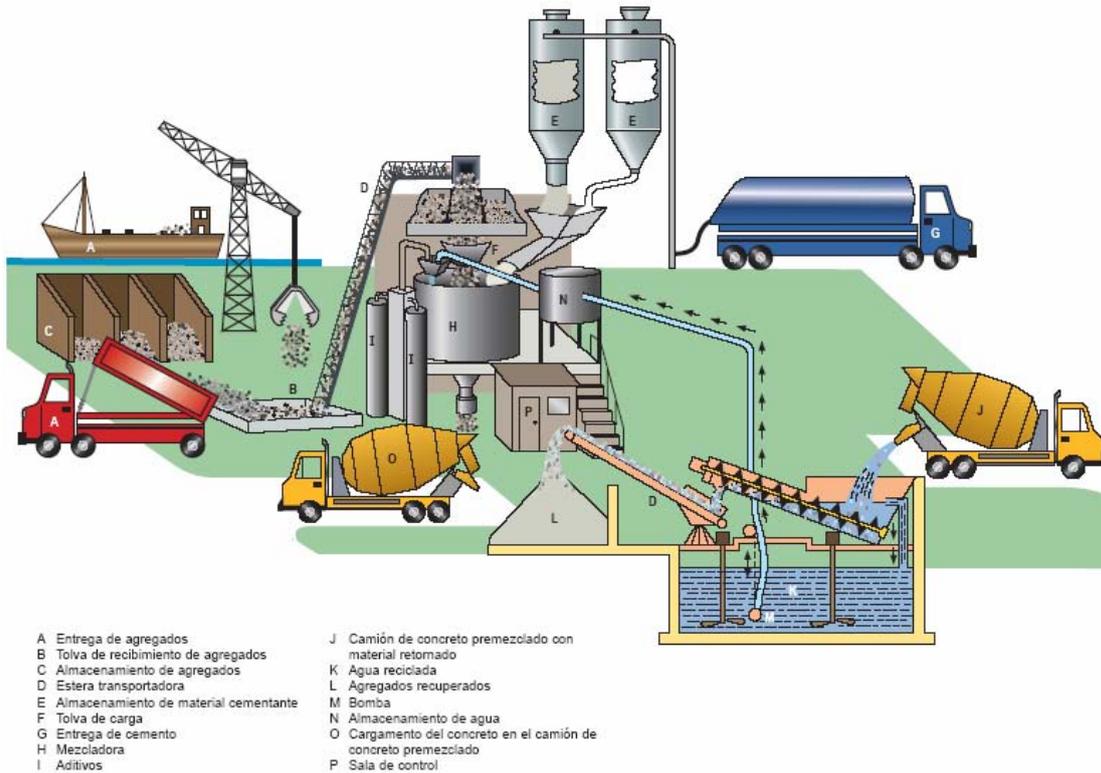


Fig. 5-5. Etapas de la producción del concreto en una planta mezcladora.

Concreto Mezclado en Dosificadora Móvil (Mezcladora Continua)

Mezcladoras móviles volumétricas son camiones especiales (Fig. 5-6) que dosifican por volumen y mezclan el concreto continuamente a medida que los ingredientes secos, el agua y los aditivos se van alimentando en la mezcladora a través de un sistema de barrena. El concreto debe cumplir con las especificaciones de las normas nacionales o de la ASTM C 685 y se lo proporciona y se lo mezcla en la obra en las cantidades necesarias. El concreto se ajusta fácilmente para las condiciones de colocación del proyecto y las condiciones del clima.



Fig. 5-6. La dosificadora móvil mide los materiales por volumen y mezcla continuamente, a medida que los ingredientes secos, agua y aditivos se alimentan dentro del tambor de mezclado en la parte trasera del vehículo.

Remezclado del Concreto

El concreto fresco que se agita en el tambor de la mezcladora tiende a rigidizarse antes del desarrollo del fraguado inicial. Este concreto se puede utilizar si bajo el remezclado se vuelve suficientemente plástico para que se lo compacte en las cimbras. Normas como la ASTM C 94 permiten la adición de agua para el remezclado del concreto cuando el camión llega a la obra y el revenimiento es menor que lo especificado, siempre que se cumplan las siguientes condiciones: (1) no se exceda la relación agua-cemento permisible como calculada, incluyéndose el agua en la superficie de los agregados, agua de mezcla y agua de remezclado; (2) No se exceda el revenimiento máximo permisible; (3) no se excedan el tiempo máximo de mezclado y de agitación y (4) el concreto sea remezclado por lo menos 30 revoluciones en la velocidad de mezclado o hasta que se logre la uniformidad del concreto, de acuerdo con los límites descritos en las normas.

No se debe adicionar el agua a la carga parcial. Si el endurecimiento prematuro se torna un problema persistente, se puede usar un aditivo retardador de fraguado para controlar la hidratación temprana, especialmente en mezclas con altos contenidos de cemento. Se permiten ajustes en la obra del inductor de aire y de otros aditivos, desde que sean mezclados lo suficiente.

No se debe permitir la adición indiscriminada de agua para tornar el concreto más fluido porque esto baja la calidad del concreto. La adición tardía del agua y el remezclado para reemplazar la mezcla pueden reducir considerablemente la resistencia del concreto.

Transporte Y Manejo Del Concreto

La planeación anticipada puede ayudar en la elección del método más apropiado de manejo para una aplicación. Considere las siguientes tres ocurrencias que, si suceden durante el manejo y la colocación (colado), pueden afectar seriamente la calidad del trabajo acabado:

Retrasos. El objetivo de la planeación de cualquier programa de trabajo es producir el trabajo con la mayor rapidez, con la menor fuerza laboral y con el equipo adecuado. Las máquinas para transporte y manejo de concreto están mejorando continuamente. La mayor productividad será lograda si se planea el trabajo para que se aprovechen, al máximo, el personal y los equipos y si estos se seleccionan para que se reduzcan los retrasos durante la colocación del concreto.

Endurecimiento Prematuro y Secado. El concreto empieza a endurecerse en el momento que se mezclan los materiales cementantes y el agua, pero el grado de endurecimiento que ocurre en los primeros 30 minutos no es un problema. El concreto que se mantiene en agitación generalmente se lo puede colocar y compactar en un periodo de 1 1/2 hora después del mezclado, a no ser que la temperatura elevada del concreto o el contenido alto de cemento aceleren excesivamente la hidratación. El planeamiento debe eliminar o minimizar las variables que permitirían el endurecimiento del concreto en un grado tal que no se logre la consolidación completa y que torne el acabado difícil. Menos tiempo está disponible durante las condiciones que apresuran el proceso de endurecimiento, tales como clima caluroso y seco, uso de aceleradores y concreto caliente.

Segregación. La segregación es la tendencia del agregado grueso de separarse del mortero de cemento y arena. Esto resulta en que parte de la mezcla tiene poca cantidad de agregado grueso y el resto tiene cantidad excesiva. La parte que tiene poca cantidad de agregado grueso tiende

a retraerse y a fisurarse más, presentando poca resistencia a abrasión. La parte con cantidad excesiva de agregado puede ser muy áspera, dificultando la consolidación y acabado completos, siendo una causa frecuente de apareamiento de agujeros.

Métodos y Equipos de Transporte y Manejo del Concreto



Fig. 5-7. La versátil carretilla motorizada puede mover todo tipo de concreto en distancias pequeñas.

Fig. 5-8. El concreto se levanta fácilmente hacia su localización final por una grúa y cubo.



La Tabla 5-1 resume los métodos y los equipos más comunes para el transporte del concreto hasta el punto donde se lo requiere. En los últimos 75 años, ha habido pocos, si ocurrieron, cambios significativos en los principios de transporte del concreto. Lo que ha cambiado es la tecnología que ha llevado al desarrollo de una maquinaria mejor para elaborar el trabajo más eficientemente. La carretilla y el carretón, aún se utilizan, pero avanzaron y ahora se puede encontrar la versión motorizada (Fig. 5-7). El balde (cubo, cubeta, tolva) arrastrado por una rueda de polea se ha transformado en un balde y una grúa (Fig. 5-8) y el vagón tirado por caballos se ha convertido en los camiones mezcladores (Figs. 5-9 y 5-10). Hace años el concreto se colaba en los edificios de concreto armado a través de torres y canalones largos. Esta torre era contraventeada y colocada en la parte central de la obra con una tolva en su parte superior, a la cual se llevaba el concreto mediante un torno de elevación (malacate).



Fig. 5-9. El concreto premezclado normalmente se lo puede colocar en su localización final a través de la descarga directa por el canalón desde el camión mezclador.



Fig. 5-10. En comparación con los camiones convencionales de descarga trasera, los camiones mezcladores de descarga delantera dan al conductor mayor movilidad y control para la descarga directa en el sitio.



Fig. 5-11. La torre grúa y el cubo pueden manejar el concreto fácilmente en construcciones de edificios altos.

Una serie de canalones suspendidos por la torre permitía que el concreto fluyera por gravedad directamente al punto deseado. A medida que los edificios con estructura de concreto se volvieron más altos, la necesidad de levantar la armadura de refuerzo, las cimbras y el concreto a niveles más elevados condujo al desarrollo de la torre grúa - una escena conocida en el horizonte de la construcción actual (Fig. 5-11). Eso es rápido y versátil pero, al planearse un trabajo, se debe tener en cuenta que posee sólo un gancho. La concepción de la banda transportadora es vieja pero ha cambiado mucho a lo largo de los años (Fig. 5-12). Recientemente, se empezaron a utilizar las esteras transportadoras montadas en camiones mezcladores (Fig. 5-13). El proceso neumático de concreto lanzado fue patentado en 1911 y literalmente no ha cambiado. La primera bomba mecánica para concreto fue desarrollada en los años 50. El avance de las bombas móviles con pluma de colocación hidráulica (Fig. 5-14) es probablemente la innovación individual más importante en los equipos de manejo de concreto. Su empleo es económico tanto para grandes como pequeñas cantidades de concreto, dependiendo de las condiciones de la obra. En proyectos de pequeños a medianos, se puede usar la combinación de camión mezclador, bomba y aguilón para el transporte y la colocación del concreto. El esparcidor de tornillos (Fig. 5-15) es bien eficiente en la colocación y distribución del concreto en pavimentos. El esparcidor de tornillos puede colocar rápida y eficientemente un espesor uniforme de concreto.

Fig. 5-12. La estera (banda) transportadora es un método eficiente y portátil para el manejo del concreto. Un canalón previene que el concreto segregue al dejar la estera. El tractor raspador previene la pérdida de mortero. Las esteras transportadoras se pueden operar en series y sobre los aguilones extensibles (plumas telescópicas) de las grúas hidráulicas.



Fig. 5-13. La estera transportadora montada sobre el camión mezclador coloca el concreto hasta 12 metros (40 pies) sin la necesidad de ningún equipo adicional de manejo.

Elección del Mejor Método

La primera cosa que se debe observar es el tipo de obra, su tamaño físico, la cantidad total de concreto a ser colado y el tiempo programado. El estudio más profundo de los detalles de la obra va a determinar cuanto del trabajo está abajo o arriba del nivel del terreno. Esto ayuda en la elección del equipo de manejo de concreto necesario para su colocación en los niveles requeridos. El concreto se debe mover de la mezcladora hasta el punto de su colocación lo más rápido posible, sin segregación o pérdida de los ingredientes. Los equipos de transporte y manejo deben tener la capacidad de mover una cantidad suficiente de concreto para que se eliminen las juntas frías.

Trabajo al Nivel del Terreno y Abajo del Nivel del Terreno

Los mayores volúmenes de concreto, en una obra típica, están o abajo o al nivel del terreno y por lo tanto se pueden colocar a través de métodos diferentes de aquéllos empleados en la superestructura. El trabajo en concreto abajo del nivel del terreno puede variar significativamente desde la colocación de pilas perforadas de gran diámetro o losas masivas de cimientos hasta trabajos complicados en las paredes del sótano y subsótano. Se puede usar una grúa para manejar la cimbra, el acero de refuerzo y el concreto. Sin embargo, la grúa se puede usar para levantar la cimbra y el acero antes del concreto y para el manejo del

concreto tal vez deban emplearse otros métodos para la colocación de un gran volumen de concreto en un tiempo menor.

Se puede transportar directamente el concreto del camión mezclador hasta el punto de colocación, a través de canalones. Éstos deben ser metálicos o recubiertos con metal y su inclinación no puede exceder 1 medida vertical para 2 horizontales ni ser menor que 1 medida vertical para 3 horizontales. Canalones largos, con más de 6 metros o aquéllos que no cumplen con la inclinación estándar, deben descargarse en una tolva antes de la distribución hasta el punto de necesidad. Otra alternativa es que la bomba de concreto lo mueva hasta la posición final (Fig. 5-15). Las bombas deben tener una capacidad adecuada y deben transportar el concreto sin segregarlo. La presión que fuerza el agua de la mezcla para dentro de los agregados, a medida que el concreto se mueve desde la tolva de la bomba hasta la descarga al final de la tubería, causa una pérdida de revenimiento, la cual no puede exceder 50 mm. El contenido de aire generalmente no debe disminuir más de 2 puntos porcentuales durante el bombeo. Una pérdida de aire mayor que ésta se puede causar por la configuración del aguilón que permite que el concreto caiga excesivamente. En vista de eso, el concreto en el punto de descarga, en la extremidad de la bomba, debe atender a las especificaciones de revenimiento y de contenido de aire. Las tuberías no deben ser de aluminio o aleaciones de aluminio para que se evite la incorporación excesiva de aire, pues el aluminio reacciona con los hidróxidos alcalinos del cemento para formar gas hidrógeno, resultando en una reducción grande de la resistencia del concreto. Las bandas transportadoras son muy útiles en trabajos cerca del nivel del terreno. Como la colocación del concreto abajo del nivel del terreno normalmente requiere movimiento horizontal, que se ayuda por la gravedad, se pueden usar las esteras portátiles livianas para una producción elevada a un costo bajo.



Fig. 5-14 (Izquierda) Una bomba montada sobre el camión y un aguilón pueden convenientemente mover el concreto verticalmente y horizontalmente para la posición deseada. (Derecha) Vista de la descarga del concreto de una manguera flexible conectada a la tubería rígida que se dirige de la bomba. La pipa (tubo) se usa en los aguilones de bombeo para mover el concreto hasta distancias relativamente largas. Hasta 8 m (25 pies) de manguera flexible se puede conectar a la extremidad de la tubería rígida para mejorar la movilidad de colocación.



Fig. 5-15. El esparcidor (extendedor) de tornillos esparce rápidamente el concreto sobre un área amplia con un espesor uniforme. Se usan los esparcidores de tornillos principalmente en la construcción de pavimentos.

Fig. 5-16. Para trabajos sobre el terreno o en sitios inaccesibles, un cubo de concreto se puede levantar por un helicóptero

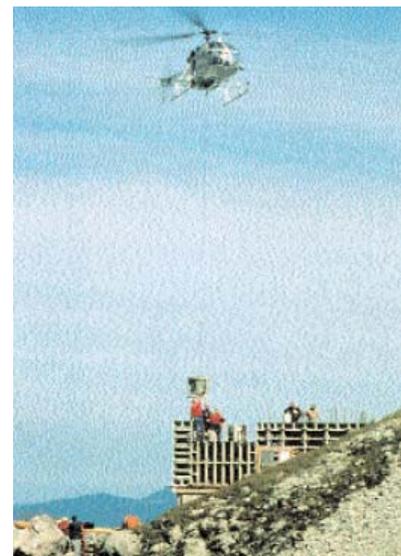




Fig. 5-17. Un aguilón montado sobre un mástil y localizado cerca del centro de la estructura puede frecuentemente llegar a todos los puntos de la colocación. Se usa principalmente en edificios altos donde las torres de grúa no se pueden ocupar de la colocación del concreto. Éste se alimenta al aguilón a través de la tubería proveniente de la bomba ubicada en el nivel del terreno. Con estos métodos, el concreto se puede bombear verticalmente por cientos de metros (pies).

Trabajo Superiores al Nivel del Terreno

La banda transportadora, la grúa y el cubo, el montacargas, la bomba y el moderno gancho aéreo (Helicóptero) se pueden usar para levantar concreto hasta las posiciones superiores al nivel del terreno (Fig. 5-16). La torre grúa (Fig. 5-11) y pluma de bombeo (Fig. 5-17) son las herramientas correctas para edificios altos. El volumen de concreto necesario en cada piso, bien como la localización y la longitud de la pluma, afectan la utilización del bombeo. Los volúmenes grandes minimizan los movimientos de la tubería en relación a la descarga.

Las especificaciones y el desempeño de los equipos de transporte y manejo se mejoran continuamente. Los mejores resultados y los costos más bajos se logran si se planea el trabajo para aprovechar al máximo los equipos y si se los usa de manera flexible para reducir los costos totales de la obra. Cualquier método es caro si no es capaz de realizar el trabajo.

Tabla 5-1. Métodos y Equipos para el Transporte y el Manejo del Concreto

Equipo	Tipo de trabajo más adecuado para el equipo	Ventajas	Puntos a fijarse
Baldes (cubos, cubetas, tolvas)	Usados con las grúas, cablevías y helicópteros para la construcción de edificios y presas. Transporta el concreto directamente del punto de descarga en la central hasta la cimbra (encofrado) o hasta un punto secundario de descarga.	Permite el aprovechamiento total de la versatilidad de las grúas, cablevías y helicópteros. Descarga limpia. Gran variedad de capacidades.	Escoja la capacidad del cubo de acuerdo con el tamaño de la mezcla y la capacidad del equipo de colocación. Se debe controlar la descarga.
Bombas	Usadas para transportar concreto directamente desde el punto de descarga de la central hasta la cimbra (encofrado) o el punto de descarga secundario.	La tubería ocupa poco espacio y se la puede extender fácilmente. La descarga es continua. La bomba puede mover el concreto vertical y horizontalmente. Bombas montadas en camiones pueden entregar concreto tanto en obras pequeñas como en grandes proyectos. Los aguilonos (plumas) estacionarios proveen concreto continuamente para la construcción de edificios altos.	Se hace necesario un suministro de concreto fresco constante con consistencia media y sin la tendencia a segregarse. Se debe tener cuidado al operar la tubería para garantizar un flujo uniforme. Además, se la debe limpiar al concluirse cada operación. El bombeo vertical, con curvaturas y a través de mangueras flexibles va a reducir considerablemente la distancia máxima de bombeo.
Camión agitador	Usados para transporte de concreto para pavimentos, estructuras y edificios. La distancia de transporte debe permitir la descarga del concreto en 1½ hora, pero este límite se puede ignorar bajo ciertas circunstancias.	Se operan desde una central mezcladora donde se produce concreto de calidad bajo condiciones controladas. La descarga desde los agitadores es controlada. Hay uniformidad y homogeneidad del concreto en la descarga.	El tiempo de descarga debe adecuarse a la organización de la obra. El personal y los equipos deben estar listos en la obra para el manejo del concreto.
Camión mezclador	Usados para transporte de concreto para pavimentos, estructuras y edificios. La distancia de transporte debe permitir la descarga del concreto en 1½ hora, pero este límite se puede ignorar bajo ciertas circunstancias.	No se necesita de central mezcladora, sólo una planta de dosificación, pues el concreto se mezcla completamente en el camión. La descarga es la misma que en el camión agitador.	El tiempo de descarga debe adecuarse a la organización de la obra. El personal y los equipos deben estar listos en la obra para el manejo del concreto. El control de calidad del concreto no es tan bueno como en la central mezcladora.
Camiones no agitadores	Usados para transportar concreto en distancias cortas sobre pavimentos lisos.	El costo de capital del equipo no agitador es menor que el de los camiones agitadores o mezcladores.	El revenimiento (asentamiento) del concreto se debe limitar. Posibilidad de segregación. Se necesita de una altura libre para levantar el cuerpo del camión en la descarga.
Canalones sobre camión mezclador	Para transportar concreto a un nivel inferior, normalmente abajo del nivel del terreno, en todos los tipos de construcción de concreto.	Bajo costo y facilidad de maniobrar. No se necesita fuerza, pues la gravedad hace la mayor parte del trabajo.	La inclinación debe variar entre 1 para 2 y 1 para 3. Los canalones se deben soportar adecuadamente en todas las posiciones. Son necesarios arreglos en las extremidades para evitar segregación.
Canalones de desnivel	Usados en la colocación del concreto en cimbras (encofrados) verticales de todos los tipos. Algunos canalones son una pieza de tubo producido en lona con goma flexible, mientras que otros son cilindros de metal articulados montados (trampa de elefante).	El canalón de desnivel lleva el concreto directamente para la cimbra (encofrado) y lo conduce hacia el fondo sin segregación. Su empleo evita el derrame de la lechada y del concreto sobre el acero de refuerzo o las laterales de la cimbra, el cual es dañino cuando se especifican superficies aparentes. También van a prevenir la segregación de las partículas de agregado grueso.	Deben ser suficientemente grandes, con aberturas abocinada en las cuales se puede descargar el concreto sin derramarlo. La sección transversal del canalón de desnivel se debe escoger para permitir su inserción en la cimbra sin interferir en la armadura de acero.

Equipo	Tipo de trabajo más adecuado para el equipo	Ventajas	Puntos a fijarse
Carretillas manuales y motorizadas	Para transporte corto y plano en todos los tipos de obra, especialmente donde la accesibilidad al área de trabajo es restringida.	Son muy versátiles y por lo tanto ideales en interiores y en obras donde las condiciones de colocación están cambiando constantemente.	Lentas y de trabajo intensivo.
Esparcidores (extendedores) de tornillo	Usados para esparcir concreto en áreas grandes, tales como en pavimentos y losas de puentes.	Con un esparcidor de tornillo, una mezcla de concreto descargada de un balde o un camión se puede esparcir rápidamente sobre un área ancha con un espesor constante. El concreto esparcido tiene buena uniformidad de compactación antes que se emplee la vibración para la compactación final.	Los esparcidores se usan normalmente como parte de tren de pavimentación. Se los deben usar para esparcir el concreto antes que la vibración sea aplicada.
Esteras (bandas, cintas) transportadoras	Para transportar horizontalmente el concreto o a niveles más abajo o más arriba. Normalmente se posicionan entre los puntos de descarga principal y secundario.	Las esteras transportadoras tienen alcance ajustable, desviador viajero y velocidad variable, sea hacia delante o en reversa. Puede colocar rápidamente grandes volúmenes de concreto, aun cuando el acceso es limitado.	Son necesarios arreglos en las extremidades de descarga para prevenirse la segregación y para no dejar mortero en la estera de regreso. En climas adversos (calurosos y con viento) las esteras largas necesitan de cubiertas.
Esteras transportadoras montadas sobre camión mezclador	Para transportar el concreto a un nivel inferior, al mismo nivel o a un nivel más alto.	Los equipos de transporte llegan con el concreto. Tienen alcance ajustable y velocidad variable.	Son necesarios arreglos en las extremidades de descarga para prevenirse la segregación y para no dejar mortero en la estera de regreso.
Grúas y balde	Es el equipo adecuado para trabajo arriba del nivel del terreno.	Pueden manejar concreto, acero de refuerzo (armadura), cimbra (encofrado) y artículos secos en puentes y edificios con estructura de concreto.	Tiene uno sólo gancho. Se hace necesario un planeamiento cuidadoso entre el comercio y la operación para mantener la grúa ocupada.
Mezcladoras de dosificación móviles	Usadas en la producción intermitente de concreto en la obra o donde se necesitan sólo pequeñas cantidades.	Es un sistema combinado de transporte, dosificación y mezclado para la dosificación rápida y precisa del concreto especificado. Operado por un sólo hombre.	Operación sin problemas que requiere una buena manutención preventiva del equipo. Los materiales deben ser idénticos aquéllos originalmente empleados en el diseño de la mezcla.
Pistolas neumáticas (Concreto lanzado)	Usadas donde se va a colocar el concreto en sitios difíciles y en secciones finas con áreas grandes.	Ideal para la colocación del concreto en formas libres de cimbras, en reparaciones de estructuras, en recubrimientos protectores, cubiertas delgadas y paredes de edificios con cimbras en una cara.	La calidad del trabajo depende de la destreza del operador del equipo. Sólo se debe emplear un lanzador de concreto con experiencia.
Tremie (tubo embudo)	Para la colocación del concreto bajo el agua.	Se la puede usar para verter concreto en la cimentación u otra estructura bajo el agua.	Se hacen necesarias precauciones para que se garantice que la extremidad de descarga de la tremie esté siempre enterrada en el concreto fresco, de modo que se preserve el sello entre el agua y la masa del concreto. Su diámetro debe ser de 250 a 300 mm (10 a 12 pulg.), a menos que haya presión disponible. Las mezclas de concreto necesitan más cemento, 300 kg/m ³ (658 lb/yarda ³) y un revenimiento más elevado, de 150 a 230 mm (6 a 9 pulg.) porque el concreto tiene que fluir y consolidarse sin vibración.

Capítulo 6

Colocación y curado del concreto

Preparación Antes De La Colocación (Colado)

La preparación antes de la colocación del concreto en pavimentos o losas sobre el terreno incluye compactación, formación de guarniciones y humedecimiento de la subrasante (Fig. 6-1, 6-2, 6-3), levantamiento de las cimbras y colocación y ajuste del acero de refuerzo (armadura) y de otros artículos insertados. El humedecimiento de la subrasante es importante, especialmente en un clima cálido y seco, para evitar que la subrasante absorba mucha agua del concreto. Esto también aumenta la humedad del aire en el medio circundante, disminuyendo la evaporación de la superficie del concreto. La resistencia o la capacidad de soporte de la subrasante deben ser adecuadas para resistir las cargas estructurales previstas. En el clima frío, no se debe colocar el concreto sobre una subrasante congelada. La nieve, hielo y otros escombros se deben retirar del interior de las cimbras antes del colado del concreto. Cuando el concreto se vaya a colocar sobre rocas o concreto endurecido, todo material suelto se debe remover y las caras de corte deben ser aproximadamente verticales u horizontales, y no inclinadas.



Fig. 6-1. Se da la forma a la capa de base para el pavimento de concreto con un auto-nivelador a fin de diseñar el perfil, la sección transversal y el alineamiento, a través de sensores automáticos que siguen las líneas de referencia



Fig. 6-2. Camiones de agua con tubos de rociado que se usan para humedecer las subrasantes y las capas de base para lograr una compactación adecuada y para reducir la cantidad de agua extraída concreto al colocarlo.

Fig. 6-3. (superior) La compactación adecuada de la capa de base de la cimentación para el pavimento de concreto se logra con el uso de rodillo vibratorio. **(inferior)** Los compactadores de placas vibratorias también se usan para preparar las subrasantes bajo losas.



El concreto recién colocado que requiera una capa superior, frecuentemente se pica, poco después de haberse endurecido, para producir una mejor adherencia con la capa siguiente. Donde no haya ninguna lechada, polvo o partículas sueltas, la capa de concreto recién endurecido requiere poca preparación antes de la colocación de concreto fresco sobre ella. Cuando está en servicio por un cierto periodo de tiempo, el concreto viejo normalmente requiere una limpieza mecánica y su superficie se debe volver áspera antes de la colocación del concreto nuevo. El tema de la colocación de concreto fresco sobre concreto endurecido se discute con más detalles en las secciones "Colocación sobre Concreto Endurecido" y "Construcción de Juntas". Las cimbras se deben colocar, limpiar, fijar y apuntalar adecuada y precisamente y se las puede construir o forrar con materiales que ofrezcan el acabado deseado del concreto endurecido. Las cimbras de madera, a menos que se las aceite o las trate con agentes desmoldantes, se deben humedecer antes de la colocación del concreto, para que no absorban el agua de la mezcla y no se hinchen. Las cimbras se deben construir para que su remoción cause un daño mínimo al concreto. En cimbras de madera, se debe evitar el uso de clavos muy grandes o de muchos clavos para facilitar su remoción y reducir el daño. En concreto arquitectónico, el agente desmoldante no debe manchar el concreto. El acero de refuerzo debe estar limpio y libre de herrumbre suelta o costras de laminado cuando se coloca el concreto. Al contrario de la subrasante, el acero de refuerzo puede estar más helado que 0°C (32°F) con consideraciones especiales. Para más detalles. El mortero de colados previos, que salpica las barras de refuerzo, no se necesita retirar del acero ni tampoco de otros artículos insertos, si la próxima capa se completará en pocas horas. Sin

embargo, el mortero suelto y seco se debe remover de los artículos que se vayan a insertar en entregas de concreto posteriores.

Todo equipo utilizado para colocar el concreto debe estar limpio y en buenas condiciones de uso. Además, equipos de reserva deben estar disponibles en caso que ocurra alguna falla.

Depósito Del Concreto

El concreto se debe depositar en forma continua lo más cerca posible de su posición final sin segregación. En la construcción de losas, la colocación debe empezar a lo largo del perímetro en un extremo del trabajo, descargando cada amasada contra el concreto colocado anteriormente. No se debe verter el concreto en pilas separadas para luego nivelarlo y trabajarlo simultáneamente, ni tampoco se debe colocar el concreto en pilas grandes y moverlo horizontalmente para su posición final. Tales prácticas resultan en segregación, pues el mortero tiende a fluir adelante del material grueso. En general, se debe colocar el concreto en muros, losas espesas o cimentaciones en capas horizontales de espesor uniforme y cada capa se debe consolidar totalmente antes de la colocación (colado) de la próxima capa. La velocidad de colocación debe ser suficientemente rápida para que el concreto colocado previamente no haya fraguado cuando se coloque la capa siguiente sobre él. La colocación oportuna y la consolidación adecuada previenen recorrido de flujo, juntas y planos de debilidad (juntas frías) que resultan de la colocación de concreto fresco sobre el concreto que se haya fraguado. Las capas deben tener un espesor de 150 mm a 500 mm (6 a 20 pulg.) en miembros reforzados y de 380 mm a 500 mm (15 a 20 pulg.) en concreto masivo. El espesor dependerá del ancho de las cimbras (encofrados) y de la cantidad de refuerzo. Para evitar segregación, no se debe mover el concreto horizontalmente a largas distancias mientras se lo coloca en las cimbras o en las losas. En algunas obras, tales como muros de contención inclinados o las partes de debajo de las aberturas de las ventanas, se hace necesario mover el concreto horizontalmente dentro de las cimbras, pero la distancia debe ser la menor posible. Donde haya agua estancada, el concreto se debe colocar de manera que sustituya el agua delante de él, pero no permita que el agua se mezcle con el concreto, pues esto reduciría su calidad. En todos los casos, se debe prevenir que el agua se acumule en los extremos, rincones y a lo largo de las caras de las cimbras. Se debe cuidar para evitar el daño de las subrasantes saturadas, a fin de que mantengan una capacidad portante suficiente para soportar las cargas estructurales. Los canalones (baldes) de descarga se usan para mover el concreto hacia niveles más bajos, sin segregarlo ni salpicarlo sobre el refuerzo y las cimbras. Se ha permitido la caída libre, en cajones, del concreto adecuadamente diseñado. Los resultados de una prueba de campo para determinar si el concreto se puede caer verticalmente 15 metros en un cajón sin segregarse, probaron que no hay diferencias significativas en la granulometría del agregado de la muestra de control del concreto que se entregó en la obra y la muestra de la caída libre tomadas en el fondo del cajón. Estudios de campo más recientes indican que la caída libre del concreto de alturas de hasta 46 metros (150 pies), no resulta en segregación de los ingredientes del concreto ni reduce la resistencia a compresión. Sin embargo, si no se usa un deflector para controlar el flujo del concreto en superficies inclinadas puede ocurrir segregación en su extremidad. Algunas veces, se coloca el concreto a través de aberturas, llamadas de ventanas, en los lados de cimbras altas y estrechas. Cuando un canalón descarga directamente a través de la abertura, sin el control del flujo del concreto en su extremidad, hay peligro de segregación. Se debe usar una tolva colectora afuera de la abertura para permitir que el concreto fluya suavemente a través de la abertura, disminuyendo la tendencia de segregación.

Cuando se coloca el concreto en cimbras altas en velocidades elevadas, se puede acumular agua de sangrado en la superficie superior, especialmente en el concreto sin aire incluido. Se puede reducir el sangrado disminuyéndose la velocidad de colocación y con el uso de mezclas con consistencia más secas, principalmente en las partes inferiores de las cimbras. Cuando sea posible, se debe colocar el concreto en un nivel de 300 a 400 mm debajo de la parte superior de la cimbra y se debe dejar el concreto cerca de una hora para que fragüe parcialmente. La colocación se debe reempezar antes que la superficie se endurezca para evitar la formación de juntas frías. Si es posible trabajar alrededor del refuerzo vertical, es una buena práctica sobrellenar la cimbra unos 25 mm y cortar el exceso de concreto después que se haya endurecido y el sangrado haya cesado. En la colocación monolítica de vigas de gran peralte, muros o columnas, la colocación del concreto debe parar para permitir el asentamiento de los elementos peraltados antes que el colado continúe en cualquier losa, viga o trabe dentro de ellos, evitando el agrietamiento entre los elementos estructurales. El

retraso debe ser suficientemente corto para permitir que la próxima capa del concreto se entrelace con la capa anterior, a través de la vibración, previniendo la formación de juntas frías y agujeros. Las ménsulas y capiteles de las columnas se deben considerar como parte del piso o de la losa de la cubierta y se los debe colocar integralmente con las losas.



Fig. 6-4. Las carretillas se usan para colar (colocar) el concreto en áreas que no tienen acceso por otros métodos.

Fig. 6-5. Los brazos giratorios en las esteras (bandas, cintas) transportadoras permiten que se coloque el concreto fresco de manera bastante homogénea en toda la cubierta.



Fig. 6-6. Los camiones basculantes depositan el concreto delante de la pavimentadora de cimbras deslizantes, la cual coloca a todo lo ancho de una calle en una sola pasada. Las barras de transferencia (pasadores) con revestimiento de epoxi sobre canasto metálico se posicionan en la junta y se clavan en la capa de base delante de la pavimentadora.

Colocación De Concreto Bajo El Agua

Si es posible, es preferible colocar el concreto al aire y no bajo el agua. Cuando se los debe colocar bajo el agua, el trabajo se debe realizar bajo una supervisión experimentada. Los principios básicos para el concreto convencional en locales secos se aplican, con sentido común, en la colocación bajo el agua. Se deben observar los siguientes puntos: Se debe especificar un concreto con revenimiento de 150 a 230 mm y la mezcla debe tener una relación agua-material cementante máxima de 0.45.

Normalmente, el contenido de material cementante debe ser superior a 390 kg/m³. Es importante que el concreto fluya sin segregarse, por lo tanto, el objetivo del proporcionamiento es la obtención de una mezcla cohesiva con alta trabajabilidad. Los aditivos anti-deslave se pueden utilizar para producir un concreto con cohesión suficiente para que se lo coloque hasta profundidades limitadas de agua, aun sin tubo embudo. El uso de agregado redondeado, una gran cantidad de finos y aire incluido ayudan en la obtención de la consistencia deseada. La corriente en el agua en la cual se coloca el concreto no debe superar 3 m por minuto. Los métodos para colocación del concreto bajo el agua incluyen: tremies, concreto bombeado, baldes, grout con agregado precolocado, bolsas de varilla y campana submarina.

El tremie es una tubería blanda y recta suficientemente larga para alcanzar el punto más bajo que se vaya a llenar con el concreto desde la plataforma sobre el agua. El diámetro de la tubería de la tremie debe ser, por lo menos, 8 veces el diámetro de tamaño máximo del agregado. Se fija una tolva en la parte superior de la tubería para recibir el concreto. La extremidad inferior de la tremie se debe conservar enterrada en el concreto fresco para mantener un sello debajo de la superficie superior y para obligar que el concreto fluya, bajo presión, por debajo de esta superficie. La colocación debe ser continua sin afectar el concreto previamente colado. La superficie superior se debe mantener lo más nivelada posible.

Las bombas de concreto móviles con radio variable facilitan la colocación del concreto bajo el agua. Como la manguera flexible en la bomba de concreto es similar a la tremie, se pueden aplicar las mismas técnicas. En el método de grout con agregado precolocado, las cimbras se llenan primeramente con agregado grueso y luego los vacíos entre los agregados se llenan con grout, produciéndose el concreto. El grout con agregado precolocado tienen ventajas en la colocación de concreto en agua en movimiento. El concreto se puede colocar más rápida y económicamente que en los métodos convencionales de colocación. Sin embargo, este método es muy especializado y se lo debe realizar por personal calificado y experimentado.

Las bolsas de arena llenas hasta la mitad con concreto plástico se pueden utilizar para pequeñas obras, relleno de huecos u obras temporales. El extremo atado debe estar volcado hacia afuera.

Consolidación Del Concreto

La consolidación es el proceso de compactación del concreto fresco, para moldearlo dentro de las cimbras y alrededor de los artículos insertos y del refuerzo, y para eliminar la concentración de piedras, agujeros y aire atrapado (Fig. 6-7). En el concreto con aire incluido, la consolidación no debe remover cantidades significativas de aire intencionalmente incluido. La consolidación se realiza a través de métodos manuales o mecánicos. El método escogido depende de la consistencia de la mezcla y de las condiciones de colocación, tales como la complejidad de las cimbras y la cantidad y espaciamiento del refuerzo. Normalmente, los métodos mecánicos que usan vibración interna o externa son los métodos preferidos de consolidación. Las mezclas trabajables y fluidas se pueden consolidar con varillado manual, es decir, insertando, repetidamente, en el concreto una varilla u otra herramienta adecuada. La varilla debe ser suficientemente larga para alcanzar el fondo de la cimbra o de la capa y suficientemente delgada para pasar fácilmente entre el refuerzo y las cimbras. El concreto con bajo revenimiento se puede volver en un concreto fluido, para facilitar la consolidación, a través del uso de superplastificantes, sin la adición de agua en la mezcla de concreto. Se puede utilizar un azadón para mejorar la apariencia de las superficies cimbradas. Una herramienta plana, similar a un azadón, se debe insertar y retirar repetidamente junto a la cimbra. Esto aleja el agregado grueso grande de la cimbra y ayuda la subida del aire atrapado hacia la superficie, donde se pueda escapar. Una mezcla diseñada para la consolidación rápida a través de métodos manuales no se debe consolidar mecánicamente, pues puede segregarse bajo la acción mecánica intensa.

La consolidación mecánica adecuada posibilita la colocación de mezclas poco fluidas, con baja relación agua-material cementante y alto contenido de agregado grueso, características normalmente asociadas a concretos de alta calidad, aún en elementos altamente reforzados (Fig. 6-8).



Fig. 6-7. Agujero y concentración de piedras son el resultado de la consolidación inadecuada.

Fig. 6-8. La vibración adecuada permite la colocación de mezclas de concreto con poca fluidez, aunque sea en miembros densamente reforzados.



Entre los métodos mecánicos están la centrifugación, usada para consolidar concretos con revenimiento de moderado a alto que se emplean para fabricar tubos, postes y pilotes; las mesas de golpeo o de caídas, usadas para compactar concretos muy rígidos de bajo revenimiento que se emplean en la producción de unidades prefabricadas de concreto arquitectónico; y la vibración - interna y externa.

Vibración

La vibración, interna o externa, es el método más utilizado para la consolidación del concreto. Cuando se vibra el concreto, la fricción interna entre las partículas de agregado se destruye temporalmente y el concreto se comporta como un líquido. El concreto se fragua en las cimbras bajo la acción de la gravedad y los vacíos grandes de aire atrapado suben hacia la superficie más fácilmente. La fricción interna se reestablece cuando la vibración se interrumpe.

Los vibradores, sea internos o externos, normalmente se caracterizan por sus frecuencias de vibración, expresadas como número de vibración por segundos o vibraciones por minuto. También se designan por la amplitud de vibración, que es la desviación en milímetros desde

un punto de descanso. La frecuencia de vibración se puede medir con el uso de un tacómetro de vibración.

Cuando se usa vibración para consolidar el concreto, se debe contar con un vibrador de reserva para usarlo en caso de falla mecánica.



Fig. 6-9. Los vibradores internos se usan normalmente para consolidar el concreto en muros, columnas, vigas y losas.

Vibración Interna. Los vibradores internos o de inmersión (Figs. 6-8 y 6-9) se usan normalmente para consolidar el concreto en muros, columnas, vigas y losas. Los vibradores de eje flexible consisten en una cabeza vibratoria conectada a un motor por medio de tal eje. Dentro de

la cabeza, un peso desbalanceado conectado al eje gira a alta velocidad, haciendo que el peso gire en una órbita circular. El motor se puede impulsar por electricidad, gasolina o aire. La cabeza vibratoria es normalmente cilíndrica con un diámetro que varía de 20 a 180 mm. Algunos vibradores tienen un motor eléctrico construido dentro de la cabeza, el cual normalmente tiene un diámetro de, por lo menos, 50 mm. Las dimensiones de la cabeza del vibrador, así como su frecuencia y amplitud conjuntamente con la trabajabilidad del concreto, afectan el desempeño del vibrador. Los vibradores de pequeño diámetro tienen altas frecuencias, que varían de 160 a 250 Hz (10,000 a 15,000 vpm) y bajas amplitudes, variando entre 0.4 y 0.8 mm. A medida que el diámetro de la cabeza aumenta, la frecuencia disminuye y la amplitud aumenta. El radio de acción efectivo de un vibrador aumenta con el aumento del diámetro. Vibradores con diámetro de 20 a 40 mm, tienen un radio de acción en el concreto fresco de 75 a 150 mm, mientras que el radio de acción de vibradores de 50 a 80 mm, varía de 180 a 350 mm.

El uso adecuado de los vibradores internos es importante para que se obtengan los mejores resultados. Los vibradores no se deben utilizar para mover el concreto horizontalmente, pues pueden causar segregación. Siempre que sea posible, el vibrador se debe bajar verticalmente en el concreto con espaciamientos regulares, bajo la acción de la gravedad. Debe penetrar hasta el fondo de la capa que se esté colocando y, por lo menos, hasta 150 mm dentro de cualquier capa colocada anteriormente. La altura de cada capa debe ser aproximadamente la longitud de la cabeza del vibrador o, generalmente, no superior a 500 mm en cimbras regulares. En losas delgadas, se debe insertar el vibrador inclinado u horizontalmente, a fin de que se mantenga la cabeza del vibrador completamente inmersa. Sin embargo, no se debe arrastrar el vibrador aleatoriamente en la losa. En losas sobre el terreno, el vibrador no debe entrar en contacto con la subrasante. La distancia entre las inserciones debe ser cerca de $1\frac{1}{2}$ veces el radio de acción, para que el área visiblemente afectada por el vibrador traslape en unos pocos centímetros el área adyacente, previamente vibrada.

El vibrador se debe mantener estacionario hasta que se obtenga la consolidación adecuada y luego se lo debe retirar lentamente. El tiempo de inserción de 5 a 15 segundos normalmente provee una consolidación apropiada. El concreto se debe mover para llenar los huecos dejados por la retirada del vibrador. Si los huecos no se llenan, la reinserción del vibrador en un punto cerca debe resolver el problema. La adecuación de la vibración se juzga por la experiencia

y por los cambios en la apariencia de la superficie del concreto. Los cambios que se deben observar son la inmersión de partículas grandes de agregado, la nivelación general de la superficie, la aparición de una película fina de mortero sobre la superficie y la interrupción de la subida de burbujas grandes de aire atrapado hacia la superficie.

Los vibradores internos pueden afectar considerablemente el sistema de aire incluido en el concreto. Una orientación detallada sobre la vibración adecuada se debe seguir. Permitir que el vibrador se quede inmerso en el concreto después que la pasta se haya acumulado sobre la cabeza es una mala práctica y puede resultar en falta de uniformidad. El periodo de tiempo que se debe dejar el vibrador en el concreto dependerá de la trabajabilidad del concreto, de la potencia del vibrador y de la naturaleza de la sección que se vaya a compactar.

En secciones densamente reforzadas, donde no se puede insertar el vibrador interno, algunas veces es útil la vibración de las barras de refuerzo fijándose un vibrador de cimbras a las

porciones expuestas de las varillas. Esta práctica elimina el aire y el agua atrapados bajo las barras de refuerzo y aumenta la adherencia entre las barras y el concreto a su alrededor. Se debe utilizar este método sólo si el concreto aún es trabajable bajo la acción del vibrador. Los vibradores internos no se deben fijar o tocar las barras de refuerzo con este propósito, pues se pueden dañar los vibradores. La revibración del concreto previamente compactado se puede realizar en el concreto fresco y en la capa inferior que se haya parcialmente endurecido. La revibración se utiliza para mejorar la adherencia entre el concreto y las barras de refuerzo, liberar el agua atrapada bajo las varillas de refuerzo horizontales y remover vacíos de aire atrapados. En general, si el concreto se vuelve trabajable bajo la revibración, esta práctica no es perjudicial y puede ser benéfica.

Vibración Externa. La vibración externa consiste en vibradores de cimbras, mesas vibratorias o vibradores de superficie, tales como las plantillas vibratorias, vibradores de placa, plantillas de rodillos vibratorios o llanas manuales vibratorias. Los vibradores de cimbras, diseñados para que se fijen con seguridad en la parte de fuera de la cimbra, son especialmente útiles: (1) para consolidar concreto en miembros que son muy delgados o congestionados con refuerzo, (2) para suplementar la vibración interna y (3) para mezclas rígidas, cuando los vibradores internos no se pueden utilizar.

Generalmente la fijación de un vibrador de cimbra directamente a la cimbra no es una práctica satisfactoria. Tal vez, se deba fijar el vibrador en una placa de acero, la cual se sujeta a una viga I de acero o a canales que pasan a través de los atiesadores de la cimbra en tramos continuos.

Las fijaciones sueltas pueden resultar en pérdidas de energía de vibración considerables y en consolidación inadecuada. Los vibradores de cimbras pueden ser tanto eléctricos como neumáticos. Se los debe espaciar para que se distribuya uniformemente la intensidad de vibración por toda la cimbra. El espaciamiento ideal se determina a través de experimentación. Para que se obtengan los mejores resultados, algunas veces, puede ser necesaria la operación de algunos de los vibradores de cimbra en frecuencias diferentes y, por lo tanto, se recomienda que los vibradores de cimbra sean equipados con controles para que se regulen la frecuencia y la amplitud. La duración de la vibración externa es considerablemente más larga que la vibración interna.

Los vibradores de cimbra no se deben aplicar a lo largo de la parte superior de la cimbra. La vibración de la parte superior de la cimbra, principalmente si la cimbra es delgada o no es suficientemente rígida, causa un movimiento hacia adentro y afuera que puede crear un hueco entre el concreto y la cimbra. Los vibradores internos se recomiendan para el empleo en esta área de las cimbras verticales.

Los vibradores, como las mesas vibratorias, se usan en plantas de elementos prefabricados. Deben estar equipados con controles para que se pueda variar la frecuencia y la amplitud, de acuerdo con el tamaño del elemento a colocar y de la consistencia del concreto. Las mezclas más rígidas requieren frecuencias más bajas y amplitudes mayores que las mezclas más trabajables. El aumento de la frecuencia y la disminución de la amplitud, a medida que la vibración progresa, mejorarán la consolidación.

Los vibradores de superficie, como las plantillas vibratorias, se usan para consolidar concreto en pisos y superficies planas. La plantilla vibratoria provee un control eficiente de las operaciones de nivelación y ahorran una gran cantidad de trabajo. Cuando se utiliza este tipo de equipo, el concreto no debe tener revenimiento mayor que 75 mm. En concretos con este revenimiento, se debe tener cuidado, pues la vibración de la superficie de este tipo de concreto resulta en acumulación excesiva de mortero y material fino sobre la superficie, reduciendo la resistencia al desgaste. Por la misma razón, los vibradores de superficie no se deben operar después que se haya consolidado el concreto adecuadamente. Como los vibradores de superficie de losas de concreto son menos eficientes a lo largo de los bordes, se debe usar un vibrador de inmersión en esta área, inmediatamente antes de la aplicación de la plantilla vibratoria. Las reglas vibratorias se usan para consolidar losas de hasta 250 mm de espesor, desde que estas losas no sean reforzadas o sólo tengan poco refuerzo. Se recomienda la vibración interna o la combinación de vibración interna y de superficie para losas reforzadas.



Fig. 6-10. Las reglas (plantillas) vibratorias, tales como la unidad de armadura, reducen el trabajo de



nivelación mientras que consolidan el concreto.

Fig. 6-11. Cuando las tolerancias de las losas no son muy estrictas, un operador experimentado usando esta regla vibratoria, no necesita que los extremos de la regla sean soportadas lateralmente. En este caso, visualmente combina elevaciones dejadas por las cimbras o pasadas anteriores. El proceso se llama nivelación mojada.

Consecuencias de la Vibración Inadecuada. A continuación se presentan los peores defectos causados por la falta de vibración: (1) agujero, (2) cantidad excesiva de aire atrapado, (3) rayado de arena, (4) juntas frías, (5) líneas de colocación y (6) agrietamiento por sedimentación o asentamiento. El agujero resulta cuando el espacio entre las partículas de agregado grueso no se llena con el mortero. Sus causas pueden ser equipo defectuoso, procedimientos inadecuados de colocación, un concreto que contenga mucho agregado grueso o congestión de refuerzo. La cantidad excesiva de aire atrapado es similar al agujero, pero no tan severa. Los equipos vibratorios y los procedimientos de operación son sus causas principales, pero las otras causas de agujeros también se aplican. El rayado de arena ocurre cuando el sangrado excesivo retira el mortero a lo largo de la cimbra. Una mezcla áspera con trabajabilidad deficiente por falta de mortero o de agregado fino puede causar el rayado de arena. Además, la segregación causada por el golpeo del refuerzo sin la vibración adecuada también puede contribuir para este tipo de defecto.

Las juntas frías son discontinuidades resultantes del retraso en la colocación que permite que una capa se endurezca antes de la colocación de la capa adyacente. Esta discontinuidad puede reducir la integridad estructural del miembro de concreto si las capas sucesivas no se unen adecuadamente. Se puede mantener el concreto vivo a través de la revibración a cada 15 minutos o menos, dependiendo de las condiciones de la obra. Sin embargo, una vez que se aproxime el momento del inicio del fraguado, se debe interrumpir la vibración y la superficie se debe preparar apropiadamente para recibir el concreto. Las líneas de colocación o las líneas de vertido son líneas oscuras entre la colocación de amasadas adyacentes. Pueden ocurrir si, durante la vibración de la capa superior, el vibrador no penetra suficientemente en la capa inferior para que se entrelacen las capas. El agrietamiento por asentamiento puede ocurrir cerca del inicio del fraguado cuando el concreto se asienta o sedimenta sobre el acero de refuerzo, en elementos relativamente profundos que no hayan sido adecuadamente vibrados. En la revibración, al penetrar el vibrador en el concreto por su peso propio, por última vez, puede eliminar estas fisuras. Los defectos resultantes de la vibración excesiva son: (1) segregación, pues la vibración y la gravedad hacen que los agregados más pesados se sedimenten, mientras que los agregados más ligeros suban, (2) rayado de arena, (3) pérdida de aire incluido en el concreto con aire incorporado, (4) flecha de la cimbra o daño de la cimbra y (5) falla de la cimbra, causada por la presión excesiva resultante de la vibración del mismo local por mucho tiempo o por una velocidad más elevada de colocación del concreto que la tasa de diseño. La falta de vibración es un problema más común que la vibración excesiva.

Losas De Concreto

Las losas de concreto se pueden acabar de muchas maneras, dependiendo del uso en servicio que se desee. Se pueden solicitar varios colores y texturas, tales como el agregado expuesto o la superficie estampada. Para obtener el perfil y nivel adecuados, algunas superficies pueden requerir solamente la nivelación y el enrasado, mientras que se pueden especificar el escobillado (cepillado) emparejado o alisado de otras superficies.

El mezclado, transporte y manejo del concreto para losas se deben coordinar cuidadosamente con las operaciones de acabado. No se debe colocar el concreto sobre el terreno o dentro de las cimbras más rápidamente de lo que se pueda extender, nivelar, consolidar y aplanar. En realidad, el concreto no se debe extender sobre un área extremadamente grande antes de la nivelación, ni se debe nivelar un área muy grande y permitir que el agua de sangrado se acumule antes del aplanado. Los grupos de acabado deben ser suficientemente grandes para colocar, acabar y curar adecuadamente las losas de concreto, considerándose los efectos de la temperatura de concreto y de las condiciones atmosféricas sobre el tiempo de fraguado del concreto y el tamaño del colado que se realizará.

Preparación de la Subrasante

Las fisuras, asentamiento de la losa y fallas estructurales frecuentemente son resultantes de la preparación inadecuada y de la mala compactación de la subrasante. La subrasante sobre la cual se vaya a colocar una losa debe ser bien drenada, con capacidad de soporte uniforme, nivelada o adecuadamente inclinada y libre de césped, materia orgánica e hielo. Las tres mayores causas de falta de uniformidad de soporte son: (1) presencia de suelos blandos, inestables y saturados o suelos pedregosos, (2) relleno sin la compactación adecuada y (3) suelos expansivos. El soporte uniforme no se puede lograr solamente vertiéndose material granular sobre el área blanda. Las áreas blandas o con suelos saturados y puntos duros se deben excavar y rellenar con un suelo similar a la subrasante circundante o con material granular tal como la arena, la grava o piedra triturada, en caso de que no haya disponibilidad de un suelo similar, a fin de prevenirse la fisuración por asentamiento y por falta de soporte. Todos los materiales de relleno se deben compactar para proporcionar el mismo soporte uniforme del resto de la subrasante. La prueba con el camión basculante totalmente cargado u otro equipo igualmente pesado, normalmente se usa para identificar áreas con suelos inestables que necesitan de una atención adicional.

Durante la preparación de la subrasante, se debe recordar que el suelo sin alteración generalmente proporciona un mejor soporte para losas que el material compactado. Los suelos expansivos, compresibles y potencialmente problemáticos se deben evaluar por un ingeniero geotécnico y se puede requerir un diseño especial de la losa.

La subrasante se debe humedecer con agua antes de la colocación del concreto, pero no debe contener charcos o puntos suaves, húmedos y embarrados cuando se coloque el concreto.



Fig. 6-13. Los medidores nucleares que contienen fuentes radioactivas se usan para medir la densidad del suelo y la humedad pueden determinar si se compactó adecuadamente la subbase

Subbase

Se puede construir una losa satisfactoria sobre el terreno sin la subbase. Sin embargo, frecuentemente se coloca una subbase sobre la subrasante como una capa niveladora para igualar irregularidades superficiales pequeñas, mejorar la uniformidad de soporte, llevar el sitio para el nivel deseado y servir como un freno capilar entre la losa y la subrasante.

Donde se emplee la subbase, el contratista debe colocar y compactar, a prácticamente la densidad máxima, una capa de 100 mm de espesor de material granular, tal como arena, grava, piedra triturada o escoria. Si se necesita una subbase más gruesa, el material se debe compactar en capas finas con cerca de 100 mm, a menos que las pruebas determinen que la compactación de una capa más gruesa sea posible (Fig. 6-13). Las subrasantes y las subbases se pueden compactar con vibradores de placa pequeños, rodillos vibratorios y mazos o pisones de manuales. A menos que la subbase sea bien compactada, es mejor no utilizar la subbase, sencillamente dejando la subrasante descubierta y sin alteración.

Cimbras

Las cimbras de los bordes y las maestras intermedias se deben fijar firmemente en nivel y perfil especificado para la superficie acabada. Las cimbras para los bordes de las losas son normalmente de metal o de madera apuntaladas firmemente con las estacas de madera o de metal, para mantenerlas en alineamiento horizontal y vertical. Las cimbras deben ser rectas y libres de combaduras y deben tener resistencia suficiente para resistir la presión del concreto, sin curvarse. También deben ser suficientemente resistentes para soportar cualquier equipo mecánico de colocación y acabado.

Protección Contra la Lluvia

Antes del inicio de la colocación del concreto, el propietario y el contratista deben estar conscientes de algunos procedimientos que se deben seguir en caso de una lluvia eventual durante la colocación del concreto. Deben estar disponibles en la obra cubiertas protectoras, tales como láminas de polietileno o lona impermeable. Cuando la lluvia empiece, todas las

operaciones de dosificación y colocación se deben interrumpir y el concreto fresco se debe cubrir hasta el punto que la lluvia no marque la superficie del concreto, ni tampoco retire la pasta de cemento.

Cuando la lluvia cese, se debe remover la cubierta y se deben tomar medidas correctivas, tales como retexturización de la superficie o retrabajo del concreto colocado fresco, antes que se reasuma la colocación del concreto.

Colado y Esparcido (Colocación y Extendido)

La colocación debe empezar en el punto más lejos de la losa e ir avanzando hacia la fuente de abastecimiento de concreto. El concreto, que se debe colocar lo más cerca posible de su posición final, debe sobrellenar ligeramente las cimbras y se lo debe nivelar aproximadamente con palas de extremo cuadrado o rastrillos para concreto. Los vacíos grandes atrapados en el concreto durante la colocación se deben retirar a través de la consolidación.

Nivelación (Enrasado)

La nivelación o el enrasado es el proceso de corte del exceso de concreto para que la superficie de la losa se quede en el nivel apropiado. La plantilla que se usa en el método manual es una regla aunque el borde inferior puede ser recto o ligeramente curvado, dependiendo de la superficie especificada. Se la debe mover sobre el concreto en un movimiento de corte o de aserrado, mientras que se avanza una pequeña distancia en cada movimiento. Se debe tener un exceso de concreto contra la parte delantera de la regla para ir llenando las áreas más bajas, a medida que la regla pasa sobre la losa. Una losa de 150 mm necesita de un exceso de cerca de 25 mm (1 pulg.).

Las reglas, algunas veces, están equipadas con vibradores que consolidan el concreto y ayudan a reducir el trabajo de enrasado. La combinación de reglas y vibradores se llama de plantilla vibratoria (Fig. 11-10). La nivelación, la consolidación y el aplanado se deben completar antes que se acumule el exceso de agua de sangrado sobre la superficie.

Aplanado

Se debe utilizar una llana o una aplanadora (Fig. 6-14 superior) inmediatamente después del enrasado para eliminar los puntos altos y bajos y embeber las partículas grandes de agregado. La flota de mango largo (Fig. 6-14 inferior) se usa en áreas muy grandes que no se puede tener acceso con una flota de mango corto. Frecuentemente se usan las reglas de autopistas para que se obtengan superficies muy planas (Fig. 6-15). En concreto sin aire incluido (incorporado), estas herramientas pueden ser de madera, pero en el concreto con aire incluido, deben ser de aleación de aluminio o magnesio.



Fig. 6-14. (superior) El aplanado lleva la superficie al nivel especificado y se hace en áreas estrechas donde las talochas no pueden alcanzar. El aplanado se debe completar antes que el agua de sangrado (exudación) se acumule sobre la superficie.



Fig. 6-14. (inferior) Las llanas de mango largo de carreteras se usan en los pavimentos de las carreteras y en la construcción de pisos donde se desean superficies muy planas.



El aplanado se debe completar antes que el agua de sangrado se acumule sobre la superficie. Se debe tener precaución para que no se trabaje en exceso el concreto, pues puede resultar en una superficie con menor durabilidad.

Las operaciones precedentes deben nivelar, moldear y alisar la superficie y trabajar una pequeña cantidad de pasta de cemento. Aunque a veces no se necesita de acabado adicional, en la mayoría de las losas, el aplanado se complementa por una o más de las siguientes operaciones: bordeado, junteado, emparejado, alisado y cepillado. El concreto debe endurecerse ligeramente antes del inicio de cualquiera de estas operaciones. Cuando el brillo

del agua de sangrado haya desaparecido y el concreto pueda soportar la presión provocada por los pies con un hundimiento de solamente 6 mm, la superficie está lista para las operaciones de acabado (Fig. 6-16).

Emparejar y alisar el concreto antes que el sangrado se complete, también puede atrapar agua de sangrado debajo de la superficie acabada, produciéndose una zona débil o con vacíos, que ocasionalmente resultarán en desprendimiento de láminas. El uso de concreto con bajo revenimiento, contenido de cemento adecuado y agregado fino con granulometría apropiada minimiza el sangrado y ayuda a asegurar una losa que no necesite de mantenimiento. Para losas exteriores, la inclusión de aire también disminuye el sangrado.



Fig. 6-16. El emparejado mecánico usando un equipo portátil "walk-behind" y un equipo de montar. Las pisadas indican el momento adecuado. Cuando el brillo del agua de sangrado se haya evaporado y el concreto pueda sostener la presión de los pies con sólo un pequeño hundimiento, la superficie está lista para el emparejado y las operaciones de acabado.

Bordeado y Junteado

Se requiere el bordeado a lo largo de todo el borde de la cimbra y de las juntas de aislamiento y construcción de los pisos y losas externas, tales como paseos, pavimentos y patios. El bordeado densifica y compacta el concreto cerca de las cimbras, donde el alisado y el emparejado son menos efectivos, aumentando su durabilidad, disminuyendo su vulnerabilidad al descascaramiento, a la fragmentación y a las erupciones.

En la operación de bordeado, se debe separar el concreto de las cimbras hasta una profundidad de 25 mm, con el uso de una cuchara de albañilería puntiaguda. Después se debe mantener una recortadora plana a la superficie y pasarla con su parte delantera ligeramente levantada para prevenir que la recortadora deje una impresión muy profunda. El bordeado puede ser necesario después de cada operación de acabado en las losas interiores. Las prácticas adecuadas de junteado pueden eliminar fisuras aleatorias antiestéticas. Las juntas de contracción, también llamadas de juntas de control, se producen con una acanaladora manual o por la inserción de tiras de plástico, madera, metal o de material preformado para juntas dentro del concreto aún no endurecido.

Cuando se usan métodos manuales para la construcción de juntas en losas exteriores, se deben marcar las cimbras para localizar las juntas con precisión. Antes del aplanado, se puede utilizar el borde de una tira fina de madera o metal para empujar el concreto grueso para abajo, donde la junta se trabajará manualmente. Entonces, se deben cortar las juntas inmediatamente después del aplanado o conjuntamente con las operaciones de bordeado. Las juntas de control también se pueden producir en el concreto endurecido con el uso de una sierra.

Emparejado

Se debe emparejar el concreto, después del bordeado y del junteado manuales, con una llana manual o con máquina para acabado equipada con cuchilla pala de emparejar (Fig. 6-16).

El propósito del emparejado es: (1) insertar las partículas de agregado que estén cerca de la superficie, (2) remover pequeñas imperfecciones, salientes y vacíos y (3) compactar el mortero en la superficie como preparación para otras operaciones de acabado. No se debe trabajar el concreto en exceso, pues puede arrastrar el agua y el material fino hacia la superficie y resultar en defectos de la superficie.

Las llanas manuales normalmente son de fibra de vidrio, magnesio y madera. Las llanas de metal reducen la cantidad de trabajo necesario porque el rastreado se reduce y la llana puede deslizarse más fácilmente sobre la superficie. La llana de magnesio es esencial para el emparejado manual de concreto con aire incluido, pues las de madera tienden a adherirse a la superficie y a rasgarla.

Las llanas de metal ligero también producen una superficie más suave que las de madera.

La llana de mano se debe mantener plana sobre la superficie de concreto y se la debe mover con un movimiento ligeramente cortante y en círculos para llenar vacíos, cortar salientes y

suavizar abultamientos. Se pueden utilizar llanas eléctricas en grandes losas, a fin de que se reduzca el tiempo de acabado. El emparejado produce una textura relativamente uniforme que tiene una buena resistencia a resbalones y se usa frecuentemente como acabado final, principalmente en losas externas. Cuando el acabado final que se desea es un acabado con llana, puede ser necesario el emparejado por segunda vez, después que la superficie se haya endurecido un poco más. Las marcas dejadas por las recortadoras y las acanaladoras se remueven normalmente durante el emparejado, a menos que se las tenga que utilizar nuevamente después del emparejado final.

Alisado

Cuando se desea obtener una superficie suave, dura y densa, el emparejado debe ser seguido por el alisado con cuchara metálica (Fig. 6-17). El alisado no se debe realizar sobre una superficie que no haya sido emparejada y después del aplanado no es un procedimiento adecuado de acabado. Cuando se acaban manualmente las losas grandes, es una costumbre emparejar y alisar inmediatamente un área antes de mover el tablón para las rodillas. Estas operaciones se deben retrasar hasta que el concreto se haya endurecido suficientemente para que el agua y el material fino no se disloquen hacia la superficie. Evidentemente que un retraso muy largo resultará en una superficie muy dura para el emparejado y el alisado. Sin embargo, la tendencia es la de emparejar y alisar la superficie muy tempranamente. El emparejado y el alisado prematuros pueden resultar en descascaramiento, fisuración o polvo y en una superficie con menor resistencia al desgaste. No es una buena práctica esparcir cemento seco sobre la superficie húmeda con la intención de absorber el exceso del agua, pues puede causar fisuración. Estos puntos húmedos se pueden evitar, si es posible, con el ajuste de la granulometría del agregado, de las proporciones de la mezcla y de la consistencia. Cuando estos puntos húmedos ocurran, las operaciones de acabado se deben retrasar hasta que el agua se evapore o se remueva con un rastro de goma para pisos o se arrastre con una manguera de jardín de goma blanda. Si se usan rastros o mangueras, se debe tener cuidado para que el exceso de pasta de cemento no se remueva con el agua.

El primer alisado puede producir la superficie deseada, libre de defectos. Sin embargo, la lisura, densidad y resistencia al desgaste de la superficie se pueden mejorar con el alisado adicional. Debe haber un lapso de tiempo entre los alisados consecutivos para permitir que el concreto se endurezca. A medida que la superficie se endurece, se debe realizar cada alisado sucesivo con pequeñas llanas, usando progresivamente mayor inclinación y presión en la hoja de la llana. La pasada final debe provocar un sonido metálico a medida que la llana se mueve sobre la superficie endurecida. La llana eléctrica usada para alisar es similar a la frata eléctrica usada para emparejar, pero la máquina se equipa con hojas de acero menores e individuales que se las puede ajustar para la inclinación y la presión sobre el concreto. Cuando se realiza el primer alisado mecánicamente, se debe ejecutar, por lo menos, un alisado manual para remover pequeñas irregularidades. Si es necesario, después del alisado, se deben acabar nuevamente los bordes y las juntas, para que se mantengan la uniformidad y las líneas. El concreto exterior no se debe alisar por algunas razones: (1) puede llevar a la pérdida de aire incluido, causada por el exceso de acabado de la superficie y (2) la superficie alisada puede ser resbaladiza cuando está húmeda. El emparejado y el cepillado deben ser suficientes para el concreto externo.



Fig. 6-17. Emparejado manual (mano derecha) de la superficie con una aplanadora (flota, talocha, aplanadera) mantenida de manera plana sobre la superficie del concreto y movida en arco con un movimiento ligeramente cortante. El alisado (mano izquierda) con la hoja inclinada se realiza antes de mover el tablón para las rodillas

Cepillado (Escobillado)

El cepillado (escobillado) se debe realizar antes que el concreto se haya endurecido completamente, pero cuando sea suficientemente duro para retener la impresión de rayado, produciendo así una superficie resistente al resbalón (Fig. 6-18). El rayado áspero se puede lograr con un rodillo de ganchos o una escoba de cerdas duras. Este acabado de escobillado con textura gruesa



normalmente sigue el emparejado. Si se desea una textura más fina, el concreto se debe emparejar hasta que se obtenga una superficie lisa y entonces se lo debe cepillar con una escoba de cerdas suaves. El concreto en áreas internas se puede también alisar antes del cepillado. Se obtienen los mejores resultados con escobas especialmente producidas para texturizar el concreto. Las losas normalmente se escobean transversalmente a la dirección del tráfico. Los pavimentos de las autopistas se texturizan con alambres duros para mejorar la fricción y reducir el patinazo (Fig. 6-19).



Fig. 6-18. El cepillado provee una superficie resistente al resbalón, principalmente usado en concretos exteriores.

Fig. 6-19. (superior) Esta máquina está Texturizando la superficie del concreto fresco. (Inferior) El texturado ranurado) de los pavimentos mejora la fricción de las llantas y reduce el patinazo.

Colocación Sobre El Concreto Endurecido

Juntas de Construcción Adherentes al Concreto Estructural

Una junta de construcción adherente es necesaria entre dos colados de concreto estructural. Cuando se coloca el concreto fresco en contacto con un otro existente, se requieren una adherencia de alta calidad y una junta estanca. Las juntas de construcción con poca adherencia normalmente resultan de: (1) falta de adherencia entre el concreto viejo y el nuevo o (2) una capa débil y porosa en el concreto endurecido en el área de la junta. Por lo tanto, la calidad de la junta de adherencia depende de la calidad del concreto endurecido y de la preparación de la superficie. En columnas y muros, el concreto cerca de la superficie de una capa frecuentemente tiene una calidad inferior a la del concreto subyacente. Esto puede ser debido a la mala consolidación o al uso de mezclas mal proporcionadas o con alto revenimiento (asentamiento) que pueden causar lechadas, sangrado y segregación. Aún en mezclas bien proporcionadas y cuidadosamente consolidadas, es inevitable el asentamiento de algunas partículas de agregado y la subida de agua hacia la superficie, especialmente si las velocidades de colocación son altas. Las cimbras que circundan el concreto también previenen la salida de humedad del concreto fresco. Las cimbras proporcionan un curado adecuado mientras que permanezcan en el concreto, pero el área superior donde no hay cimbras puede secarse muy rápidamente, resultando en una capa porosa, a menos que se proteja y cure el concreto.

Preparación del Concreto Endurecido

Cuando se coloca el concreto fresco sobre un concreto recientemente endurecido, se deben tomar ciertas precauciones para que se asegure una junta bien adherida y estanca. El concreto endurecido debe ser limpio, sano y razonablemente áspero, con algunas partículas de agregado grueso expuestas. Se debe remover cualquier lechada, mortero blando, polvo, astillas de madera, aceite de las cimbras u otro material extraño, pues pueden interferir en la adherencia de las colocaciones subsecuentes. Se debe raspar la superficie del concreto viejo, sobre la cual se vaya a colocar el concreto fresco, y se debe limpiar todo el polvo, membranas superficiales, partículas sueltas, grasa, aceite y material extraño. En la mayoría de los casos, será necesaria la remoción de toda la superficie hasta que se encuentre el concreto sano. Algunos de los métodos de raspado y limpieza que satisfactoriamente exponen el agregado grueso, incluyen el uso de martillos picadores ligeros, chorros de agua, escarificadores, chorros de arena y pulverizadores. Se debe evitar la contaminación de la superficie limpia antes que el grout de adherencia y la sobre capa se coloquen.

El concreto parcialmente fraguado o recientemente endurecido puede requerir sólo un cepillado con cerdas de alambre duro. En algunos tipos de construcción, tales como presas, la superficie de cada capa de concreto se debe cortar con un chorro de agua y aire de alta velocidad para exponer el concreto limpio y sano, poco antes del fraguado final. Esto se hace normalmente de 4 a 12 horas después de la colocación. En seguida, la superficie se debe proteger y curar continuamente hasta que se reasuma la colocación del concreto en la próxima capa. En pisos de dos capas, la superficie de la losa de la base se puede tornar áspera con una escoba de acero o de fibra dura, poco antes del fraguado. La superficie debe estar nivelada, considerablemente rayada y libre de lechada. Se la debe proteger hasta que se la limpie completamente, justo antes de la aplicación del grout y de la mezcla de la capa superior. Al colocarse un revestimiento adherido sobre una losa de piso, se debe limpiar la

losa de la base de toda lechada, polvo, restos, grasa u otras sustancias extrañas, a través de uno de los siguientes métodos:

- a. Chorro de arena seca o húmeda
- b. Chorro de agua de alta presión
- c. Remoción mecánica con rueda de afilar
- d. Escobas eléctricas o aspirador de polvo

Se puede dejar el concreto endurecido secar o se lo puede humedecer antes de la colocación del concreto nuevo, sin embargo, la superficie no debe estar mojada, ni tampoco debe tener agua acumulada sobre ella. Estudios de laboratorio indican que se obtiene una adherencia un poco mejor sobre una superficie seca que sobre una mojada. Sin embargo, el aumento del nivel de humedad en el concreto endurecido y en el medio ambiente circundante reduce la pérdida de agua de la mezcla de concreto, que puede ser benéfico, especialmente en días calurosos y secos.

Para producir una junta de construcción horizontal en un muro de concreto reforzado, se obtienen resultados satisfactorios si se montan las cimbras hasta el nivel de la junta, sobrellenándolas unos pocos centímetros y, entonces, removiendo el exceso de concreto un poco antes de su endurecimiento. Después de esto, se debe raspar manualmente la superficie con un cepillo duro.

En el caso de las juntas de construcción verticales coladas contra un muro de dique, la superficie del concreto generalmente es muy lisa para permitir una buena adherencia. Por lo tanto, se debe tener especial cuidado para remover la superficie lisa antes de levantar las cimbras nuevamente para la colocación del concreto fresco contra la junta. El cepillado con cerdas de alambre duro puede ser suficiente si el concreto tiene menos de tres días de edad, de lo contrario, podría ser necesaria la aplicación de martillado, seguido por un lavado con agua para remover el polvo y partículas sueltas.

Adherencia del Concreto Nuevo con el Concreto Previamente Endurecido

Se debe tener cuidado al producirse juntas de construcción horizontales en secciones de muros, donde se colocará concreto fresco sobre concreto endurecido. Se puede obtener una buena adherencia con la colocación de un concreto rico en los 150 mm del fondo de la nueva capa y con la vibración de toda la interfase de la junta. Alternativamente, se puede extender un grout de cemento y arena en la superficie inmediatamente antes de la colocación.

La capa superior de concreto de las losas se puede unir a la losa de la base previamente preparada a través de uno de los siguientes métodos:

1. Mortero de arena y cemento portland: un mortero de 1 para 1 de cemento y arena y relación agua-cemento inferior a 0.45, mezclado hasta una consistencia cremosa, se extiende sobre la superficie preparada seca o mojada (sin agua libre) de la losa de la base.
2. Látex: un agente de adherencia a base de látex se adiciona al mortero de cemento y arena y se esparce, de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
3. Epoxi: Se aplica un agente de adherencia aprobado, a base de epoxi, sobre el concreto de la base, de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

El procedimiento de adherencia debe producir una resistencia a tensión de adherencia con el concreto de la base que exceda 10 kg/cm² o 1.0 MPa. El mortero o el grout se colocan a una pequeña distancia delante de la capa superior del concreto (Fig. 6-20). Este método también se puede aplicar en juntas horizontales en muros. No se debe permitir que el mortero se



seque antes de la colocación de la capa superior, pues de lo contrario, puede actuar como una superficie de baja calidad para la adherencia. La superficie de la losa de la base se debe preparar por uno de los métodos discutidos anteriormente.

Fig. 6-20. Aplicación de groute de adherencia delante de la capa superior de concreto. El groute no puede secarse antes que se coloque el concreto

Ejecución De Juntas En Pisos Y Muros

Los tres tipos de juntas a continuación son comunes en la construcción en concreto: juntas de aislamiento, juntas de contracción y juntas de construcción.

Juntas de Aislamiento

Las juntas de aislamiento permiten movimientos diferenciales tanto horizontales como verticales en las partes adyacentes de la estructura. Se las usa, por ejemplo, alrededor del perímetro de las losas sobre el terreno, alrededor de columnas y alrededor de cimentaciones de máquinas para separar la losa de las partes más rígidas de la estructura.

El material para juntas de aislamiento pueden ser tan finas como 6 mm, pero normalmente se usa una junta de 13 mm. Se debe tener cuidado para garantizar que todos los bordes en toda la profundidad de la losa se aíslan de las construcciones adyacentes, pues de lo contrario puede ocurrir agrietamiento. Las columnas en zapatas separadas se aíslan de la losa del piso con una junta de forma circular o cuadrada. La de forma cuadrada se debe girar para que sus esquinas queden alineadas con las juntas de control y de construcción.

Juntas de Contracción

Las juntas de contracción (6-21) permiten el movimiento en el plano de la losa o del muro e inducen un agrietamiento controlado, causado por la contracción por secado y térmica, en un local preelegido. Las juntas de contracción se deben construir para permitir la transferencia de las cargas perpendiculares al plano de la losa o del muro. Si no se usan juntas de contracción, o si se las espacia mucho en las losas sobre el terreno o en muros con poco refuerzo, pueden aparecer fisuras aleatorias, que son más probables de ocurrir cuando la contracción por secado y térmica produce esfuerzos de tensión que superan la resistencia del concreto. Las juntas de contracción en losas sobre el terreno se pueden producir de varias maneras. Uno de los métodos más comunes consiste en aserrar en una ranura recta continua en la parte superior de la losa (Fig. 11-28). Esto crea un plano de debilidad en el cual se formará la fisura. Las cargas verticales se transmiten a través de la junta por el enlace de los agregados entre las caras opuestas de la fisura, desde que la fisura no esté muy abierta y el espaciamiento entre las juntas no sea muy grande. El ancho de la fisura en las juntas de contracción aserradas que excedan 0.9 mm no transfieren cargas confiablemente.

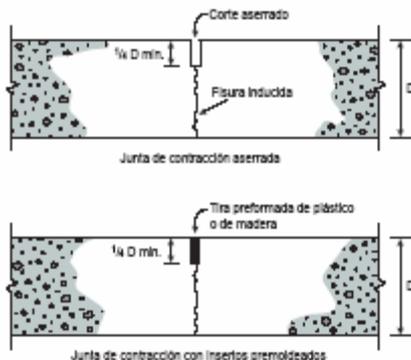


Fig. 6-21. Juntas de contracción proveen el movimiento horizontal en el plano de la losa o del muro e induce fisuras controladas que se causan por la contracción por secado y térmica.

Fig. 6-22. El aserrado de un corte continuo en la parte superior de la losa es uno de los métodos más económicos para producir las juntas de contracción.



La eficiencia de la transferencia de carga por el enlace del agregado no depende solamente del ancho de la fisura. Otros factores incluyen: espesor de la losa, soporte de la subrasante, magnitud de la carga, repeticiones de la carga y angularidad del agregado. Se pueden utilizar las barras de transferencia de acero para mejorar la transferencia de carga en las juntas de contracción, cuando se esperan cargas pesadas de las ruedas. El aserrado se debe coordinar con el tiempo de fraguado del concreto. Se lo debe empezar tan pronto en cuanto el concreto se haya endurecido suficientemente para prevenir que los agregados se desplacen por la sierra. El aserrado se debe completar antes que los esfuerzos debidos a contracción por secado se vuelvan suficientemente grandes para producir agrietamiento. La sincronización depende de factores, tales como las proporciones de la mezcla, condiciones ambientales y tipo y dureza de los agregados. Las nuevas técnicas de aserrado en seco permiten que se realice el corte de la sierra poco después de las operaciones de acabado final. Generalmente, la losa se debe cortar antes que el concreto se enfríe, cuando esté fraguada suficientemente, para prevenir el desmenuzamiento y la rotura durante el corte, y antes que las fisuras de retracción (contracción) por secado empiecen a aparecer.

Las juntas de contracción también se pueden construir en el concreto fresco con acanaladoras manuales o con la colocación de tiras de madera, metal o material para juntas preformado en los sitios de las juntas. El tope de las tiras se debe nivelar con la superficie de concreto. Las juntas de contracción, sean aserradas, ranuradas o preformadas, se deben extender dentro de la losa hasta una profundidad de, por lo menos, un cuarto del espesor de la losa o un mínimo

de 25 mm. Se recomienda que la profundidad de la junta no exceda un tercio del espesor de la losa si la transferencia de carga por el enlace del agregado es importante. Las juntas de contracción en muros también son planos de debilidad que permiten movimientos diferenciales en el plano del muro. El espesor del muro en la junta de contracción se debe reducir un 25%, preferiblemente un

30%. En muros poco reforzados, bajo la orientación del ingeniero de diseño, la mitad de las barras de acero se deben cortar en las juntas. Se debe tener cuidado para cortar las barras alternadas, precisamente en la junta. En los bordes de las aberturas en los muros, donde las juntas de contracción se localicen, se debe proveer un refuerzo adicional diagonal o vertical y horizontal, a fin de controlar la fisuración. Las juntas de contracción en los muros no se deben espaciar más de 6 metros. Además, las juntas de contracción se deben ubicar donde ocurran cambios abruptos del espesor o de la altura del muro y cerca de los bordes, si es posible, dentro de 3.00 a 4.50 m. Dependiendo de la estructura, estas juntas pueden requerir calafateo para prevenir el pasaje del agua a través del muro. En lugar del calafateo, se puede usar un contenedor de agua para prevenir el escape del agua a través de las fisuras que ocurren en las juntas.

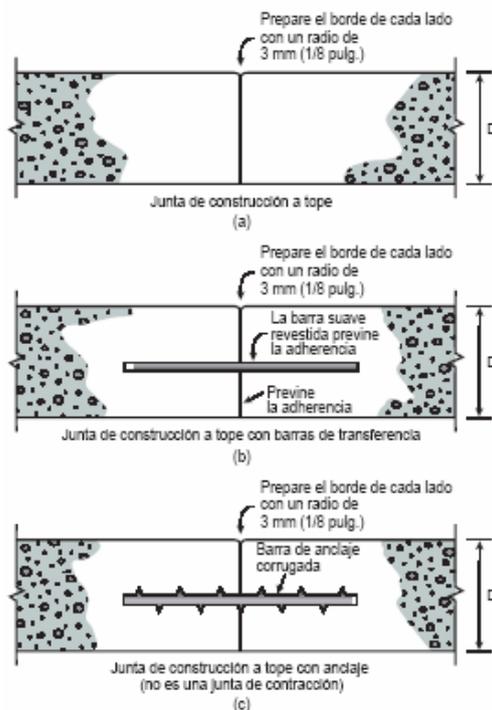
El espaciamiento de las juntas en pisos sobre el terreno depende: (1) del espesor de la losa, (2) del potencial de contracción del concreto, (3) de la fricción con la subrasante, (4) del medio ambiente y (5) de la ausencia o presencia de acero de refuerzo. El espaciamiento de las juntas se debe disminuir en concretos sospechosos de tener alta contracción. Los paneles creados por las juntas de contracción deben ser aproximadamente cuadrados. Paneles con una relación longitud-ancho excesiva son propensos al agrietamiento en un sitio intermedio. En el diseño de la disposición de las juntas, es importante recordarse que las juntas de contracción deben terminar en un borde libre o en una junta de aislamiento. Las juntas de contracción nunca deben terminar en otra junta de contracción, pues se inducirá el agrietamiento de un extremo de la junta en el panel adyacente. Esto se llama de agrietamiento simpatizante.

Juntas de Construcción

Las juntas de construcción son lugares de interrupción del proceso constructivo. Una verdadera junta de construcción debe unir el concreto nuevo al concreto existente y no debe permitir movimiento. Las barras de anclaje corrugadas se usan frecuentemente en juntas de construcción para restringir el movimiento. Como se necesita un cuidado especial para que se produzca una verdadera junta de construcción, se las diseña y construye para que sirvan también como juntas de contracción o aislamiento. Por ejemplo, en un piso sobre el terreno, las juntas de construcción se alinean con las columnas y funcionan como juntas de contracción y, por lo tanto, se las produce sin adherencia intencional-mente. El diseñador estructural de losas suspendidas debe decidir el sitio de las juntas de construcción. Se usan aceites, desmoldantes y pinturas como materiales para evitar la adherencia de las juntas. En losas gruesas y con cargas elevadas, se usan juntas de construcción con barras de transferencia no adheridas. En losas delgadas, es suficiente la junta a tope de cara plana. En

la mayoría de las estructuras es deseable tener juntas en los muros que no afecten la apariencia. Si se las produce adecuadamente, las juntas en los muros pueden volverse discretas u ocultas por las tiras rústicas. Por lo tanto, se pueden volver una característica arquitectónica, o bien como, funcional de la estructura. Sin embargo, si las tiras rústicas se usan en estructuras que se puedan exponer a sales descongelantes, tales como columnas y estribos de puentes, se debe tener cuidado para garantizar que el acero de refuerzo tenga un recubrimiento de concreto suficiente para prevenir la corrosión.

Las juntas horizontales en los muros se deben producir rectas, exactamente horizontales y se las debe poner en el sitio apropiado. Una junta de construcción horizontal y recta se puede producir clavando una tira de madera de 25 mm



en la cara interior de la cimbra cerca de la parte superior. Se debe colar el concreto a un nivel poco más alto al fondo de la tira. Después que el concreto se haya asentado y antes que se vuelva muy duro, se debe remover cualquier lechada que se haya formado sobre la superficie. Entonces, se puede remover la tira y se debe nivelar cualquier irregularidad en la junta. Se retiran las cimbras y se las recoloca sobre la junta de construcción para la próxima capa de concreto. Para prevenir que cualquier escape de concreto manche el muro de abajo, se deben usar juntas donde las cimbras estén en contacto con el concreto endurecido previamente colado. Una variación de este procedimiento usa tiras rústicas de 25 mm en vez de la tira de madera para formar una ranura en el concreto para efectos arquitectónicos. Las tiras rústicas pueden ser en forma de V, rectangulares o ligeramente biseladas. Si se usan las tiras en forma de V, la junta se debe hacer en el punto de la V. Si se usan las rectangulares o biseladas, se debe hacer la junta en el borde superior de la cara interior de la tira.

Fig. 6-23. Las juntas de construcción son sitios donde se interrumpe la construcción. Los tipos de juntas de construcción (a) y (b) también se utilizan.

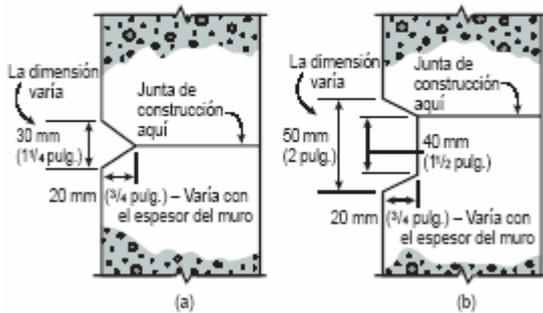
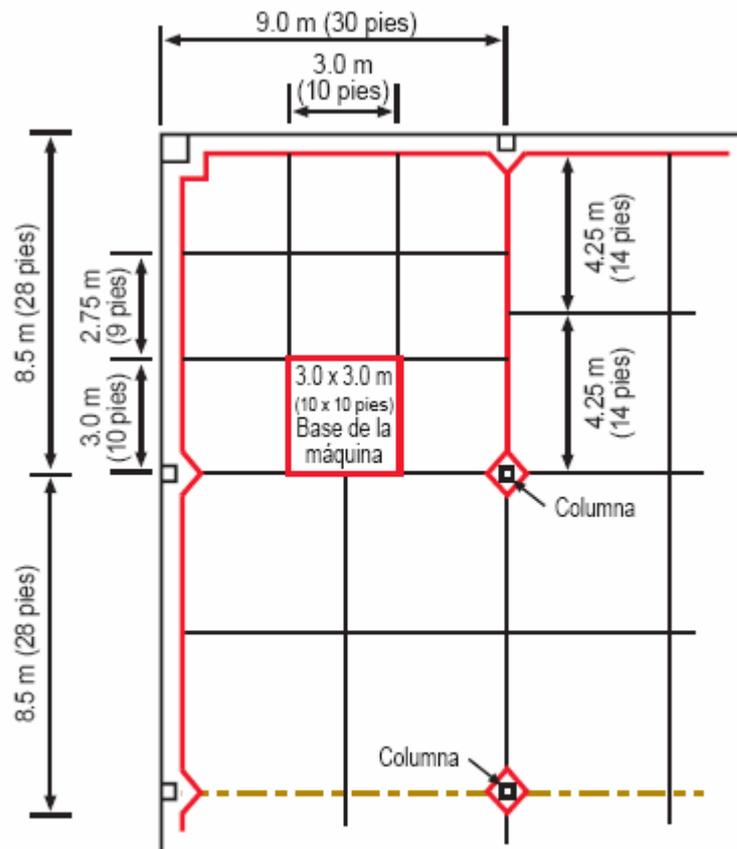


Fig. 6-24. Juntas de construcción horizontal en muros con forma en V (a) y tiras rústicas biseladas (b).

DISPOSICIÓN DE LAS JUNTAS PARA PISOS

Las juntas de aislamiento se ubican alrededor del perímetro del piso donde encuentre los muros y alrededor de todos los elementos fijos que puedan restringir el movimiento de la losa. Esto incluye columnas y bases de maquinaria que penetran en la losa del piso. Con la losa aislada de los otros elementos del edificio, la tarea restante es ubicar y espaciar correctamente las juntas de contracción para eliminar las fisuras aleatorias. El sitio de las juntas de construcción se coordina con el contratista del piso para acomodar el programa de trabajo y el tamaño del grupo de trabajo. Las juntas de construcción no adheridas deben coincidir con el patrón de las juntas y



Revenimiento de 100 a 150-mm (4 a 6 pulg.)
 Agregado de 19 mm (3/4 pulg.)
 Espesor de la losa 150 mm (6 pulg.)

— Juntas de aislamiento
 — Juntas de contracción
 - - - Juntas de construcción no adheridas

actuar como junta de contracción. Las juntas de construcción se deben planear para proveer tiras largas en cada colado (colocación) y no un patrón de tablero de ajedrez. Entonces, se colocan las juntas de contracción para dividir las tiras largas en paneles relativamente cuadrados, con la longitud del panel no excediendo 1.5 veces el largor. Las juntas de contracción se deben interrumpir en los bordes libre o en las juntas de aislamiento.

Fig. 6-25. Disposición típica de las juntas de un piso de concreto sobre el terreno con espesor de 150 mm (6 pulg.).

RELLENO DE JUNTAS DE PISOS

Hay tres opciones para tratar las juntas: se las pueden llenar, sellar o dejar abiertas. El movimiento en la junta de contracción en pisos generalmente es muy pequeño. Para ciertos usos comerciales e industriales, se pueden dejar las juntas sin relleno o sin sellar. Donde se presenten condiciones de humedad, requisitos de higiene y control de polvo o tráfico considerable de vehículos pequeños con ruedas duras, el relleno de las juntas es necesario. La diferencia entre un relleno y un sellador es la dureza del material: los rellenos son mucho más rígidos que los selladores y dan soporte en los bordes de la junta. En muchos sitios donde el tráfico es ligero, un material resiliente como el sellador elastomérico de poliuretano es satisfactorio. Sin embargo, áreas de tráfico pesado requieren soporte en los bordes de las juntas para prevenir que se desportillen en las juntas aserradas. En estos casos, se debe usar un epoxi de buena calidad y semi-rígido o un relleno de poliurea con una dureza Shore A-80 o D-50. Se debe instalar el material en toda la profundidad del corte aserrado, sin una varilla y nivelado con la superficie del piso. Las juntas de aislamiento tienen como finalidad acomodar el movimiento y, por lo tanto, se debe usar un sellador elastomérico y flexible para mantener los materiales extraños fuera de las juntas.

PISOS SIN JUNTAS

Un piso sin juntas o con un número limitado de juntas, se puede construir cuando las juntas son inaceptables. Se sugieren tres métodos de pisos sin juntas:

1. Un piso pretensado se puede construir con el uso de postensado. Con este método, torones de acero dentro de ductos se tensionan después que el concreto endurece, a fin de producir esfuerzos de compresión en el concreto. Este esfuerzo de compresión neutraliza el desarrollo de esfuerzos de tensión y provee un piso libre de fisuras. Áreas grandes, de 1000 m² o más, se pueden construir de esta manera sin juntas intermedias.
2. Áreas grandes - un único día de colocación, normalmente de 800 a 1000 m² se pueden colocar sin juntas de contracción cuando la cantidad de acero distribuido en el piso es cerca de 0.5% del área de la sección transversal de la losa. Se debe hacer un esfuerzo especial para reducir la fricción de la subrasante en pisos sin juntas de contracción.
3. El concreto producido con cemento expansivo se puede usar para compensar la contracción por secado prevista para después del curado. No se necesitan juntas de contracción cuando las juntas de construcción se usan en intervalos de 10 a 35 metros. Áreas grandes, hasta 2000 m², se han colocado de esta manera, sin juntas. Es necesario refuerzo de acero para producir esfuerzos de compresión durante y después del periodo de expansión - esta es una manera de presfuerzo.

Descimbrado O Desencofrado

Es ventajoso dejar las cimbras en su lugar el mayor tiempo posible para continuar el periodo de curado. Sin embargo, hay veces que es necesario la remoción de las cimbras lo más pronto posible. Por ejemplo, donde se especifica un acabado frotado, las cimbras se deben remover temprano para permitir el primer frotado antes que el concreto se vuelva muy duro. Además, el descimbrado rápido es necesario para la reutilización inmediata de las cimbras.

En cualquier caso, no se las debe remover hasta que el concreto sea suficientemente resistente para soportar los esfuerzos de las cargas muertas de la estructura y cualquier carga impuesta de la construcción. El concreto debe tener dureza suficiente para que la superficie no se dañe de ninguna manera cuando se descimbra con razonable cuidado. En general, en concretos con temperatura superior a 10°C, las cimbras laterales con espesor razonable de secciones apuntaladas se pueden remover después de 24 horas de la colocación del concreto. Las cimbras de las vigas y losas de piso y sus apuntalamientos se pueden remover entre 3 y 21 días, dependiendo del tamaño del miembro y del desarrollo de la resistencia del concreto. En

la mayoría de las condiciones, es mejor confiar en la resistencia del concreto determinada a través de ensayos de especímenes curados en la obra en vez de elegir arbitrariamente una edad para la remoción de las cimbras. La relación entre edad y resistencia se debe determinar a través de muestras representativas del concreto usado en la estructura y curado en el campo, bajo las condiciones de obra. Sin embargo, no se debe olvidar que las resistencias se afectan por los materiales usados, temperatura y otras condiciones. Por lo tanto, el tiempo necesario para el descimbrado varía de obra en obra. No se debe colocar una barra de pinchar u otra herramienta de metal contra el concreto para desprender las cimbras. Si es necesario calzar entre el concreto y la cimbra, se deben usar solamente cuñas de madera. El descimbrado debe empezar a cierta distancia de una saliente e irse dirigiendo hacia a ella. Esto alivia las presiones contra esquinas salientes y reduce la posibilidad de quiebra de los bordes. Las cimbras rebajadas requieren especial atención. Las cuñas de madera se deben clavar gradualmente en la parte de atrás de la cimbras y se las debe golpear ligeramente para separarlas del concreto. No se las debe arrancar rápidamente después del inicio de la colocación de las cuñas en un extremo, pues esto, seguramente, rompería los bordes del concreto.

Curado

El curado es la mantención de la temperatura y del contenido de humedad satisfactorios, por un periodo de tiempo que empieza inmediatamente después de la colocación (colado) y del acabado, para que se puedan desarrollar las propiedades deseadas en el concreto (Fig. 6-26).

Siempre se debe enfatizar la necesidad de curado pues tiene una fuerte influencia sobre las propiedades del concreto endurecido, o sea, el curado adecuado hace que el concreto tenga mayor durabilidad, resistencia, impermeabilidad, resistencia a abrasión, estabilidad dimensional, resistencia a congelación-deshielo y a descongelantes. Las losas expuestas son especialmente sensibles al curado, pues se puede reducir significativamente el desarrollo de la resistencia mecánica y la resistencia a la congelación deshielo en su superficie, cuando el curado no es apropiado.

Fig. 6-26. El curado debe empezar en cuanto el concreto se endurezca suficientemente para prevenir la erosión de la superficie. El yute (arpillera, estopa) rociada con agua es un método efectivo para el curado húmedo.



Cuando el cemento portland se mezcla con el agua, empieza una reacción química, llamada de hidratación. El grado de hidratación tiene influencia sobre la resistencia y la durabilidad del concreto. El concreto recién mezclado normalmente contiene más agua que la requerida para la hidratación del cemento, sin embargo la pérdida excesiva de agua por evaporación puede disminuir o prevenir la hidratación adecuada. La superficie es particularmente susceptible a la hidratación insuficiente porque se seca primero. Si la temperatura es favorable, la hidratación es relativamente rápida en los primeros días después de la colocación del concreto. Por lo tanto, es importante que se retenga agua en el concreto durante este período, o sea, se debe evitar la evaporación o reducirla considerablemente.

Con el curado adecuado, el concreto se vuelve más impermeable y más resistente a esfuerzos, a abrasión y a congelación-deshielo. El desarrollo de las propiedades es muy rápido en los primeros días, pero después continúa más lentamente por un periodo de tiempo indefinido. El método de curado más eficiente depende de los materiales y métodos de construcción empleados y de la intención de uso del concreto endurecido. En la mayoría de las obras, el curado normalmente envuelve la aplicación de compuestos de curado o la cobertura del concreto fresco con hojas impermeables o yute húmeda. En algunos casos, tales como en el clima caluroso y en el clima frío, se necesitan cuidados especiales y el uso de otras precauciones. Las mezclas de concreto con alto contenido de cemento y baja relación agua-cemento pueden necesitar de un curado especial. A medida que el cemento se hidrata, la humedad relativa interna disminuye, causando la auto desecación de la pasta, si no se suministra agua externa. La pasta se puede desecar hasta un nivel que la hidratación se paraliza. Esto puede influenciar las propiedades del concreto, especialmente si, durante los primeros siete días, la humedad relativa interna baja para menos del 80%. En vista de eso, los

compuestos de curado formadores de membrana pueden no retener suficiente agua en el concreto. Por lo tanto, se hace necesario niebla o curado húmedo para maximizar la hidratación. La niebla durante y después de la colocación y acabado también ayuda a minimizar la fisuración por contracción plástica en concretos con relación agua-cemento muy baja.

Cuando el curado húmedo se interrumpe, el desarrollo de la resistencia continúa por un corto período de tiempo y se paraliza después que la humedad relativa interna baja para 80%. Sin embargo, si se empieza nuevamente el curado húmedo, el desarrollo de la resistencia se reactiva, pero la resistencia potencial original tal vez no se logre. Aunque se puede lograr en el laboratorio, la restauración del concreto en la obra es difícil. Por lo tanto, la mejor opción es el curado húmedo continuo, desde el momento de la colocación hasta que el concreto haya desarrollado suficientes resistencia, impermeabilidad y durabilidad.

La pérdida de agua también va a causar la contracción del concreto, creando esfuerzo de tensión. Si estas tensiones se desarrollan antes que el concreto haya logrado resistencia suficiente, la superficie va a fisurarse. Se deben proteger contra la evaporación todas las superficies expuestas, incluyéndose bordes y juntas.

La hidratación continúa en una velocidad más lenta cuando la temperatura del concreto es baja. Temperaturas menores que 10°C son desfavorables para el desarrollo de las resistencias tempranas, abajo de 4°C este desarrollo es retrasado enormemente e inferior a la temperatura de congelación se desarrolla poca o ninguna resistencia.

En los últimos años, se introdujo el concepto de madurez para evaluar el desarrollo de la resistencia cuando hay variación en la temperatura de curado del concreto. La madurez es el resultado de la edad del concreto y la temperatura promedio de su curado superior a una cierta temperatura base. Por lo tanto, se debe proteger el concreto para que su temperatura sea favorable para la hidratación y para que no haya pérdida de humedad durante el periodo de endurecimiento en las primeras edades.

Métodos Y Materiales De Curado

Se puede mantener el concreto húmedo a través de tres métodos de curado:

1. Métodos que mantienen el agua de la mezcla presente durante los períodos iniciales de endurecimiento. Entre éstos se incluyen encharcamiento o inmersión, rociado, aspersión o niebla y coberturas saturadas de agua. Estos métodos permiten un cierto enfriamiento a través de la evaporación, que es benéfico en clima caluroso.
2. Métodos que reducen la pérdida del agua de la mezcla de la superficie del concreto. Esto se puede hacer cubriéndose el concreto con papel impermeable o plástico o a través de la aplicación de compuestos formadores de membrana.
3. Métodos que aceleran el desarrollo de la resistencia a través del suministro de calor y humedad adicional al concreto. Esto se realiza normalmente con vapor directo, espirales de calentamiento o cimbras o almohadilla calentados eléctricamente.

El método o la combinación de métodos elegido depende de factores como la disponibilidad de los materiales de curado, el tamaño, forma y edad del concreto, las instalaciones de producción, apariencia estética y economía. Como resultado, el curado normalmente envuelve una serie de procedimientos usados en momentos específicos a medida que el concreto se envejece. Por ejemplo, aspersión de niebla o yute húmeda cubierta con plástico pueden preceder la aplicación del compuesto de curado. El momento de cada procedimiento depende del grado necesario de endurecimiento para que el procedimiento no dañe la superficie del concreto.

Encharcamiento e Inmersión

En superficies planas, tales como pavimentos y losas, se puede curar por encharcamiento. Los diques de arena o suelo alrededor del perímetro de la superficie del concreto pueden retener el agua del encharcamiento, método ideal para prevenir la pérdida de humedad y es eficiente para mantener la temperatura del concreto. El agua de curado no debe estar 11°C más fría que el concreto para evitar las tensiones térmicas que pueden generar fisuras. Como el encharcamiento requiere mucho trabajo y supervisión, este método sólo se lo emplea en pequeñas obras.

El método de curado con agua, más minucioso, consiste en la inmersión total del elemento de concreto. Este método se usa normalmente en laboratorio para el curado de especímenes (probetas) de ensayo. Cuando la apariencia del concreto es importante, el agua utilizada en el curado por encharcamiento o inmersión debe estar libre de sustancias que manchen o

decoloren el concreto. El material usado para los diques también puede decolorar el concreto.

Rociado o Aspersión

Fig. 6-27. La niebla minimiza la pérdida de humedad durante y después de la colocación y el acabado del concreto



El rociado (Fig. 6-27) y la aspersión con agua son excelentes métodos cuando la temperatura ambiente está bien arriba de la temperatura de congelación y la humedad es baja. Frecuentemente, se aplica una niebla o llovizna fina a través de un sistema de boquillas o rociadores para aumentar la humedad relativa del aire, disminuyendo la evaporación de la superficie. El rociado se aplica para minimizar la fisuración por contracción plástica hasta que las operaciones de acabado se concluyan. Una vez que el concreto se haya endurecido suficientemente para prevenir la erosión por el agua, se pueden usar, de manera eficiente, rociadores ordinarios para césped. Esto si se proporciona una buena cobertura y el escurrimiento del agua es adecuado. Las mangueras para regar son útiles para superficies verticales o casi verticales. El costo de la aspersión puede ser una desventaja. El método requiere un gran abastecimiento de agua y una supervisión cuidadosa. Si la aspersión se hace en intervalos, se debe prevenir que el concreto se seque entre las aplicaciones del agua, a través del uso de yute o material similar, pues los ciclos alternados de saturación y secado pueden causar la fisuración de la superficie.

Coberturas Húmedas

Normalmente para el curado, se usan las cubiertas de telas saturadas con agua, como los yutes, esteras de algodón, mantas u otras telas que retengan humedad (Fig. 6-28). El yute tratado que refleja la luz y es resistente a la putrefacción y al fuego ya está disponible. El yute debe estar libre de cualquier sustancia que sea perjudicial al concreto o pueda causar decoloración. Se debe enjuagar el yute nuevo para remover sustancias solubles y para volverlo más absorbente.

Las coberturas de tela saturada, capaces de retener el agua, deberán colocarse tan pronto el concreto se haya endurecido suficientemente para evitar daños a su superficie. Durante el período de espera, se pueden usar otros métodos de curado, tales como el rociado o el uso de auxiliares de acabado formadores de membrana. Se debe tener cuidado para que toda la superficie se cubra por la tela mojada, incluyéndose los bordes de las losas. Se debe mantener la cubierta constantemente húmeda para que una película de agua se mantenga sobre la superficie del concreto durante el período de curado. El uso de películas de polietileno sobre el yute húmedo es una buena práctica que elimina la necesidad de riego continuo de la cubierta.

El riego periódico de la tela debajo del plástico, antes que se seque, debe ser suficiente. Ciclos alternados de saturación y secado durante las edades tempranas pueden causar fisuración.

Cubiertas húmedas de tierra, arena o aserrín son eficientes para el curado y frecuentemente usadas en pequeñas obras. El aserrín de la mayoría de las maderas es aceptable, pero el roble y otras maderas que contienen ácido tánico no se deben usar, pues puede ocurrir deterioro del concreto. Una capa de 50 mm de espesor se debe distribuir regularmente sobre la superficie del concreto previamente humedecida y se la debe mantener constantemente mojada.



Se puede utilizar el heno o paja húmedos para el curado de superficies planas. Si son empleados, se debe colocar una capa de, por lo menos, 150 mm de espesor y deberán quedar fijos con una malla de alambre, yute o lona para evitar que el viento se los lleve.

La mayor desventaja de la tierra, arena, aserrín, heno o paja húmedos es la posibilidad de decoloración del

concreto.

Fig. 6-28. Los aspersores de césped saturan el yute con

agua y mantienen el concreto continuadamente saturado. La aspersión intermitente es aceptable si no ocurre secado de la superficie del concreto.

Papel Impermeable

El papel impermeable para el curado del concreto consiste en dos hojas de papel kraft, cementadas entre si por un adhesivo bituminoso con refuerzo de fibras. Este papel, según la ASTM C 171 (AASHTO M 171), es un método eficiente de curado de superficies horizontales y concreto estructural de formas relativamente sencillas. Una ventaja importante de este método es que no requiere el riego periódico. El curado con papel impermeable auxilia la hidratación del cemento, pues previene la pérdida de agua del concreto (Fig. 6-29).



Fig. 6-29. Papel impermeable para curado es una medida eficiente de curado horizontal de superficies.

Quando el concreto se haya endurecido suficientemente para prevenir el daño de la superficie, se lo debe mojar y colocar el papel con el mayor ancho disponible. Los bordes de hojas adyacentes se deben traslapar cerca de 150 mm y estar sellados con arena, tablón de madera, cinta adhesiva sensitiva a presión, mastique o pegamento (cola). Las hojas se deben anclar con pesos para que se mantengan en

contacto con la superficie del concreto durante todo el período de curado.

El papel impermeable se puede reutilizar si efectivamente retiene la humedad. Las rasgaduras y los agujeros se pueden reparar fácilmente con parches de papel de curado. Cuando la condición del papel es dudosa, se lo puede seguir utilizando con doble espesor. Además del curado, el papel impermeable ofrece alguna protección al concreto contra daños causados por construcción posterior, bien como protección contra el sol directo. Su color debe ser claro y no debe manchar el concreto. El papel con la superficie superior blanca es preferible para el curado de concreto exterior durante el clima caluroso.

Hojas de Plástico

Los materiales de láminas de plásticos, tales como la película de polietileno, se pueden usar en el curado del concreto (Fig. 6-30). La película de polietileno, además de tener un peso ligero, retiene la humedad de manera eficiente y se la puede aplicar fácilmente tanto en

elementos de formas sencillas como complejas. Su aplicación es semejante a la aplicación descrita para el papel impermeable. El curado con película de polietileno puede causar decoloración en ciertas áreas, especialmente si el concreto contiene cloruro de calcio y fue acabado con llana metálica. Esta decoloración es más pronunciada cuando la película se arruga, pero, en proyectos grandes, es muy difícil y toma mucho tiempo, colocar los materiales en hojas sin arrugas. La decoloración se puede prevenir inundando la superficie bajo la cubierta, mas otros métodos de curado se deben usar, cuando un color uniforme sea importante.



Fig. 6-30. La película de polietileno es una barrera de humedad efectiva para el curado del concreto y se la puede aplicar fácilmente tanto en formas complejas como en sencillas. Para minimizar la decoloración, la película se debe mantener lo más llano posible sobre la superficie de concreto.

La película de polietileno debe cumplir con la ASTM C 171 (AASHTO M 171), que especifica un espesor de 0.10 mm (4 mpulg.) para el curado del concreto, pero lista sólo películas opacas blancas y transparentes. Sin embargo, la película negra está disponible y es satisfactoria bajo ciertas condiciones. La película blanca se la debe usar en el curado del concreto exterior, durante el clima caluroso, para

reflejar los rayos de sol. La película negra se la puede usar en el clima frío en áreas internas. Las películas transparentes tienen poco efecto sobre la absorción del calor. La película de polietileno también se puede colocar sobre arpillera húmeda u otro material húmedo de cobertura, para retener el agua en el material de la cubierta. Este procedimiento elimina el trabajo intenso de regar continuamente el material de la cubierta.

Compuestos de Curado Formadores de Película

Los compuestos líquidos formadores de membranas a base de parafinas, resinas, hules (gomas) coloreadas y otros materiales se pueden usar para impedir o reducir la evaporación de la humedad del concreto. En países desarrollados, es el método más práctico y más ampliamente utilizado para el curado no sólo de concretos recién colocados, sino también para prolongar el curado hasta después de la remoción de la cimbra o después del curado húmedo inicial. Sin embargo, los métodos más eficientes de curado son las cubiertas húmedas o el rociado de agua, los cuales mantienen el concreto continuamente mojado. Los compuestos de curado deben ser capaces de conservar la humedad relativa de la superficie del concreto superior al 80% por siete días, para sostener la hidratación del cemento.

Los compuestos formadores de película son, en general, de dos tipos: transparentes o translúcidos y pigmentados de blanco. Los compuestos transparentes o translúcidos pueden contener un tinte inestable que facilita la verificación visual del área cubierta por la película. El tinte se destiñe enseguida a la aplicación. En días calientes y soleados, se recomienda el empleo de compuestos blancos, pues reducen el aumento del calor provocado por el sol, reduciendo la temperatura del concreto. Se deben agitar los recipientes de los compuestos pigmentados, para que no se asienten en el fondo. Los compuestos de curado se deben aplicar inmediatamente después del acabado final del concreto, a través de equipos rociadores operados manualmente o por propulsión mecánica (Fig. 6-31). La superficie del concreto debe estar húmeda, cuando se aplica la capa. En días secos y ventosos o durante períodos de condiciones climáticas adversas, que podrían resultar en fisuración por contracción (retracción) plástica, la aplicación del compuesto de curado, inmediatamente después del acabado final y antes de la evaporación de toda el agua libre de la superficie, va a ayudar a prevenir la formación de agrietamiento.

Los equipos rociadores de propulsión mecánica se recomiendan para una aplicación uniforme de compuestos de curado en áreas grandes. Estos equipos deben disponer de boquillas de rociado y parabrisas para prevenir la pérdida del compuesto, provocada por el viento.

Normalmente se aplica sólo una capa lisa y uniforme en una tasa típica de 3 a 4 m² por litro, pero como los productos varían, se deben seguir las tasas recomendadas por el fabricante. Si se necesitan dos capas para garantizar una cobertura completa y una protección efectiva, la segunda capa se debe aplicar en ángulo recto con respecto a la primera. Se debe lograr la cobertura completa de la superficie, porque aún los agujeros muy pequeños en la membrana, pueden aumentar la evaporación de la humedad del concreto. Los compuestos de curado pueden prevenir la adhesión entre el concreto endurecido y el concreto fresco recién colocado. La mayoría de los compuestos no son compatibles con los adhesivos usados con los materiales para revestimiento de pisos. Consecuentemente, se debe ensayar su compatibilidad o no se deben usar estos compuestos, cuando sea necesaria una capa de revestimiento.

Fig. 6-31. Los compuestos líquidos formadores de películas se deben aplicar con cobertura uniforme y adecuada sobre toda la superficie y bordes para obtener un curado prolongado y efectivo.



De la misma manera, algunos compuestos de curado pueden afectar la adhesión de la pintura del piso de concreto. Se deben consultar a los productores de compuestos de curado con el propósito de determinar si su producto es adecuado para la aplicación deseada. Los compuestos de curado deben ser uniformes y fáciles de conservar en una solución completamente homogénea. No deben escurrirse en los bordes o recogerse en las ranuras. Deben formar una película resistente para soportar el tránsito de la construcción sin dañarse, no deben amarillar y deben poseer buenas propiedades de retención de humedad. Se debe tener cuidado al usar compuestos que contienen solventes de alta volatilidad en áreas sin ventilación o cerca de espacios ocupados sensibles, tales como

hospitales, porque la evaporación de los volátiles puede causar problemas respiratorios. Se deben cumplir con las leyes ambientales locales sobre la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV).

Curado por Humedad Interna

El curado por humedad interna se refiere a métodos que dan humedad desde el interior del concreto y no desde su exterior. Esta agua no debe afectar el agua inicial de la relación agua-cemento del concreto fresco. Los agregados finos ligeros o partículas de polímeros absorbentes, con capacidad de retener una cantidad significativa de agua, pueden suministrar humedad adicional a los concretos propensos a auto-deseccación. Cuando se hace necesaria una hidratación más completa en concretos con baja relación agua-cemento, 60 kg/m³ a 180 kg/m³ agregado fino ligero saturado pueden suministrar humedad adicional para la continuación de la hidratación, resultando en un aumento de la resistencia y de la durabilidad. Todo el agregado fino de la mezcla se puede reemplazar por agregado fino ligero saturado, para maximizar la humedad interna de curado. El curado por humedad interna se debe acompañar por métodos de curado externos.

Curado a Vapor

El curado a vapor es ventajoso donde sea importante el desarrollo de resistencia temprana o donde sea necesario calor adicional para que se logre la hidratación, como en el caso del clima frío. Se usan dos métodos de curado a vapor: vapor directo a presión atmosférica y vapor a alta presión en autoclaves. Sólo el método de vapor directo a presión atmosférica se va a presentar aquí. Un ciclo típico de curado a vapor consiste en: (1) retraso inicial antes de la aplicación del vapor, (2) período de aumento de la temperatura, (3) período en que se mantiene constante la temperatura máxima y (4) período de disminución de la temperatura. El curado a vapor a presión atmosférica, generalmente, se hace en ambientes cerrados para minimizar la humedad y la pérdida de calor. Normalmente se usan lonas para crear un ambiente encerrado. La aplicación del vapor en ambientes encerrados se debe retrasar hasta el fraguado inicial o por lo menos 3 horas después de la colocación del concreto para permitir algún endurecimiento del concreto. Con un período de retraso de 3 a 5 horas antes de la aplicación del vapor, el concreto va a lograr la resistencia temprana máxima.

La temperatura del vapor se debe mantener alrededor de 60°C hasta que la resistencia deseada del concreto se haya desarrollado. La resistencia no va a aumentar significativamente si la temperatura máxima de vapor se aumenta de 60°C a 70°C. Se deben evitar las temperaturas de curado a vapor mayor que 70 ° C, pues no son económicas y pueden causar daños. Se recomienda que la temperatura interna del concreto no exceda 70°C para evitar la expansión retardada por calor inducido y la reducción excesiva de la resistencia última. El uso de temperaturas mayores que 70°C se debe demostrar seguro a través de ensayos o de datos históricos de campo.

Las temperaturas del concreto normalmente se controlan en el extremo expuesto del elemento de concreto. El control de la temperatura del aire no es suficiente porque el calor de hidratación puede hacer con que la temperatura interna del concreto exceda 70°C. Además del desarrollo de resistencia temprana, hay otras ventajas del curado en temperaturas alrededor de 60°C en comparación a concretos curados a 23°C por 28 días, como por ejemplo reducción de la contracción por secado y de la fluencia.

Se deben evitar velocidades elevadas de calentamiento y enfriamiento para prevenir daños causados por cambios de volumen. La temperatura en el ambiente cerrado circundante al concreto no se debe aumentar o disminuir más que 22°C a 33°C por hora, dependiendo del tamaño y de la forma del elemento de concreto.

La temperatura de curado en el ambiente cerrado se debe mantener hasta que el concreto haya logrado la resistencia deseada. El tiempo requerido va a depender de la mezcla de concreto y la temperatura de vapor en el ambiente.

Mantas o Cubiertas Aislantes

Capas de material seco y poroso, tales como paja o heno se pueden utilizar para proporcionar aislamiento contra la congelación del concreto, cuando las temperaturas caen para menos de 0°C. Las cimbras se pueden aislar económicamente con mantas comerciales o con material aislante que tienen una cobertura impermeable resistente. Las mantas aislantes adecuadas se

producen con fibras de vidrio, hule, esponja, fibras de celulosa, lana mineral, espuma de vinilo y espuma de poliuretano de celdas abiertas. Cuando se usan cimbras aisladas, se debe tener cuidado para prevenir que las temperaturas del concreto no se vuelvan elevadas.

Las lonas con estructura de marcos, películas de polietileno reforzado u otros materiales se pueden colocar alrededor de la estructura y se pueden calentar a través de calentadores de espacio o vapor. Calentadores hidrónicos portátiles se usan en subrasantes congeladas, bien como calientan el concreto sin la utilización de ambientes cerrados.

Curado Eléctrico, con Aceite, Microondas y Rayos Infrarrojos

Los métodos eléctricos, con aceite caliente, microondas e infrarrojo están disponibles desde hace muchos años, tanto para el curado normal como para el curado acelerado del concreto. Los métodos de curado eléctricos incluyen una gran variedad de técnicas: (1) uso del propio concreto como conductor eléctrico, (2) uso del acero del refuerzo como elemento calentador, (3) uso de un alambre especial como elemento de calefacción, (4) mantas eléctricas y (5) uso de cimbras de acero calentadas eléctricamente. La calefacción eléctrica es especialmente útil en la colocación en clima frío. El aceite caliente se lo puede hacer circular a través de las cimbras metálicas para calentar el concreto. Los rayos infrarrojos y las microondas tienen su empleo limitado al curado acelerado. El curado por los métodos infrarrojos es normalmente bajo una cubierta en la cimbra metálica. Los métodos eléctricos, con aceite e infrarrojo se utilizan principalmente en la industria del concreto prefabricado.

TIEMPO Y TEMPERATURA DE CURADO

El período de tiempo que se debe proteger el concreto de la congelación, temperaturas elevadas anormales y contra la pérdida de humedad depende de diversos factores: el tipo del material cementante usado, las proporciones de la mezcla, resistencia requerida, tamaño y forma del miembro de concreto, clima ambiente y condiciones de exposición futura. El periodo de curado puede ser de 3 semanas o más para concretos magros usados en estructuras masivas, tales como presas. Por otro lado, puede ser de sólo unos pocos días en mezclas ricas, especialmente si se emplean cementos de alta resistencia inicial, tales como el ARI, el tipo III (ASTM) y el HE (ASTM). Los periodos de curado a vapor normalmente son mucho más cortos, variando de algunas horas hasta 3 días, pero generalmente se usan ciclos de 24 horas. Como todas las propiedades del concreto se mejoran con el curado, el tiempo de curado debe ser lo más largo posible.

En losas de concreto sobre el terreno y en concreto estructural, el período de curado con temperaturas ambientes inferiores a 5°C debe ser de por lo menos 7 días, pero un tiempo adicional se puede requerir para que se logre 70% de las resistencias a compresión o a flexión especificadas.

Una temperatura de curado más elevada proporciona un desarrollo más temprano de la resistencia que una temperatura más baja, pero puede disminuir la resistencia a los 28 días. Si se hacen pruebas de resistencia para establecer el tiempo de curado adecuado o cuando se pueden remover las cimbras, se deben producir, en la obra, cilindros o vigas de concreto representativos, manteniéndolos cerca de la estructura o pavimento que representan y curándolos con los mismos métodos. Están disponibles equipos que pueden controlar las temperaturas internas del concreto y coincidir con la temperatura de la caja de curado del cilindro de concreto. Ésta es la medida más precisa para representar las resistencias del concreto en la obra. También se puede hacer uso de corazones, cilindros removibles colados en la obra y métodos de ensayos no-destructivos para determinar la resistencia de los elementos de concreto. Como la velocidad de hidratación se influencia por el tipo de cemento y la presencia de material cementante suplementario, se debe prolongar el tiempo de curado de concretos con materiales cementantes que tengan características de desarrollo lento de resistencia. En concreto masivo que no posea puzolana como parte del material cementante, el curado de áreas sin armadura se debe proceder durante por lo menos 2 semanas. Si el concreto masivo contiene puzolana, el periodo mínimo de curado de áreas sin armadura debe ser de 3 semanas. Se debe curar al concreto masivo densamente reforzado por un periodo mínimo de 7 días. Durante el clima frío, normalmente se requiere calor adicional para que se mantenga una temperatura favorable de 10°C a 20°C. Se pueden utilizar calentadores de combustión a gas o petróleo, espirales de calentamiento, calentadores portátiles hidrónicos o vapor directo para suministrar calor. En todos los casos, se debe tener cuidado para evitar la pérdida de humedad del concreto.

Se debe evitar la exposición del concreto fresco a los gases de escape de calefacción o de motor, pues pueden deteriorar la superficie del concreto y facilitar el apareamiento de polvo.

El concreto de alta resistencia inicial se puede usar en clima frío para acelerar el tiempo de fraguado y el desarrollo de la resistencia, lo que puede disminuir el tiempo de curado, pero se debe mantener una temperatura mínima de 10°C.

Para que se logre una resistencia adecuada a los descongelantes, el tiempo mínimo de curado normalmente corresponde al tiempo necesario para el desarrollo de la resistencia de proyecto en la superficie. Un período de secado al aire, posterior al curado, va a aumentar la resistencia al descascaramiento. El período de secado debe ser, por lo menos, de 1 mes de clima relativamente seco, antes de la aplicación del descongelante.

Parchado, Limpieza Y Acabado

Después del descimbrado, todos los abultamientos, rebabas y pequeñas salientes se pueden remover cincelando o labrando. Los pernos, clavos, conectores u otros materiales embutidos se pueden remover o cortar a una profundidad de 13 mm de la superficie. Cuando sea necesario, se puede raspar o pulir la superficie para proveer una apariencia uniforme.

Cualquier cavidad, tal como los agujeros de los ganchos, se deben llenar, a menos que se la desee para fines decorativos. Las áreas con agujeros se deben reparar y las manchas se deben remover para que resulte en una superficie de concreto uniforme. Todas estas operaciones se pueden minimizar si se tiene cuidado durante la colocación de las cimbras y del concreto. En general, la ejecución de las reparaciones es más fácil y mejor si se la hace tan pronto sea posible, preferiblemente en seguida de la retirada de las cimbras. Sin embargo, los procedimientos discutidos anteriormente se aplican para ambos concretos, nuevo y viejo.

Agujeros, Defectos y Capas Superpuestas

Los parches normalmente parecen más oscuros que el concreto del alrededor, por lo tanto, se debe utilizar una cierta cantidad de cemento blanco en el mortero o el concreto donde la apariencia sea importante. Se deben aplicar y curar muestras en sitios discretos, tal vez un muro de sótano, muchos días antes de las operaciones de parchado, a fin de que se determinen las proporciones más adecuadas de los cementos blanco y gris. Se debe evitar el alisado con llana de metal pues oscurece el parche. Los agujeros de los pernos, ganchos y otras cavidades, que tienen área pequeña pero una profundidad relativamente grande, se deben llenar con mortero empacado en seco. El mortero se debe mezclar con la mayor consistencia posible: use 1 parte de cemento, 2 1/2 partes de arena que pasa en el tamiz 1.25 mm y agua suficiente para formar una pelota, cuando se aprieta gentilmente el mortero con la mano. La cavidad debe estar limpia, libre de aceite o material suelto y se la debe mantener húmeda por varias horas. Se debe fregar una pasta seca de cemento en la superficie de los vacíos, pero no se debe permitir que se seque antes de la colocación del mortero. El mortero se debe aplicar en el agujero en capas de cerca de 13 mm de espesor. El recalado vigoroso y un curado adecuado garantizarán una buena adherencia y una contracción por secado mínima del parche. El concreto empleado para llenar grandes parches y capas superpuestas delgadas deben tener baja relación agua-cemento, frecuentemente con un contenido de cemento igual o mayor que el concreto que se reparará. El contenido de cemento varía de 360 a 500 kg por metro cúbico y una relación agua-cemento de 0.45 o menos. El tamaño del agregado no debe superar 1/3 del espesor del parche o de la capa superpuesta. Se usa normalmente un agregado grueso con tamaño máximo nominal de 9.5 mm. Las proporciones de la arena pueden ser mayores que las habituales, frecuentemente igual a la cantidad de agregado grueso, dependiendo de las propiedades deseadas y de la aplicación.

Antes de la aplicación del concreto de parche, el concreto del alrededor debe estar limpio y sano. Los métodos abrasivos de limpieza normalmente son necesarios. En capas superpuestas, se debe aplicar con un cepillo o escoba un grout de cemento y arena, cemento arena y látex o un agente de adherencia a base de epoxi para preparar la superficie. Las proporciones típicas del grout son 1 parte de cemento y una parte de arena fina y látex o aditivo a base de epoxi. El grout se debe aplicar inmediatamente antes de la colocación del concreto nuevo. No se debe permitir que se endurezca antes que se coloque el concreto fresco, pues puede afectar la adherencia. El concreto puede estar seco o húmedo cuando se aplica el grout pero no puede tener agua libre en la superficie. El espesor mínimo para la mayoría de los parches y capas superpuestas es 20 mm. Algunas estructuras, como los tableros de puentes, deben

tener un espesor mínimo de reparación de 40 mm. El superplastificante es uno de los varios aditivos frecuentemente adicionados en las capas superpuestas y en las reparaciones de concreto para reducir la relación agua-cemento y mejorar la trabajabilidad y la facilidad de consolidación.

El concreto con agujeros u otros defectos se debe cortar para exponer el material sano. Si el concreto defectuoso se deja adyacente al parche, la humedad puede penetrar en los vacíos y, con el tiempo, la acción de las intemperies causará el descascamiento del parche. Los bordes del área defectuosa se deben cortar y cincelar derechos y con ángulos rectos con la superficie o ligeramente profundos para proveer una incisión en el borde del parche. No se deben permitir bordes biselados. Con base en el tamaño del parche, se debe usar un mortero o un concreto para el parchado. Los parches superficiales se pueden llenar con mortero empacado a seco, como fue descrito anteriormente. Se lo debe colocar en capas con un espesor máximo de 13 mm, con un acabado áspero en cada capa para mejorar la adherencia con la capa siguiente. La capa final se puede acabar de manera que coincida con el mortero circundante, a través de emparejado, tratamiento abrasivo o labrado, o en superficies moldeadas, presionando una sección del molde contra el parche, mientras que esté plástico. Los parches profundos se pueden llenar con concreto mantenido en el lugar por las cimbras. Estos parches se deben reforzar y anclar con el concreto endurecido. Las reparaciones grandes, superficiales y verticales o elevadas se pueden lograr mejor con el concreto lanzado. Están disponibles también muchos materiales cementantes para reparación con propiedades de baja contracción.

Curado de Parches

Después del parchado, el curado adecuado es esencial. El curado debe empezar en seguida para evitar el secado temprano. Se puede usar arpillera húmeda, arena húmeda, láminas de plástico, papel de curado, lona o la combinación de ellos. En sitios donde sea difícil mantener estos materiales, la aplicación de los capas de compuesto de curado formador de membrana normalmente es el método más conveniente.

Limpieza de las Superficies de Concreto

Las superficies de concreto ni siempre tienen un color uniforme cuando se remueven las cimbras, pudiendo presentar una apariencia manchada y, en algunas áreas, teniendo una película de agente desmoldeante.

Además, puede haber manchas de mortero resultantes de la salida de material de las cimbras o pueden existir manchas de herrumbre. Las superficies planas también se pueden decolorar durante la construcción. Donde la apariencia sea importante, toda la superficie se debe limpiar después que la construcción haya logrado una etapa que no habrá más decoloración como consecuencia de las actividades subsecuentes de construcción. Hay tres técnicas para la limpieza de la superficie del concreto: agua, productos químicos y medios mecánicos. El agua disuelve el polvo y enjuaga la superficie.

Los limpiadores químicos, normalmente mezclados con agua, reaccionan con el polvo para separarlo de la superficie y, entonces se enjuaga el polvo y los productos químicos con agua limpia. Los métodos mecánicos remueven la suciedad por abrasión. Antes de elegirse el método de limpieza, se lo debe probar en un área discreta para que se tenga la seguridad de que será útil y no perjudicial. Si es posible, se deben identificar las características de la decoloración, pues algunos de los tratamientos son más eficientes que otros en la remoción de ciertos materiales.

Los *métodos de limpieza con agua* incluyen lavado con baja presión, chorro con presión que varía de media a alta y vapor. El lavado a baja presión es el más sencillo, pues solamente requiere que el agua corra suavemente sobre la superficie de concreto durante un día o dos. Entonces, el polvo ablandado se retira con un enjuague de presión ligeramente mayor. Las áreas con suciedad más firmes se pueden raspar con un cepillo con cerdas no metálicas y enjuagarlas nuevamente. El chorro de agua de alta presión se usa eficientemente por un operador experimentado. La limpieza con vapor se debe realizar por un operador experimentado, usando un equipamiento especial. Los métodos con agua son menos perjudiciales al concreto, pero no están libres de problemas potenciales. Daños serios pueden ocurrir si se somete la superficie de concreto a temperaturas congelantes mientras aún esté húmeda y el agua puede llevar las sales solubles para la superficie, formando un depósito blanco, similar al yeso, llamado de eflorescencia.

La *limpieza con productos químicos* normalmente se realiza con mezclas a base de agua, formuladas para materiales especiales, tales como ladrillo, piedra y concreto. Un compuesto orgánico llamado surfactante, que actúa como un detergente para mojar la superficie más fácilmente, se incluye en la mayoría de los limpiadores. Una pequeña cantidad de ácido o álcali se incluye para separar la suciedad de la superficie. Por ejemplo, el ácido clorhídrico se usa normalmente para limpiar muros de mampostería y remover eflorescencias. Puede haber problemas relacionados con el uso de limpiadores químicos. Sus ácidos o sus propiedades alcalinas pueden llevar a reacciones entre el producto químico y el concreto, bien como el mortero, superficies pintadas, vidrio, metales y otros materiales del edificio. Como los limpiadores químicos se emplean en la forma de soluciones acuosas, también pueden liberar sales solubles de la parte interna del concreto para formar eflorescencias.

Algunos productos químicos también pueden exponer los agregados en el concreto. Los productos químicos normalmente usados para limpiar las superficies de concreto y remover decoloraciones incluyen soluciones débiles de ácidos clorhídrico, acético o fosfórico. El citrato diamónico se usa especialmente en la remoción de manchas de decoloraciones y eflorescencias formadas en la superficie plana. Los limpiadores químicos se deben utilizar por operadores hábiles, que mantengan precauciones de seguridad adecuadas.

La *limpieza mecánica* incluye chorro de arena, pulverización, escarificación, burilado mecánico y esmerilado. Estos métodos desgastan la suciedad de la superficie en vez de separarla de la superficie. En realidad, desgastan no solamente la suciedad, sino también parte de la superficie del concreto. Es inevitable que se pierdan algunos detalles decorativos, aumente la rugosidad de la superficie y se redondeen las aristas agudas. Los métodos abrasivos también pueden revelar defectos ocultos debajo de la superficie descimbrada.

Ambas limpiezas, química y mecánica, pueden tener efectos abrasivos sobre la superficie del concreto que pueden cambiar la apariencia de la superficie, si se compara a aquella del área sin limpiar.

Acabado de las Superficies Descimbradas

Muchas de las superficies descimbradas requieren poco o ningún tratamiento, cuando se las construye cuidadosamente y con los materiales de cimbra adecuados. Estas superficies se dividen en dos clases: lisas y texturizadas o estampadas. Las superficies lisas se producen con cimbras revestidas de plástico, cimbras metálicas, cimbras de plástico reforzado con fibras de vidrio, cimbras de fórmica o cimbras de tableros templados. Las superficies texturizadas o estampadas se logran con revestimientos de cimbras de madera con superficie áspera, madera contrachapada con granulometría o textura especial o fracturando las salientes de la superficie estriada.

El *acabado con cimbras ásperas* requiere parche de todos los agujeros y defectos, a menos que se dejen los agujeros para efectos arquitectónicos. De lo contrario, estas superficies no necesitan de trabajo posterior, pues la textura y el acabado se confieren por las cimbras.

En el *acabado liso*, es importante preparar el material de la cimbra que se utilizará en la cara lisa y los conectores en un patrón simétrico. Los soportes y los largueros, que son capaces de prevenir las deflexiones excesivas, deben soportar las cimbras de acabado liso que tengan poco peso.

El *acabado liso raspado* se produce en la superficie recién endurecida, antes que se cumpla un día de la retirada de las cimbras. Las cimbras se remueven y el parchado necesario se completa, lo más pronto posible. Entonces, se moja la superficie y se la raspa con un ladrillo carborundo u otro abrasivo hasta que se produzca un color uniforme y textura satisfactorios.

El *acabado con llana y arena* también se puede producir en las superficies recién endurecidas. En un periodo de hasta 5 o 6 horas después del descimbrado, la superficie se debe mojar y raspar totalmente con llana de madera en un movimiento circular, trabajando la arena fina hacia adentro de la superficie hasta que resulte en un acabado con textura y color uniformes.

La limpieza con mortero se puede usar para conferir un color y una apariencia uniformes a la superficie lisa. Después que los defectos hayan sido reparados, se debe saturar toda la superficie con agua y mantenerla húmeda por lo menos una hora antes del inicio de las operaciones de acabado. A continuación, se debe preparar un mortero con una parte de

cemento, 1 1/2 a 2 partes de arena fina pasando en el tamiz de 600 µm (No. 30) y suficiente agua para una consistencia cremosa y espesa. Se debe permitir una contracción inicial del mortero, preparándolo una hora antes del uso y entonces remezclándolo sin adición de agua, para después aplicarlo uniformemente con un cepillo, una llana de yesero o llana de goma para llenar completamente todas las burbujas de aire y los agujeros.

La superficie debe ser vigorosamente aplanada con una llana de madera, de esponja de hule o de corcho inmediatamente después de la aplicación del mortero para llenar cualquier agujero pequeño de aire que haya quedado. Todo exceso de mortero se debe raspar con una llana de esponja de hule. Si la llana retira el mortero de los agujeros, el movimiento de aserrado de la herramienta debe corregir la dificultad. Se debe permitir que todo mortero permanezca sobre la superficie hasta que pierda parte de su plasticidad, pero no su apariencia de húmedo.

A continuación, la superficie se debe raspar con una arpillera seca y limpia para remover todo el exceso del mortero. Todos los agujeros de aire deben permanecer llenos, pero no se debe dejar ninguna película de mortero visible, después del raspado. Cualquier limpieza de sección con mortero se debe completar en un día, pues el mortero que permanezca sobre la superficie durante la noche será difícil de removerse.

Si es posible, se debe realizar el trabajo a la sombra y preferiblemente durante el clima frío y húmedo. En el clima caluroso y seco, el concreto se debe mantener húmedo a través del rociado.

La superficie acabada se debe someter al curado húmedo por 36 horas después de la limpieza. Después deseca, la superficie debe presentar un color y una textura uniformes.

ACABADOS ESPECIALES DE LA SUPERFICIE

Patrones y Texturas

Se puede utilizar una gran variedad de patrones y texturas en la producción de acabados decorativos. Los patrones se pueden formar con tiras divisorias o marcando o estampando la superficie poco antes del endurecimiento del concreto. La textura se puede producir con poco esfuerzo y gastos con llanas, cucharas y escobas. Las texturas más elaboradas se pueden lograr con técnicas especiales (Fig. 6-32).



Fig. 6-32. Los concretos estampados, texturizados y coloreados son muy atractivos.

Concreto con Agregado Expuesto

El acabado del agregado expuesto provee una superficie irregular y atractiva con una gran variedad de texturas y colores. Se escogen cuidadosamente agregados seleccionados para evitar sustancias deletéreas. Estos agregados normalmente tienen un tamaño uniforme de 9.5 a 12.5 mm (3/8 a 1/2 pulg.) o mayor. Se los debe lavar antes de su uso para que se garantice una adherencia satisfactoria. No se deben utilizar partículas de agregado planas o elongadas, pues se las puede desplazar fácilmente al exponerse el agregado. Se debe tener cuidado cuando se utiliza piedra triturada, pues no sólo tiene una mayor tendencia de apilarse durante la operación de colocación de los agregados, sino también puede ser indeseable en algunas aplicaciones.

El agregado se debe distribuir uniformemente en una capa sobre la superficie del concreto inmediatamente después del aplanado. Las partículas se deben incrustar totalmente en el concreto. Esto se hace con un ligero golpecito con una llana de madera, una aplanadora o la cara ancha de un pedazo de madera. A seguir, cuando el concreto pueda soportar el acabador sobre el tablón para rodillas, se debe aplanar manualmente la superficie con una llana de magnesio hasta que el mortero rodee totalmente las partículas de agregado y las cubra ligeramente.

Los métodos de exposición del agregado normalmente incluyen lavado y cepillado, con el uso de retardadores y fregado. Cuando el concreto se haya endurecido suficientemente, el cepillado y el lavado con agua simultánea deben exponer el agregado. En el lavado y cepillado, la capa superficial del mortero se debe lavar cuidadosamente con un rocío ligero y se debe cepillar hasta que se logre la exposición deseada. Como la sincronización es importante, se deben realizar paneles de prueba para determinar el tiempo correcto para la

exposición del agregado, sin desplazar las partículas. En obras grandes, se puede rociar o cepillar un retardador insoluble sobre la superficie inmediatamente después del aplanado, pero en pequeñas obras esto puede no ser necesario. Cuando el concreto se vuelve muy duro para producir el acabado requerido a través del lavado normal y del cepillado, se puede utilizar un ácido clorhídrico diluido. La preparación de la superficie se debe minimizar y los reglamentos ambientales locales se deben obedecer. Otros dos métodos para la exposición del agregado son: (1) técnica monolítica, donde agregados seleccionados, normalmente con granulometría discontinua, se mezclan en la revoltura de concreto y (2) la técnica del revestimiento, en la cual el agregado seleccionado se mezcla a una capa de revestimiento que se coloca sobre una losa de base de concreto convencional.

El agregado también se puede exponer por métodos diferentes de aquellos discutidos anteriormente. Las siguientes técnicas exponen el agregado después que el concreto haya logrado una resistencia a compresión de cerca de 290 kg/cm² o 28 MPa: El chorro abrasivo se aplica mejor en un concreto con agregado con granulometría discontinua. La boquilla se debe sostener perpendicularmente a la superficie y se debe remover el concreto hasta una profundidad máxima

de cerca de un tercio del diámetro del agregado grueso. El chorro de agua también se puede utilizar para texturizar la superficie del concreto endurecido, especialmente donde los reglamentos locales prohíben el uso de chorro de arena por razones ambientales. Los chorros de

agua a alta presión se usan sobre superficies, no importando si hayan sido tratadas con retardadores o no.

En el labrado o martelinado, se remueve una capa de concreto endurecido y se fractura el agregado en la superficie. Las superficies producidas por un martillo con un cincel de una sola punta pueden variar desde un descascamiento ligero hasta una textura profunda. Se pueden emplear peines y puntas múltiples para producir acabados similares a los de las piedras cortadas.

El esmerilado y el pulimento producirán un concreto con agregado expuesto, tal como el terrazo, que se usa principalmente en áreas internas. Esta técnica se realiza en varias etapas sucesivas usando un esmeril de piedras o uno con disco diamantado. Cada etapa sucesiva utiliza un esmeril más fino que la etapa anterior. Se puede utilizar un compuesto de pulimento y un pulidor para un acabado más pulido.

Independientemente del método empleado, es sensato que el contratista haga un modelo preconstructivo para cada acabado, a fin de determinar el tiempo y las etapas involucradas. Además, el modelo se usa para obtener la aprobación del arquitecto y del dueño cuanto a la estética. Para más información.

Acabados Coloreados

Los acabados coloreados para efectos decorativos en aplicaciones en ambientes internos y externos se pueden lograr a través de cuatro diferentes métodos: (1) el método de una capa o método integral, (2) el método de dos capas, (3) el método del polvo rociado en seco y (4) pintura (discutido abajo).

Los pigmentos adicionados al concreto en la mezcladora para producir un color uniforme es la base del método de una capa. Ambos pigmentos, naturales y sintéticos, son satisfactorios si son: (1) insolubles en agua, (2) libres de sales solubles y ácidos, (3) estables bajo los rayos solares, (4) estables a los álcalis y ácidos débiles, (5) limitados a pequeñas cantidades de sulfato de calcio y

(6) molidos suficientemente finos para que 90% pase a través del tamiz de 45 µm. Se debe usar solamente la cantidad mínima necesaria para producir el color deseado y no más que 10% de la masa del cemento. En el método de las dos capas, se coloca una losa de base y se la deja con una textura áspera para adherir mejor la capa de revestimiento coloreado. Apenas la losa pueda soportar el peso del albañil, la capa de revestimiento se puede colocar. Si la losa de base hubiera endurecido, se debe preparar un mortero de adherencia para la losa de base antes de la colocación de la capa de revestimiento. La capa de revestimiento tiene normalmente un espesor de 13 a 25 mm, con una relación cemento-arena de 1:3 a 1:4. En seguida, se la empareja y alisa de la manera sugerida anteriormente. El método de las dos capas se usa más comúnmente porque es más económico que el método de una capa. En el método de polvo rociado en seco, el material coloreado preempacado en seco se moldea sobre una superficie de la losa de concreto. El material de polvo rociado en seco se aplica después que se haya enrasado y aplanado el concreto, el exceso de humedad se haya

evaporado de la superficie y el emparejado preliminar se haya realizado. Se rocía dos tercios del material con las manos sobre la superficie y se lo empareja hacia adentro de la superficie de manera que se lo distribuya uniformemente.

En seguida, el resto del material se coloca sobre la superficie y se la empareja como anteriormente. Se puede alisar la superficie en el mismo período que la losa típica. Para las superficies exteriores que se expondrán a la congelación-deshielo, normalmente es suficiente poco o ningún alisado, seguido de un escobado con una escoba para concreto de cerdas blandas.

Pinturas y Recubrimientos Transparentes

Se pueden aplicar a la superficie de concreto muchos tipos de pinturas y recubrimientos transparentes. Entre las principales pinturas, existen aquéllas a base de cemento portland, cemento portland modificado con látex y pinturas de látex. Sin embargo, las pinturas se usan sólo cuando se hace necesario colorear el concreto existente. Es difícil obtener un color uniforme, por lo tanto, se deben seguir las instrucciones del fabricante.

Las pinturas a base de cemento portland se pueden utilizar tanto en ambientes internos como externos. La superficie del concreto debe estar húmeda en el momento de la aplicación y se debe mojar cada capa lo más pronto posible, sin perjudicar la pintura. El curado húmedo de la pintura de cemento portland convencional es primordial. Sobre las superficies con textura abierta, tales como las mamposterías de concreto, se debe aplicar la pintura con cepillos de cerdas duras (cepillos de fregar). La pintura debe penetrar en la superficie. Para el concreto con acabado liso o arenoso, son mejores los cepillos de blanquear tipo holandés.

Los látex utilizados en las pinturas con cementos modificados con látex retardan la evaporación y, por lo tanto, retienen el agua necesaria para la hidratación del cemento portland. Al usarse las pinturas modificadas con látex, el curado húmedo no es necesario.

La mayoría de las pinturas con látex son resistentes a álcali y se pueden aplicar en el concreto nuevo, después de 10 días de un buen secado. El método preferido para su aplicación es con cepillos de fibras largas de nylon con ancho de 100 a 150 mm, pero los rodillos o los métodos de rociado también se pueden emplear. Las pinturas se pueden aplicar en las superficies húmedas, pero no mojadas. Si la superficie es moderadamente porosa o si están presentes condiciones ambientales extremadamente secas, es aconsejable el humedecimiento de la superficie.

Los recubrimientos transparentes normalmente se usan sobre las superficies de concreto para: (1) prevenir el manchado o la decoloración del concreto por la contaminación del aire, (2) facilitar la limpieza de la superficie, si se vuelve sucia, (3) avivar el color de los agregados y (4) volver la superficie repelente al agua y, así, prevenir los cambios de color debidos a la lluvia y a la absorción del agua. Los mejores recubrimientos consisten en formas de metacrilato de metilo de resina acrílica, como se observó en una evaluación comercial de recubrimientos transparentes. Los recubrimientos de metacrilato de metilo deben tener viscosidad y contenido de sólidos mayores cuando se los aplica sobre la superficie lisa de concreto, pues la apariencia original del concreto liso es más difícil de mantenerse que la del concreto con agregado expuesto.

Otros materiales, tales como los selladores penetrantes de silanos y siloxanos, se usan comúnmente como relentes del agua en aplicaciones en áreas externas.

Capítulo 7

Ensayos de Control del Concreto

La construcción y el desempeño satisfactorios del concreto requieren un concreto con propiedades específicas. Para garantizar que se logren estas propiedades, los ensayos de control de calidad y aceptación son partes indispensables del proceso constructivo. Los resultados de los ensayos proporcionan informaciones importantes para basar las decisiones con respecto a los ajustes del diseño de la mezcla. Sin embargo, la experiencia pasada y el buen juicio se deben basar en la evaluación de las pruebas y de su significado en el control de los procesos de diseño, mezclado y colocación, los cuales influyen el comportamiento final del concreto. Los diseñadores están empezando a utilizar las especificaciones basadas en el desempeño (también llamadas de resultado final o especificaciones para propiedades finales) que requieren que se logre el desempeño final del concreto independientemente del proceso que se use para esto. Las pruebas físicas y las propiedades del concreto se usan para medir la aceptación. Estas especificaciones no siempre tienen límites de aceptación para los ensayos de control de proceso, tales como revenimiento, o límites de las cantidades de los ingredientes del concreto, los cuales normalmente se encuentran en las normas de prescripción.

El resultado final de la resistencia a compresión, la baja permeabilidad, la durabilidad documentada y un número mínimo de grietas, por ejemplo, podrían ser un criterio de aceptación. Claro que, incluso cuando estos ensayos de control de proceso no están especificados, el productor de concreto perspicaz los utilizaría para guiar el producto hasta un resultado final satisfactorio. Sin embargo, la mayoría de las especificaciones hoy en día aún son una combinación de requisitos de prescripción y de desempeño.

CLASES DE ENSAYOS

Las especificaciones de proyecto pueden afectar: (1) características de la mezcla, tales como el tamaño máximo del agregado, las proporciones de los agregados o el contenido mínimo de cemento, (2) características del cemento, del agua, de los agregados y de los aditivos y (3) características del concreto fresco y endurecido, tales como temperatura, revenimiento, contenido de aire y resistencia a compresión o a flexión.

Se prueban los materiales cementantes para verificar su conformidad con las normas a fin de evitar un desempeño anormal, tal como endurecimiento prematuro, fraguado retrasado o baja resistencia del concreto.

Los ensayos de los agregados tienen dos propósitos principales: (1) determinar la adecuación del material para su uso en concreto, incluyéndose ensayos de abrasión, sanidad contra los ciclos de congelación-deshielo en ambiente saturado, materiales perjudiciales por análisis petrográfico y reacción álcali-agregado potencial y (2) garantizar la uniformidad, tales como las pruebas para control de humedad, masa específica relativa (densidad relativa) y granulometría de los agregados. Algunas pruebas se usan para ambos propósitos. Los ensayos del concreto para evaluar el desempeño de los materiales disponibles, para establecer las proporciones de la mezcla y para controlar la calidad del concreto durante la ejecución incluyen revenimiento, contenido de aire, temperatura, masa volumétrica y resistencia. Las pruebas de revenimiento, de contenido de aire y de resistencia normalmente se requieren en las especificaciones del proyecto para el control de calidad del concreto, mientras que la masa volumétrica es más útil en el diseño de la mezcla. Sin embargo, algunas normas tales como la ASTM C 94 (AASHTO M 157) y NMX-C-155, especifican que se deben hacer los ensayos de revenimiento, contenido de aire, masa volumétrica y temperatura cuando se moldean los especímenes para resistencia. Enseguida, se presenta una discusión sobre la frecuencia de las pruebas y la descripción de los principales ensayos de control que se usan para garantizar la uniformidad de los materiales, las propiedades deseadas del concreto fresco y la resistencia requerida del concreto endurecido. También se describen pruebas especiales.

FRECUENCIA DE LOS ENSAYOS

La frecuencia de los ensayos es un factor importante en la eficiencia del control de calidad del concreto. Se requieren pruebas con frecuencias especificadas para la aceptación del material o de uno de los componentes en una localización aleatoria dentro de una cantidad o periodo de tiempo representados por el ensayo. Tales frecuencias pueden no suceder con la

periodicidad suficiente para controlar el material, durante la producción, dentro de los límites especificados. Las pruebas de control de proceso no son aleatorias y se realizan con más frecuencia que lo especificado, a fin de documentar las tendencias que permiten que se hagan ajustes antes de la realización de las pruebas de aceptación.

La frecuencia de los ensayos de agregados y concreto para los procedimientos típicos de dosificación en planta depende principalmente de la uniformidad de los materiales, incluyéndose el contenido de humedad de los agregados, y del proceso de producción. Inicialmente, es aconsejable que se hagan pruebas de control de proceso varias veces al día, pero a medida que el trabajo progresa y el material se vuelve más predecible, normalmente se puede reducir la frecuencia. La ASTM C 1451 ofrece una práctica estándar para la determinación de la uniformidad de los materiales cementantes, agregados y aditivos químicos empleados en el concreto.

Normalmente, las pruebas de contenido de humedad de los agregados se realizan una o dos veces al día. Frecuentemente, la primera revoltura de agregado fino por la mañana está excesivamente húmeda, pues la humedad migra durante la noche para el fondo del cubo de almacenamiento. A medida que el agregado fino se retira del fondo del cubo y se adicionan más agregados, el contenido de humedad se estabiliza en un nivel más bajo y se puede hacer la primera prueba de humedad. Es importante la obtención de muestras representativas de humedad de los agregados que se van a utilizar, ya que un cambio de la humedad del agregado fino de sólo 1% cambiará la cantidad de agua necesaria en la mezcla en aproximadamente 8 kg/m³. El ensayo de revenimiento se debe hacer en la primera revoltura de concreto del día, siempre que la consistencia del concreto parezca que varía y siempre que se moldeen cilindros en la obra para las pruebas de resistencia a compresión. Las pruebas de contenido de aire se deben hacer con frecuencia suficiente en el local de entrega para garantizar el contenido de aire adecuado, principalmente si se cambian la temperatura y la granulometría del agregado. Se debe realizar un ensayo de contenido de aire para cada muestra del concreto, de la cual se hacen cilindros, y también se debe conservar un registro de la temperatura de cada muestra.

El número de pruebas de resistencia realizadas va a depender de las especificaciones de la obra y de la ocurrencia de variaciones. El código de construcción ACI 318 y la ASTM C 94 requieren que se hagan pruebas de resistencia, para cada clase de concreto colocado en cada día, por lo menos una vez al día y por lo menos a cada 115 metros cúbicos. Adicionalmente, el ACI 318 recomienda que deban tomarse pruebas no menos que una vez para cada 500 m² de área de losa o muros colados en el mismo día. Se requiere el promedio de resistencia a los 28 días de dos cilindros, para cada prueba usada para evaluar el concreto. También se hacen cilindros para ensayos a los 7 días, junto con los de 28 días, a fin de proporcionar una indicación temprana del desarrollo de resistencia. Como regla práctica, normalmente la resistencia a compresión a los 7 días es cerca de 60% a 70% de la resistencia a los 28 días, dependiendo del tipo de cemento, de la cantidad de material cementante, de la relación agua-cemento, de la temperatura de curado y de otras variables. Pueden ser necesarios especímenes adicionales en el caso del concreto de alta resistencia o cuando los requisitos estructurales sean críticos. Los especímenes se deben curar en laboratorio cuando se los va a utilizar en pruebas de aceptación o de desempeño final del concreto. Sin embargo, no se deben utilizar especímenes curados en laboratorio como una indicación de la resistencia del concreto en el sitio.

Las resistencias del concreto in situ se documentan típicamente con muestras curadas en la obra de la misma manera que el concreto de la estructura. Los especímenes curados en la obra normalmente se los usa para decidir cuando se deben retirar las cimbras y los puntales debajo de una losa estructural o para determinar cuando se puede permitir el tráfico sobre un pavimento nuevo. A pesar que se pueden ensayar los cilindros curados en obra a cualquier edad, normalmente se hacen pruebas a los 7 días para que se comparen con las pruebas de laboratorio en la misma edad. Esto es útil para verificar si el curado y la protección durante el colado en clima frío están adecuados.

ENSAYOS DE AGREGADOS

Muestreo de Agregados

Los métodos para la obtención de muestras significativas de los agregados se presentan en ASTM D 75 (AASHTO T 2) y NMX-C-030. La localización en el proceso de producción donde las muestras van a ser obtenidas debe ser planeada cuidadosamente. El muestreo en las esteras transportadoras, pilas de almacenamiento o tolva de agregado puede requerir equipos especiales de muestreo. Se deben tomar precauciones para que se obtenga una muestra lejos de la parte segregada de la pila y en cantidad suficiente para atender el tamaño mínimo requerido por las normas. Además de esto, las muestras para la determinación del contenido de humedad se deben colocar en recipientes sellados o en bolsas de plástico, lo más pronto posible, para retener la humedad hasta que se realice la prueba. La reducción de muestras grandes de campo para cantidades pequeñas de pruebas individuales se debe ejecutar con cuidado, a fin de que las muestras finales sean realmente representativas. Con los agregados gruesos, se utiliza el método de cuarteamiento: la muestra, totalmente mezclada, se esparce sobre un pedazo de lona, en una capa regular de 75 o 100 mm de espesor, y se la divide en cuatro partes iguales. Las dos partes opuestas se desechan. Este proceso se repite hasta que se obtenga el tamaño deseado. Algunas veces se utiliza un proceso similar para el agregado fino, húmedo. Se recomiendan los cuarteadores para los agregados secos (Fig. 7-1), pero no se los debe utilizar para agregados cuya humedad sobrepase la humedad de saturado con superficie seca.



Fig. 7-1. Cuarteador normalmente usado para reducir las muestras de agregado grueso.

Impurezas Orgánicas

Las impurezas orgánicas en los agregados finos se deben determinar de acuerdo con ASTM C 40 (AASHTO T 21), NMX-C-088-1997-ONNCE. Se coloca una muestra de agregado fino en una solución de hidróxido de sodio y se la agita. Al día siguiente, se compara el color de la solución de hidróxido de sodio con un estándar de color de vidrios o una solución de color estándar. Si el color de la solución que contiene la muestra es más oscuro que la solución estándar o que la placa de vidrio orgánico No. 3, no se debe utilizar el agregado fino para trabajos importantes en concreto, sin una investigación más profundada. Algunos agregados finos contienen pequeñas cantidades de carbón o lignita que dan al líquido el color oscuro. La cantidad puede ser insuficiente para reducir apreciablemente la resistencia del concreto. Si la apariencia de la superficie del concreto no es importante, la ASTM C 33 (AASHTO M 6) y NMX-C-111, declaran que el agregado fino es aceptable si la cantidad de carbón y lignita no exceden al 1% de la masa total de agregado fino. Se puede usar el agregado fino que no atiende a este límite si, al ensayarlo de acuerdo con ASTM C 87 (AASHTO T 71) y NMX-C-07, la resistencia a compresión a los 7 días de cubos de mortero producidos con este agregado es, por lo menos, 96% de la resistencia del mortero producido con la misma arena, pero lavada en una solución de 3% de hidróxido de sodio y enjuagada totalmente con agua. Cantidades considerables de carbón y lignita en el agregado pueden causar erupciones y manchas del concreto y pueden disminuir su durabilidad, cuando sea expuesto a la intemperie. La experiencia local es normalmente la mejor indicación de la durabilidad del concreto producido con tales agregados.

Material Fino Objetable

Grandes cantidades de arcilla y limo en agregados puede afectar adversamente la durabilidad, aumentar la demanda de agua y aumentar la contracción. Las especificaciones normalmente limitan la cantidad de material que pasa por el tamiz No. 200 (75 μm) a 2% o 3% en el agregado fino y a 1% o menos en el agregado grueso. Las pruebas para el material más fino que 75 μm (tamiz No. 200) deben estar de acuerdo con ASTM C 117 (AASHTO T 11) y NMX-C-084. La NCh1223 es una prueba para el material más fino que 80 μm . Las pruebas de terrones de arcilla deben estar de acuerdo con la ASTM C 142 (AASHTO T 112) y NMX-C-071.

Granulometría

La granulometría de los agregados afecta considerablemente proporción de la mezcla de concreto y su trabajabilidad. Las pruebas de granulometría son elementos importantes para la garantía de la calidad. La granulometría o la distribución de los tamaños de partículas del agregado se determina por el análisis de la prueba, en la cual las partículas se separan en sus varios tamaños a través de tamices estándares. El análisis debe ser realizado de acuerdo con ASTM C 136 (AASHTO T 27) y NMX-C-077.

Los resultados de los análisis se usan de tres maneras: (1) para determinar si los materiales cumplen con las especificaciones; (2) para seleccionar el material más adecuado, si hay varios agregados disponibles y (3) para detectar variaciones en la granulometría que son suficientes para justificar la mezcla de tamaños seleccionados o un ajuste de las proporciones de la mezcla. Se deben evitar los materiales que contengan cantidades excesivas o cantidades demasiado pequeñas de cualquiera de los tamaños. Algunas especificaciones requieren que las proporciones de mezcla se ajusten si el promedio del módulo de finura cambia más de 0.20. Otras especificaciones requieren ajustes de las proporciones de la mezcla si la cantidad retenida en cualquiera de dos tamices consecutivos superar 10% de la masa total de la muestra del agregado. Una pequeña cantidad de material limpio que pasa por la malla No. 100 (150 μm), pero que se queda retenida en la malla No. 200 (75 μm), es deseable para la trabajabilidad. Por esta razón, la mayoría de las especificaciones permite hasta 10% de este material en el agregado fino.



Fig. 7-2 Realización del ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso en el laboratorio.

El agregado bien graduado contiene partículas en cada tamaño de tamiz. El agregado bien graduado realza numerosos factores que resultan en mayores trabajabilidad y durabilidad. Cuanto mejor graduado sea un agregado, más va a empaquetar las partículas juntas,



Fig. 7-3. diferentes tamaños de agregado después de una granulometría

reduciendo el volumen entre ellas que debe ser lleno por la pasta. Por otro lado, agregados con granulometría discontinua, o sea, aquéllos que tienen una gran cantidad o deficiencia de uno o más tamaños de malla, pueden disminuir la trabajabilidad durante el mezclado, bombeo, colocación, consolidación y acabado. También se puede afectar la durabilidad, con el uso de más agregado fino y agua, a fin de producir una mezcla trabajable.

Contenido de Humedad en los Agregados

Se usan muchos métodos para la determinación del contenido de humedad en las muestras de agregado. El contenido total de humedad en el agregado fino y en el agregado grueso se puede ensayar de acuerdo con las normas ASTM C 566 (AASHTO T 255) y NMX-C-166. En este método una muestra medida de agregado húmedo se seca en un horno convencional ventilado, en un horno de microondas, en un horno eléctrico o sobre una placa directa al fuego. A través de la masa antes y después del secado, se puede calcular el contenido de humedad como sigue: $P = 100 (H-S)/S$

Siendo:

P = contenido de humedad de la muestra en porcentaje

H = masa original de la muestra

S = masa seca de la muestra

La humedad (libre) de la superficie se puede calcular si se conoce el porcentaje de humedad absorbida en el agregado. El contenido de humedad en la superficie es igual a la humedad total menos la humedad absorbida. Se puede utilizar la información histórica para la fuente de agregado, a fin de que se obtengan los datos de contenido de humedad absorbida, si la composición mineralógica de la mina o de la cantera no se ha cambiado considerablemente.

Sin embargo, si no hay datos recientes disponibles, se los puede determinar a través de ASTM C 127 (AASHTO T 85) y NMX-C-164, para el agregado grueso y ASTM C 128 [AASHTO T 84] y NMX-C-165, para el agregado fino.

Sólo la humedad de la superficie, no la humedad absorbida, se vuelve parte del agua de la mezcla en el concreto. Los porcentajes de la humedad superficial se usan para calcular la cantidad de agua en los agregados, a fin de que se reduzca la cantidad de agua de la mezcla, usada en la dosificación. Adicionalmente, se debe aumentar la masa de agregados en la dosificación en el porcentaje de humedad superficial presente en cada tipo de agregado. Si no se hacen ajustes durante la dosificación, el agua superficial va a reemplazar una parte de la masa de agregado y la mezcla no va a rendir adecuadamente. Otro método para la determinación del contenido de humedad, el cual no es preciso, consiste en evaporar la humedad con la quema de alcohol. En este método: (1) una muestra medida de agregado húmedo se coloca en una cacerola poco profunda; (2) se derrama sobre la muestra cerca de 310 ml de alcohol para cada kilogramo; (3) se revuele la mezcla con una varilla y se la extiende en una capa fina sobre el fondo de la cacerola; (4) se inflama el alcohol para que se queme hasta que la muestra esté seca; (5) después de quemada, la muestra se enfría por algunos minutos y se la pesa y (6) se calcula el porcentaje de humedad.

Cuando equipos de secado no están disponibles, se puede determinar la humedad superficial del agregado fino, en la obra o en la planta mezcladora, de acuerdo con ASTM C 70 y COVENIN 0272.

El mismo procedimiento se puede utilizar para el agregado grueso con los cambios adecuados en el tamaño de la muestra y en el tamaño del recipiente. Esta prueba depende de la sustitución del agua por una masa conocida de agregado húmedo, por lo tanto, la masa específica relativa del agregado se debe conocer con precisión. Los medidores eléctricos de humedad se usan en muchas plantas de concreto premezclado, principalmente para monitorear el contenido de humedad de los agregados finos, pero algunas plantas también los usan para verificar el agregado grueso. Operan basándose en el principio que la resistencia eléctrica del agregado húmedo disminuye con el aumento de la humedad, dentro del intervalo de humedades normalmente encontradas. Los contadores miden la resistencia eléctrica de los agregados entre electrodos proyectados dentro de la tolva de dosificación o depósito. Los medidores de humedad que usan el método de absorción de microondas se están volviendo más populares porque son más precisos que los medidores eléctricos. Sin embargo, ambos métodos miden el contenido de humedad precisa y rápidamente, aunque sólo al nivel de la sonda. Estos medidores requieren calibración frecuente y se los deben mantener apropiadamente. La naturaleza variable del contenido de humedad en los agregados dificulta la obtención de muestras representativas para la comparación de los medidores eléctricos de humedad. Varias pruebas de contenido de humedad utilizando secado en el horno se deben realizar para verificar la calibración de estos medidores antes que se establezca la precisión.

ENSAYOS DEL CONCRETO FRESCO

Muestreo del Concreto Fresco

Se debe enfatizar la importancia de la obtención de muestras realmente representativas del concreto fresco para los ensayos de control. A menos que la muestra sea representativa, los resultados de las pruebas serán engañosos. Las muestras se deben obtener y manejar de acuerdo con ASTM C 172 (AASHTO T 141) y NMX-C-161-1997-ONNCCE. A excepción de las pruebas de rutina, tales como revenimiento y contenido de aire, realizadas para el control del proceso, la ASTM C 172 (AASHTO T 141) requiere que el tamaño de la muestra para el propósito de aceptación debe ser, por lo menos, 28 litros y se la debe obtener durante los 15 minutos entre la primera y la última porción de la amasada. La muestra compuesta, producida con dos o más porciones, no se debe tomar enseguida a la porción inicial de la descarga, ni tampoco a la porción final. La muestra se debe proteger del sol, viento y otras visfuentes de evaporación rápida durante el muestreo y el ensayo.

Consistencia

El ensayo de revenimiento o asentamiento del cono de Abrams, ASTM C 143 (AASHTO T 119) y NMX-C-156-1997-ONNCCE, es el método más ampliamente aceptado y utilizado para medir la consistencia del concreto (Fig. 7-4). El equipo de prueba consiste en un cono de revenimiento

(molde cónico de metal 300 mm [12 pulg.] de altura, con 200 mm [8 pulg.] de diámetro de base y 100 mm [4 pulg.] de diámetro de la parte superior) y una varilla de metal con 16 mm de diámetro (5/8 pulg.) y 600 mm (24 pulg.) de longitud con una punta de forma hemisférica. El cono húmedo, colocado verticalmente sobre una superficie plana, rígida y no absorbente, se debe llenar en tres capas de volúmenes aproximadamente iguales. Por lo tanto, se debe llenar el cono hasta una profundidad de 70 mm (2 1/2 pulg.) en la primera capa, una profundidad de 160 mm (6 pulg.) en la segunda y la última capa se debe sobrellenar. Se aplican 25 golpes en cada capa. Después de los golpes, se enrasa la última capa y se levanta el cono lentamente aproximadamente 300 mm (12 pulg.) en 5 ± 2 segundos. A medida que el concreto se hunde o se asienta en una nueva altura, se invierte el cono vacío y se lo coloca gentilmente cerca del concreto asentado. El revenimiento o el asentamiento es la distancia vertical que el concreto se ha asentado, medida con una precisión de 5 mm (1/4 pulg.). Se usa una regla para medir de la parte superior del molde del cono hasta en centro original desplazado del concreto asentado.

Fig. 7-4 Ensayo de revenimiento (asentamiento en cono de Abrams) para la consistencia del concreto. La Figura A muestra un revenimiento más bajo, la Figura B muestra un revenimiento mayor.



Un valor más elevado de revenimiento es indicativo de un concreto más fluido. Todo el ensayo hasta la remoción del cono se debe completar en 21/2 minutos, pues el concreto

pierde revenimiento con el tiempo. Si hay desmoronamiento de una parte del concreto, se debe realizar otra prueba con otra porción de la muestra.

Otro método de ensayo para la fluidez (flujo) del concreto fresco envuelve el uso del medidor k de revenimiento (ASTM C 1362). Éste es un aparato de sondeo que se introduce dentro del concreto en cualquier localización donde haya una profundidad de concreto mínima de 175 mm (7 pulg.) y un radio de concreto alrededor del medidor de 75 mm (3 pulg.). La cantidad de mortero fluyendo para dentro de las aberturas del medidor es la medida de fluidez.

Medición de la Temperatura

Fig. 7-5 Se usa un termómetro para medir la temperatura del concreto fresco.



Como la temperatura del concreto tiene una gran influencia sobre las propiedades tanto del concreto fresco como del endurecido, muchas especificaciones limitan la temperatura del concreto fresco. Están disponibles termómetros de vidrio o con coraza (Fig. 7-5). El termómetro debe tener precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1^{\circ}\text{F}$) y debe permanecer en una muestra representativa de concreto, por lo menos, 2 minutos o hasta que la lectura se estabilice. Un mínimo de 75 mm de concreto debe rodear la porción sensitiva del termómetro. También están disponibles los medidores de temperatura electrónicos con lectura digital. La medición de la temperatura (ASTM C 1064 [AASHTOT 309], NTP 339.184) se debe terminar en un periodo de 5 minutos después de tomada la muestra.

Masa Volumétrica y Rendimiento

La masa volumétrica (masa unitaria) y el rendimiento del concreto fresco (Fig. 7-6) se determinan de acuerdo con ASTM C 138 (AASHTO T 121) y , NMX-C-162-ONNCCE. Los resultados deben ser suficientemente precisos para determinar la cantidad volumétrica del concreto producido en cada mezcla.



Fig. 7-6. Se pesa el concreto fresco en un recipiente de volumen conocido para la determinación de la masa volumétrica.

La prueba también presenta una indicación del contenido de aire, desde que se conozcan la masa volumétrica (masa unitaria) de los ingredientes. Se requiere una balanza o una báscula con precisión de 0.3% de la masa prevista de la muestra y del recipiente. Por ejemplo, un recipiente con 7 litros (0.25 pies³) requiere una balanza con precisión de 50g (0.1 lb). El tamaño del recipiente empleado en la determinación de la masa volumétrica y del rendimiento varía con el tamaño del agregado. Por ejemplo, si está en

buenas condiciones, el recipiente del medidor de aire con capacidad para 7 litros (0.25 pies³) se puede utilizar con agregados de hasta 25 mm (1 pulg.), mientras que el recipiente de 14 litros (0.5 pies³) se usa con agregados de hasta 50 mm (2 pulg.). El recipiente se debe calibrar por lo menos una vez al año

(ASTM C 1077). Se debe tener cuidado para consolidar el concreto adecuadamente, sea a través de golpes, sea a través de vibración interna. Se debe utilizar una llana o placa plana para enrasar la superficie superior del concreto, a fin de que el recipiente esté lleno y con acabado plano y liso. La masa volumétrica se expresa en kilogramos por metro cúbico (libras por pie cúbico) y el rendimiento en metros cúbicos.

La masa volumétrica del concreto no endurecido, bien como del concreto endurecido, se puede determinar por métodos nucleares ASTM C 1040 (AASHTO T 271).

Contenido de Aire

Se pueden utilizar varios métodos para medir el contenido de aire del concreto fresco. Las normas incluyen el método por presión (ASTM C 231, AASHTO T 152) y NMX-C-157, el método volumétrico (ASTM C 173, AASHTO T 196) y NMX-C-158 y el método gravimétrico (ASTM C 138 [AASHTO T 121] y NMX-C-162-ONNCCE-2000.

Fig. 7-7. Medidor del tipo de presión para la determinación del contenido de aire.



El método por presión (Fig. 7-7) se basa en la ley de Boyle, la cual relaciona presión y volumen. Muchos medidores de aire comercialmente disponibles están calibrados para leer contenido de aire directamente cuando se aplica una presión predeterminada. La presión aplicada comprime el aire dentro de

la muestra de concreto, incluyendo el aire en los poros de los agregados. Por esta razón, las pruebas por este método no son adecuadas para medir el contenido de aire de concretos producidos con algunos agregados ligeros (livianos) u otros materiales muy porosos. Los factores de corrección del agregado, el cual compensa el aire atrapado (aire ocluido) en los agregados de peso normal son relativamente constantes y, a pesar de pequeños, se los debe abstraer de la lectura en el medidor de presión para obtener el contenido de aire correcto. Se debe calibrar el equipo para varias altitudes sobre el nivel del mar, si se lo va a utilizar en sitios que tengan diferencia en altitudes considerables. Algunos medidores usan cambio de presión de un volumen conocido de aire y no se afectan por los cambios de altitudes. Los medidores de presión son ampliamente usados porque no hay necesidad de conocerse las proporciones de la mezcla, ni la gravedad específica de los ingredientes del concreto. Además, se puede realizar esta prueba en menos tiempo de lo requerido por otros métodos.

El método volumétrico (Fig. 7-8), requiere la remoción del aire de un volumen conocido de concreto, a través de la agitación del concreto dentro de un exceso de agua. Se puede utilizar este método para concretos que contengan cualquier tipo de agregado, incluyendo el ligero o materiales porosos. El factor de corrección no es necesario en este ensayo. Además, esta



prueba no se afecta por la presión atmosférica y no hay necesidad del conocimiento de la gravedad específica de los ingredientes. Se debe tener cuidado para agitar suficientemente la muestra para la remoción completa del aire. La adición de 500 mL de alcohol acelera la remoción del aire, disminuyendo el tiempo de la prueba, además de dispersar la mayor parte de la espuma y aumentar la precisión del ensayo, incluyendo aquéllos realizados en concretos con altos contenidos de aire o de cemento.

Fig. 7-8 Medidor de aire volumétrico.

El método gravimétrico utiliza el mismo equipo empleado para la determinación de la masa volumétrica del concreto. La masa volumétrica medida del concreto se sustrae de la masa volumétrica teórica, la cual se determina de los volúmenes absolutos de los ingredientes, asumiéndose que no hay aire presente. La diferencia, expresa en porcentaje de la masa volumétrica teórica, es el contenido de aire. Tanto las proporciones de la mezcla como las masas específicas relativas de los ingredientes se deben conocer con gran precisión, para que se eviten errores en los resultados. Consecuentemente, este método es adecuado sólo en el control del laboratorio. Los cambios considerables en la masa volumétrica pueden ser una manera conveniente de detectar la variabilidad del contenido de aire.

Se puede utilizar un indicador de aire de bolsillo (AASHTO T 199) para la verificación rápida de los niveles de aire en el concreto (bajo, medio y alto), pero no es un sustituto de los métodos más precisos. Se coloca una muestra representativa del mortero del concreto en el recipiente. Entonces, se llena el recipiente con alcohol y se lo balancea con el pulgar sobre la extremidad abierta, a fin de remover el aire del mortero. El contenido de aire indicado se determina por la comparación en el nivel de alcohol con un gráfico de calibración. El ensayo se puede realizar en pocos minutos y es útil principalmente para la evaluación de la presencia de aire en el concreto cerca de la superficie, la cual puede haber sufrido reducciones del contenido de aire por los procedimientos inadecuados de acabado. En cualquiera de estos métodos, las pruebas de contenido de aire se deben empezar hasta 5 minutos después que la porción final de la muestra fue obtenida.

Las investigaciones sobre el efecto de la ceniza volante sobre la estabilidad de los vacíos de aire del concreto resultaron en el desarrollo del ensayo del índice de espuma. Se puede usar esta prueba para medir los requisitos relativos de aditivos inclusores de aire en mezclas de concreto que contengan ceniza volante. Se coloca la ceniza volante que será ensayada con el aditivo inductor de aire en un tarro de boca ancha y se lo agita vigorosamente. Después de un periodo de descanso de 45 minutos, se hace la determinación visual de la estabilidad de la espuma o de las burbujas.

Especímenes para Resistencia

Los especímenes moldeados para los ensayos de resistencia se deben preparar de acuerdo con ASTM C 31 (AASHTO T 23) y NMX - C-160 o ASTM C 192 (AASHTO T126) y NMX-C-159. La preparación de los especímenes debe empezar, como máximo, 15 minutos después de la obtención de la muestra del concreto. La probeta estándar para la resistencia a compresión del concreto con agregado de dimensión máxima de 50 mm (2 pulg.) o menor es un cilindro de 150 mm (6 pulg.) de diámetro por 300 mm (12 pulg.) de altura (Fig. 7-9). Para agregados mayores, el diámetro del cilindro debe ser, por lo menos, tres veces mayor que la dimensión máxima del agregado y la altura debe ser dos veces el diámetro. Aunque se prefieren los moldes metálicos rígidos, se puede usar moldes de plástico, de cartón parafinado u otro tipo de molde desechable, conforme ASTM C 470 y NMX-C-281. Se deben colocar los moldes sobre una superficie lisa, nivelada y rígida y se los deben llenar cuidadosamente para evitar distorsiones en su forma.



Fig. 7-9. Preparación de los especímenes estándar para la prueba de resistencia a compresión del concreto.

El molde de cilindro con 100 mm (4 pulg.) de diámetro por 200 mm (8 pulg.) de altura está siendo utilizado comúnmente para los concretos de alta resistencia que contienen agregado de tamaño máximo de 19 mm (3/4 pulg.). El cilindro de 100 x 200 mm (4 x 8 pulg.) es más fácil de moldear, requiere menos muestra, pesa mucho menos que el cilindro de concreto de 150 x 300 mm (6 x 12 pulg.) y, por lo tanto, es más fácil de manejarlo y requiere menos espacio para su curado húmedo. Adicionalmente, la sección transversal menor permite que se alcance una resistencia a compresión mayor por una máquina de ensayo que tenga una capacidad de carga menor. La diferencia en la resistencia indicada entre los dos tamaños de cilindro es insignificante, como se puede observar en la Figura 7-10. El desvío padrón y el coeficiente de variación del cilindro de 100 mm es ligeramente mayor o similar al del cilindro de 150 mm. El tamaño predominantemente usado en Canadá es el cilindro de 100 mm de diámetro. Consulte las especificaciones de la obra para los tamaños de cilindros permitidos.

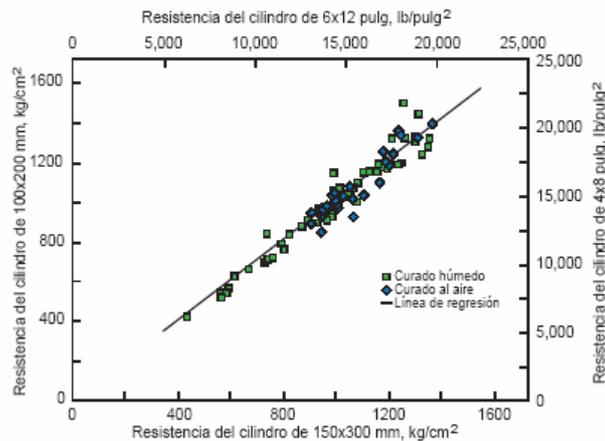


Fig. 7-10. Comparación de la resistencia de cilindros de 100 x 200 mm (4 x 8 pulg.) y 150 x 300 mm (6 x 12 pulg.)

Las vigas para el ensayo de resistencia a flexión tienen normalmente 150 x 150 mm (6 x 6 pulg.) de sección transversal para concretos con agregados de hasta 50 mm (2 pulg.). Cuando se utilizan agregados mayores que éstos, la dimensión mínima de sección transversal no debe ser menor que tres veces la dimensión máxima del agregado. La longitud de las vigas debe ser, por lo menos, tres veces la profundidad de la viga más 50 mm (2 pulg.) o un total de más de 500 mm (20 pulg.) para la viga de 150 x 150 mm (6 x 6 pulg.). Los cilindros de prueba que se compactan con golpes se deben llenar en tres capas aproximadamente iguales y cada capa debe recibir 25 golpes en los cilindros de 150 mm (6 pulg.) de diámetro, mientras que las vigas con hasta 200 mm (8 pulg.) de profundidad se deben llenar en dos capas, golpeándolas con una varilla de 16 mm [5/8 pulg.] de diámetro una vez por capa para cada 1400 mm² (2 pulg²) de área de superficie superior. Si la varilla deja agujeros, los lados de los moldes se deben golpear ligeramente con una maceta o con la mano abierta. Los cilindros que son vibrados, se deben llenar en dos capas con una inserción por capa en los cilindros de 100 mm (4 pulg.) de diámetro y dos inserciones en los cilindros de 150 mm (6 pulg.) de diámetro. Las vigas con más de 200 mm (8 pulg.) de profundidad y los cilindros con profundidad de 300 a 450 mm (12 a 18 pulg.), que se van a vibrar (revenimiento menor o igual a 75 mm [3 pulg.]), se deben llenar en dos capas y vigas con profundidad de 150 a 200 mm (6 a 8 pulg.), que se van a vibrar, se pueden llenar en una capa. Los vibradores internos deben tener un ancho máximo de no más que 1/3 del ancho de las vigas o 1/4 del diámetro del cilindro.

Inmediatamente después del llenado, la parte superior del espécimen debe: (1) cubrirse con un vidrio o placa de acero aceitado, (2) sellarse con una bolsa de plástico o (3) sellarse con una cubierta de plástico. La resistencia de los especímenes de prueba se puede afectar considerablemente con golpes, cambios de temperatura y exposición al secado, principalmente en las primeras 24 horas después de su moldeo. Por lo tanto, los especímenes de prueba se deben colar en sitios donde no sean necesarios movimientos y donde sea posible su protección.

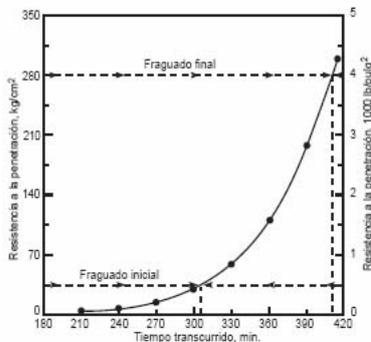
Los cilindros y las vigas se deben proteger contra manejos bruscos a cualquier edad. Es importante acordarse de identificar los especímenes en la parte externa de los moldes para prevenir confusión y errores en la información. No grave el número de identificación en la

superficie de los especímenes de concreto fresco. Use cinta adhesiva o etiqueta de identificación que no dañe la muestra.

Los procedimientos normalizados de prueba requieren que las probetas se curen bajo condiciones controladas, sea en laboratorio (Fig. 7-11), sea en la obra. El curado controlado en el laboratorio en un cuarto húmedo o en un tanque de almacenamiento con agua de cal proporciona una indicación precisa de la calidad del concreto entregado. El agua de cal debe estar saturada de cal hidratada, no cal agrícola, de acuerdo con ASTM C 511 (AASHTO M 201) y NMX-C-148, para prevenir la lixiviación de la cal del espécimen de concreto. Las probetas curadas en la obra, de la misma manera que la estructura, representan más fielmente la resistencia real del concreto en la estructura en la edad del ensayo, pero proporcionan poca indicación si la deficiencia se debe a la calidad del concreto entregado o al manejo y curado inadecuados. En algunos proyectos, las probetas curadas en el campo se producen complementariamente a las probetas destinadas al curado controlado en el laboratorio, siendo muy útiles, principalmente, cuando el clima no es favorable para determinar cuando se pueden remover las cimbras (encofrados) o cuando se puede poner la estructura en uso.



Fig. 7-11. Curado húmedo controlado en laboratorio de especímenes estándar con humedad relativa de 95% a 100% y temperatura de $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ ($73\pm 3^{\circ}\text{C}$) (ASTM C 511 o AASHTO M 201).



Tiempo de Fraguado

Los métodos de ensayo ASTM C 403 (AASHTO T 197) y NMX-C-177-1997-ONNCCE, se usan para determinar el tiempo de fraguado del concreto, midiéndose la resistencia a la penetración producida en intervalos de tiempo regulares sobre el mortero de la mezcla de concreto (Fig. 7-12). El tiempo de fraguado inicial y final se determinan como el tiempo correspondiente a la resistencia a la penetración de 35 kg/cm² o 3.5 MPa y 280 kg/cm² o 27.6 MPa, respectivamente. Normalmente, el inicio de fraguado ocurre entre 2 y 6 horas después del mezclado, y el final ocurre entre 4 y 12 horas. La velocidad de endurecimiento del concreto influye considerablemente la tasa de progreso de la construcción. La temperatura, la relación agua-material cementante y los aditivos afectan el tiempo de fraguado.

Fig. 7-12. (superior) Equipo de tiempo de fraguado. (inferior) Curva de los resultados de la prueba. Contenido de Cloruros

El contenido de cloruros del concreto y sus ingredientes se debe verificar para asegurarse que se encuentra abajo de los límites necesarios, a fin de evitar la corrosión del acero del refuerzo. Se puede hacer una aproximación del contenido de cloruros solubles en agua del concreto fresco, de los agregados y de los aditivos usando el método creado por la Asociación Nacional de Concreto Premezclado (NRMCA 1986). Se puede determinar el contenido total de cloruros del concreto fresco sumándose el contenido de cloruros individuales de todos los constituyentes de la mezcla. El método de la NRMCA da una aproximación rápida, pero no se lo debe utilizar para la verificación del cumplimiento de las especificaciones.

Sangrado (Exudación) del Concreto

Las propiedades de sangrado (exudación) del concreto fresco se pueden determinar a través de dos métodos descritos en ASTM C 232 (AASHTO T 158), NMX-C-296- ONNCCE-2000, Un método consolida el espécimen compactándolo sin disturbios posteriores. El otro consolida el espécimen por vibración, después de la cual, el espécimen se vibra intermitentemente durante todo el ensayo. La cantidad del agua de sangrado en la superficie se expresa como el

volumen de agua de sangrado por unidad de área expuesta del concreto o como el porcentaje de la cantidad neta de agua de la mezcla en el espécimen. Los valores típicos varían de 0.01 a 0.08 mL/cm² o 0.1% a 2.5% del agua de la mezcla. La prueba de sangrado raramente se realiza en la obra (Fig. 7-13).



Fig. 7-13. Ensayo de sangrado (exudación) del concreto de acuerdo con la ASTM C 232 (AASHTO T 58); método A, sin vibración. El recipiente tiene un diámetro interno de cerca de 255 mm (10 pulg.) y altura de 280 mm (11 pulg.). El recipiente se llena hasta una altura de 255 mm (10 pulg.) y se lo cubre para prevenir la evaporación del agua de sangrado.

Ensayos de Resistencia en el Concreto Endurecido

Los ensayos de resistencia del concreto endurecido se pueden realizar en las siguientes condiciones: (1) especímenes curados y moldeados de acuerdo con ASTM C 31 (AASHTO T 23) y NMX - C-160, de las muestras de concreto fresco; (2) especímenes extraídos o aserrados de la estructura de concreto endurecido, de acuerdo con ASTM C 42 (AASHTO T 24) y NMX-C-169-1997-



ONNCCE, o (3) especímenes producidos con moldes de cilindros colados in situ, ASTM C 873 (Fig. 7-14).

Fig. 7-14. Los cilindros de concreto colados in situ en un molde cilíndrico ayudan en la determinación de la resistencia a compresión del concreto de la estructura.

Los cilindros elaborados in situ se pueden usar en una estructura que tenga profundidad de 125 mm a 300 mm (5 a 12 pulg.). El molde se llena al mismo tiempo y de la misma manera que la estructura de concreto. El espécimen se cura, entonces, en el sitio, de la misma manera que el resto de la sección de concreto. Se remueve la probeta del concreto y del molde inmediatamente antes de la prueba para determinar la resistencia del concreto en el sitio. Este método se aplica principalmente a la colocación en clima frío, concreto postensado, losas o cualquier obra de concreto donde se deba lograr, en el sitio, una resistencia mínima antes que se pueda continuar la construcción.

Para todos los métodos, los cilindros deben tener el diámetro, por lo menos, tres veces mayor que el diámetro máximo del agregado grueso y la longitud debe ser lo más cerca posible de dos veces el diámetro. Los factores de corrección están disponibles en ASTM C 42 (AASHTO T 24) y NMX-C-169-1997-ONNCCE, para especímenes con longitud de 1 a 2 veces el diámetro. No se deben usar corazones (testigos, núcleos) y cilindros con altura menor que 95% del diámetro, antes o después del cabeceo. Se sugiere, si es posible, el uso de corazón con diámetro mínimo de 95 mm (3.75 pulg.), cuando la relación entre longitud y diámetro (L/D) es mayor que uno.

Los testigos aserrados no se deben retirar hasta que se pueda hacer la muestra sin perturbar la adherencia entre el mortero y el agregado grueso. En superficies horizontales, los testigos se deben retirar verticalmente y no cerca de las juntas formadas, ni de los bordes. En caras verticales o inclinadas, los corazones (testigos, núcleos) se deben extraer perpendicularmente a la porción central del elemento de concreto. A pesar que los aparatos de extracción diamantados pueden cortar a través del acero del refuerzo, si posible, se lo debe evitar al obtenerse corazones para el ensayo de resistencia a compresión. Un pachómetro o un medidor de recubrimiento (aparato electromagnético) o un localizador magnético topográfico pueden utilizarse para localizar el acero del refuerzo. Se deben ensayar los corazones extraídos de las estructuras en la condición húmeda o en la condición más cerca posible de las condiciones del concreto in situ.

La inmersión en agua de los especímenes por 48 horas antes del ensayo lleva a resultados considerablemente más bajos que el secado al aire por 7 días antes de la prueba. Las resistencias medidas variaron hasta 25%, dependiendo del tiempo y del tipo de almacenamiento antes del ensayo. Los especímenes para el ensayo a flexión, aserrados del concreto in situ, siempre se los inmerge en el agua saturada con cal a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ($73.5^{\circ}\text{F} \pm 3.5^{\circ}\text{F}$) durante, por lo menos, 40 horas inmediatamente antes del ensayo. Los resultados de las pruebas se ven influenciados considerablemente por las condiciones de las caras de los cilindros y de los corazones. Para el ensayo de resistencia a compresión, los especímenes se deben pulir o cabecear de acuerdo con los requisitos de ASTM C 617 (AASHTO T 231) y NMX-C-109-1997-ONNCCE.

Varios materiales están comercialmente disponibles para el cabeceo de las probetas para la prueba de resistencia a compresión. La ASTM C 617 (AASHTO T231) y NMX-C-109-1997-ONNCCE, presentan métodos de cabeceo con el uso de mortero de azufre. Se debe permitir que el cabeceo se endurezca, por lo menos dos horas antes del ensayo. Pueden utilizarse también las almohadillas de neopreno adherentes, si se necesitan resultados rápidos. Los cabeceos con mortero de azufre se deben producir lo más delgado posible para evitar la falla del cabeceo, pues puede reducir los resultados de las pruebas.

La ASTM C 1231 y la IRAM 1709 describen el uso de las almohadillas de neopreno, sin adherencia o unión con las extremidades de los especímenes. Este método de cabeceo usa una almohadilla de neopreno en forma de disco, con 13 ± 2 mm ($1/2 \pm 1/16$ pulg.) de espesor, que es aproximadamente el diámetro del espécimen. Se coloca la almohadilla en un retenedor cilíndrico de acero con una cavidad de aproximadamente 25 mm (1 pulg.) de profundidad y un poco menor que el diámetro de la almohadilla. Se coloca una cápsula en una o en ambas caras del cilindro y, entonces, se prueba el espécimen de acuerdo con la ASTM C 39 (AASHTO T 22), con la adición de una etapa para interrumpir el ensayo cuando se alcanza 10% de la carga esperada, a fin de verificar si el eje del cilindro está vertical con una tolerancia de 0.5° . Si no se logran la perpendicularidad de la cara del cilindro o la alineación vertical durante el cargamento, la carga aplicada al cilindro puede estar concentrada en uno de los lados del cilindro. Esto puede resultar en una falla o rotura por esfuerzo cortante, donde el plano de falla intercepta la cara del cilindro. Este tipo de rotura normalmente indica que el cilindro falló prematuramente, proporcionando resultados más bajos que la resistencia real del concreto. Si no se cumplen los requisitos de perpendicularidad, el cilindro se puede cortar con una sierra, pulir o cabecear con un mortero de azufre, de acuerdo con ASTM C 617 (AASHTO T 231) y NMX-C-109-1997-ONNCCE.

Puede reducirse la rotura por esfuerzo de cortante: al espolvorearse la almohadilla y la cara del cilindro con talco, previniéndose que el exceso de agua de los cilindros o de la lona escurran dentro del retenedor y abajo de la cápsula, verificándose la planicidad y la presencia de imperfecciones en la superficie de rodamiento de los retenedores. Adicionalmente, se debe limpiar y lubricar anualmente el bloque asentado de manera esférica y el casquillo adyacente en la máquina de compresión. Las pruebas (Fig. 7-14) deben cumplir (1) ASTM C 39 (AASHTO T 22) y NMX-C-083-1997-ONNCCE, para resistencia a compresión, (2) ASTM C 78 (AASHTO T 97) y NMX-C-191, para resistencia a flexión con cargas a los tercios del tramo o en los límites del tercio central de la luz, (3) ASTM C 293 (AASHTO T177) y NMX-C-303, para resistencia a flexión con carga en el centro del tramo y (4) ASTM C 496 (AASHTO T 198) y NMX-C-163-1997 -ONNCCE, para resistencia a tensión por compresión diametral.



Fig. 7-14. Ensayo del concreto endurecido: (izquierda) cilindros, (derecha) viga.

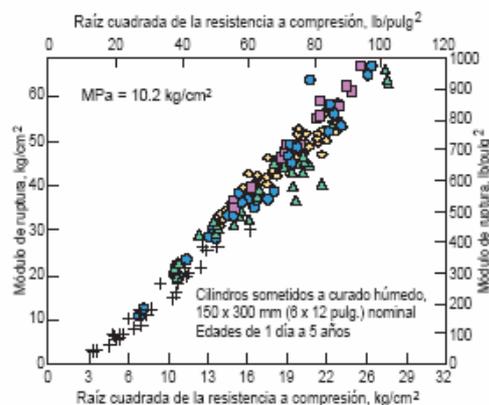
Para el diseño del espesor del pavimento y el proporcionamiento de la mezcla del pavimento, el módulo de rotura se debe determinar a través del cargamento en los tercios del tramo (ASTM C 78, AASHTO T 97), NMX-C-191. Sin embargo, el módulo de rotura a través del cargamento en el centro del tramo (ASTM C 293 [AASHTO T 177], NMX-C-303 o cargamento en voladizo se puede usar

para el control de la obra si, antes del inicio de la construcción, se determina su relación empírica con los resultados de los ensayos con cargas en los tercios del tramo.

El contenido de humedad del espécimen tiene un gran efecto sobre los resultados de resistencia (Fig. 16-15). Las vigas para los ensayos de flexión son especialmente vulnerables a los efectos de gradientes de humedad. Un espécimen saturado presentará resistencia a compresión menor y resistencia a flexión mayor que los especímenes hermanos ensayados en condición seca. Éste es un aspecto importante que se debe considerar al compararse corazones (testigos, núcleos) retirados del concreto endurecido en servicio y probetas moldeadas y retiradas del cuarto de curado húmedo o del tanque de almacenamiento con agua. Los cilindros usados para los ensayos de aceptación con una resistencia específica, deben curarse de acuerdo con ASTM C 31(AASHTO T 23), NMXC- 160, para que representen la calidad del concreto con precisión. Además, los corazones son sujetos a su elaboración, condiciones ambientales variables en la obra y condiciones variables después de la extracción. Los corazones se prueban en la condición seca o en la condición húmeda, pero raramente en la condición saturada, similar a los cilindros curados en laboratorio. Como los corazones y cilindros se manejan de varias maneras diferentes, no se puede esperar que presenten los mismos resultados.

El grado de variación de los ensayos de resistencia a compresión es mucho menor que de los ensayos de resistencia a flexión. Se pueden usar pruebas de resistencia a compresión para controlar la calidad del concreto, a fin de evitar el cuidado extremo que se necesita en los ensayos de campo para determinar la resistencia a flexión, sin embargo, se debe establecer, en laboratorio, la relación empírica (Fig. 7-15) entre las resistencias a compresión y a flexión del concreto utilizado. Debido a esta relación y a la economía del ensayo de cilindros en lugar de vigas, la mayoría de las secretarías estatales de transporte de los Estados Unidos están utilizando los ensayos de resistencia a compresión de cilindros para controlar la calidad del concreto para sus pavimentos y proyectos de puentes.

Fig. 7-15. Datos de larga duración muestran que la resistencia a compresión es proporcional a la raíz cuadrada de la resistencia a flexión (con cargas a los tercios del tramo) para un amplio rango de niveles de resistencia



Evaluación de los Resultados de las Pruebas de Compresión.

El ACI 318 código de construcción declara que la resistencia del concreto se puede considerar satisfactoria si se logran las siguientes condiciones: el promedio del conjunto de tres ensayos consecutivos de resistencia igual o superior al especificado para la resistencia a los 28 días y ningún ensayo individual de resistencia con resistencia de 35 kg/cm² o 3.5 MPa (500 lb/pulg²) menor que la especificada. Si los resultados de los cilindros no cumplen con estos criterios, se debe evaluar la resistencia del concreto en in situ a través de corazones (testigos, núcleos) aserrados. Además de dos cilindros con 28 días de edad, las especificaciones de obra frecuentemente requieren uno o dos cilindros con 7 días o más cilindros “de espera”. Los cilindros con 7 días controlan el desarrollo de la resistencia en edades tempranas. Los cilindros “de espera” se usan comúnmente para ofrecer información adicional, en el caso de que los cilindros con 28 días se dañen o no logren la resistencia a compresión requerida. Cuando ocurren resultados bajos de resistencia a compresión a los 28 días, los cilindros “de espera” se prueban a los 56 días de edad.

La eficiencia de los procedimientos de protección y curado también se deben evaluar cuando los cilindros curados en obra presenten menos de 85% de la resistencia de los cilindros hermanos curados en laboratorio. Se puede renunciar a este requisito de 85% cuando la resistencia de los cilindros curados en obra supere más de 35 kg/cm² o 3.5 MPa (500 lb/pulg²). Cuando es necesaria, la resistencia del concreto en la estructura se debe

determinar a través de la prueba de 3 corazones, extraídos de la porción de la estructura cuyos cilindros curados en laboratorio no cumplan los criterios de aceptación, para cada ensayo de resistencia realizado. El almacenamiento húmedo de los testigos debe cumplir con ASTM C 42 (AASHTO T 24), NMX-C-169-997- ONNCCE.

Los métodos de ensayo no destructivos no son sustitutos de los ensayos de los testigos (ASTM C 42 [AASHTO T 24] y NMX-C-169-1997- ONNCCE. Si el promedio de la resistencia de tres testigos es, por lo menos, 85% de y ningún corazón separadamente tiene menos de 75% de el concreto en el área representada por los testigos se considera estructuralmente adecuado. Si los resultados de los ensayos de corazones adecuadamente preparados fueran tan bajos como para poner la integridad estructural en duda, se deben realizar ensayos de cargamento, conforme es discutido en el Capítulo 20 del ACI 318.

Contenido de Aire

El contenido de aire y los parámetros del sistema de vacíos de aire del concreto endurecido se pueden determinar por la ASTM C 457 y la NTC 3791. El ensayo de contenido de aire en el concreto endurecido se realiza, a fin de garantizar que el sistema de vacíos de aire sea adecuado para resistir a los daños causados por el ambiente de congelación- deshielo. La prueba se usa también para determinar el efecto de diversos aditivos y de los métodos de colocación y consolidación sobre el sistema de vacíos de aire. El ensayo se puede realizar en especímenes premoldeados o en muestras retiradas de la estructura. Se documenta el sistema de vacíos de aire a través de mediciones de una sección pulida usando microscopio. La información obtenida de este ensayo incluye el volumen de aire incluido, de aire atrapado, su superficie específica (área superficial de los vacíos de aire), factor de espaciamiento y el número de vacíos por distancia lineal (Fig. 7-16).

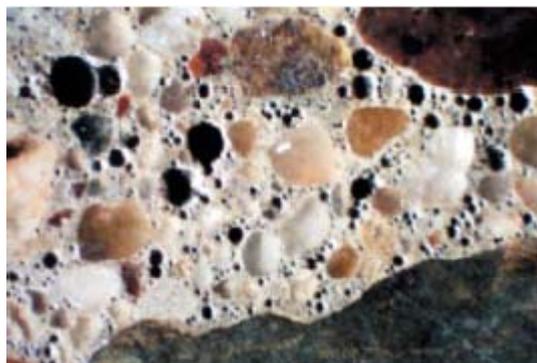


Fig. 7-16. Vista del sistema de vacíos de aire del concreto en un microscopio.

Masa Volumétrica, Masa Específica Relativa, Absorción y Vacíos

La masa volumétrica (densidad, masa unitaria), la masa específica relativa (densidad relativa), la absorción y el contenido de vacíos del concreto endurecido se pueden determinar de acuerdo con la ASTM C 642 (Tabla 7-1) y NMX-C-263. Note que el procedimiento de hervido de la ASTM C 642 puede dejar el espécimen inútil para ensayos adicionales, especialmente de resistencia. La masa volumétrica se puede obtener por la multiplicación de la masa específica relativa por la densidad del agua (1000 kg/m³ o 62.4 lb/pe³).

Tabla 7-1. Permeabilidad y Absorción de Concretos Sujetos al Curado Húmedo por 7 Días y Ensayados Después de 90 Días.

Mezcla No.	Cemento, kg/m ³ (lb/pie ³)	Agua/material cementante	Resistencia a compresión a los 90 días, kg/cm ² [MPa] (lb/pulg ²)	Permeabilidad			Porosidad, %†	Volumen de vacíos permeables, %	Absorción después de la inmersión	Absorción después de la inmersión y del hervido, %	
				Ensayo rápido de Penetración cloruros, Coulombs	Encharque, % Cl	Agua, m/s**					Aire, m/s**
			ASTM C 39 (AASHTO T 22)	ASTM C 1202 (AASHTO T 277)	AASHTO T 259	API RP27	API RP 27	ASTM C 642	ASTM C 642	ASTM C 642	
1	445 (750)	0.28*	1061 [104.1] (15,100)	65	0.013	—	2.81 x 10 ⁻¹⁰	7.5	6.2	2.43	2.56
2	445 (750)	0.29*	783 [76.7] (11,130)	852	0.022	—	3.19 x 10 ⁻¹⁰	8.8	8.0	3.13	3.27
3	381 (642)	0.40*	470 [46.1] (6690)	3242	0.058	2.61 x 10 ⁻¹³	1.16 x 10 ⁻⁹	11.3	12.2	4.98	5.19
4	327 (550)	0.50	390 [38.2] (5540)	4315	0.076	1.84 x 10 ⁻¹²	1.85 x 10 ⁻⁹	12.5	12.7	5.45	5.56
5	297 (500)	0.60	398 [39.0] (5660)	4528	0.077	2.23 x 10 ⁻¹²	1.45 x 10 ⁻⁹	12.7	12.5	5.37	5.49
6	245 (413)	0.75	290 [28.4] (4120)	5915	0.085	8.32 x 10 ⁻¹²	1.45 x 10 ⁻⁹	13.0	13.3	5.81	5.90

* Aditivos: 59.4 kg/m³ (100 lb/yarda³) de humo de sílice y 25.4 ml/kg de cemento (30 onza/ cwt) de reductor de agua de alto rango (mezcla 1); 13.0 ml/kg de cemento (20 onza/ cwt) de reductor de agua de alto rango (mezcla 2); 2.2 ml/kg de cemento (3.4 onza/ cwt) de reductor de agua de alto rango (mezcla 3)

** Para convertir de m/s para Darcy, multiplique por 1.03 x 10⁶, de m/s para m², multiplique por 1.02 x 10⁻⁷

† Medido con el porosímetro de helio

Frecuentemente se requiere la masa volumétrica saturada con superficie seca (SSS) de los especímenes, a fin de utilizarla en otros ensayos. En este caso, se puede determinar la masa volumétrica, saturando la probeta en agua por 48 horas y después determinando el peso al aire (SSS) e inmerso en el agua. La masa volumétrica SSS presenta una indicación de la masa volumétrica del concreto fresco. La masa volumétrica del concreto endurecido también se puede determinar por métodos nucleares (ASTM C 1040 o AASHTO T 271).

Masa Volumétrica, Masa Específica Relativa, Absorción y Vacíos

La masa volumétrica (densidad, masa unitaria), la masa específica relativa (densidad relativa), la absorción y el contenido de vacíos del concreto endurecido se pueden determinar de acuerdo con la ASTM C 642 (Tabla 16-2) y NMX-C-263. Note que el procedimiento de hervido de la ASTM C 642 puede dejar el espécimen inútil para ensayos adicionales, especialmente de resistencia. La masa volumétrica se puede obtener por la multiplicación de la masa específica relativa por la densidad del agua (1000 kg/m³ o 62.4 lb/pie³).

Frecuentemente se requiere la masa volumétrica saturada con superficie seca (SSS) de los especímenes, a fin de utilizarla en otros ensayos. En este caso, se puede determinar la masa volumétrica, saturando la probeta en agua por 48 horas y después determinando el peso al aire (SSS) e inmerso en el agua. La masa volumétrica SSS se calcula como sigue:

$$D_{SSS} = \frac{M_{1p}}{M_1 - M_2}$$

Siendo:

D_{SSS} : masa volumétrica en la condición SSS

M_1 : masa SSS al aire, kg (lb)

M_2 : masa aparente, inmersa en el agua, kg (lb)

ρ : densidad del agua 1000 kg/m³ (62.4 lb/pie³)

La masa volumétrica SSS presenta una indicación de la masa volumétrica del concreto fresco. La masa volumétrica del concreto endurecido también se puede determinar por métodos nucleares (ASTM C 1040 o AASHTO T 271).

Contenido de Cemento Portland

El contenido de cemento portland del concreto endurecido se puede determinar por los métodos de ASTM C1084 (AASHTO T 178). A pesar de no realizarse frecuentemente, los ensayos de contenido de cemento son valiosos para determinar la causa de la carencia de resistencia o de poca durabilidad del concreto. El contenido de agregado también se puede determinar por estos ensayos. Sin embargo, el usuario de estos métodos debe estar consciente de que ciertos aditivos y tipos de agregados pueden alterar los resultados de los ensayos. La presencia de material cementante suplementario también se refleja en los resultados.

Contenido de Material Cementante Suplementario y de Aditivo Orgánico

La presencia y la cantidad de ciertos materiales cementantes suplementarios, tales como ceniza volante, se pueden determinar por técnicas petrográficas (ASTM C 856). Normalmente, es necesaria una muestra del material cementante suplementario, empleado en el concreto, como referencia para determinar el tipo y la cantidad del material presente. La presencia y posiblemente la cantidad del aditivo orgánico (tal como el reductor de agua) se pueden determinar por espectrofotometría infrarroja (Hime, Mivelaz y Connolly 1966).

Contenido de Cloruros

La preocupación con la corrosión del acero de refuerzo inducida por los cloruros ha llevado a la necesidad de controlar y de limitar el contenido de cloruros en el concreto reforzado. Los límites del contenido de iones cloruros solubles en agua en el concreto reforzado se presentan en el ACI 318. El contenido de iones cloruros solubles en agua en el concreto endurecido se pueden determinar a través de los procedimientos de la ASTM C 1218. Adicionalmente, la ASTM C 1152 se puede utilizar para determinar el contenido de cloruros solubles en ácido del concreto, que, en la mayoría de los casos es equivalente al total de cloruros.

Muchos de los ensayos anteriores para la determinación del contenido de iones cloruros también extraen los iones cloruros de los agregados finos y gruesos, los cuales, generalmente, no contribuyen para la corrosión del acero de refuerzo. La ASTM PS 118 es una norma para el análisis de los cloruros que se pueden extraer del agregado por el agua. Se la usa cuando el contenido de cloruro en los agregados, concreto o mortero ha resultado extremadamente alto en los ensayos de la ASTM C 1152 o C 1218. Como la ASTM PS 118 no pulveriza los agregados como los otros métodos, teóricamente mide de manera más precisa el contenido de iones cloruros disponibles para la corrosión. El ACI 222.1 también es un procedimiento Soxhlet que ensaya un trozo de concreto en cuanto a los cloruros extraíbles por el agua. El significado real de los resultados de los procedimientos Soxhlet aún se está debatiendo.

Análisis Petrográfico

El análisis petrográfico emplea técnicas microscópicas, descritas en la ASTM C 856, para determinar los constituyentes y la calidad del concreto y las causas del desempeño deficiente, fallas o deterioro. Se puede facilitar la estimación del desempeño futuro y de la seguridad estructural de los elementos de concreto. Algunos de los aspectos que se pueden revisar a través del examen petrográfico incluyen pasta, agregados, ceniza volante, contenido de aire, ataque por sulfato, efecto de la congelación, reacción álcali-agregado, grado de hidratación y de Carbonatación, relación agua-cemento, características de sangrado (exudación), daños causados por el fuego, descascamiento, erupciones, efecto de aditivos, entre otros. Casi cualquier tipo de falla del concreto se puede analizar por petrografía. Sin embargo, un análisis petrográfico normalizado normalmente se acompaña de análisis químico "húmedo", espectroscopia de infrarrojo, difratometría de rayo X, microscopia electrónica de barrido con análisis elemental asistente, análisis térmico diferencial y otras herramientas analíticas.

El anexo de la ASTM C 856 (AASHTO T 299) describe una técnica para el campo y para el laboratorio de detección del gel álcali-sílice. Usando este método, se aplica una solución de acetato uranilo en una superficie de concreto áspera o rota que ha sido mojada con agua destilada o deionizada. Después de un minuto, se enjuaga la solución y se mira la superficie tratada bajo una luz ultravioleta. Las áreas del gel se vuelven fluorescentes amarillo-verde brillante. Sin embargo, se debe reconocer, que muchos materiales que no se relacionan con la RAS (reacción álcali-sílice) en el concreto pueden tener fluorescencia e interferir en la

indicación precisa del gel de RAS. Los materiales que son fluorescentes como el gel incluyen minerales naturalmente fluorescentes, pasta carbonatada, opal y otros constituyentes de las rocas, reacciones de la ceniza volante, humo de sílice y otras puzolanas. La ASTM C 856 incluye un procedimiento para dar una impresión visual, a fin de compensar los efectos de estos materiales. Sin embargo, este ensayo se considera auxiliar a las investigaciones petrográficas más definitivas y otras pruebas. Además, la toxicidad y la radioactividad del acetato de uranilo justifican procedimientos especiales de manejo y eliminación de la solución y del concreto tratado. También se debe estar atento a posibles daños causados a los ojos por la luz ultravioleta.

El método de Los Álamos es una técnica de manchado que no requiere luz ultravioleta o solución de acetato de uranilo. En su lugar, se usan soluciones de nitrito de cobalto-sodio y rodamina B, a fin de condicionar el espécimen y producir una mancha rosa oscura que corresponde al gel RAS rico en calcio. Observe que estos métodos pueden producir evidencias del gel de RAS sin causar daños al concreto. El gel de RAS puede estar presente cuando mecanismos, tales como la acción de la congelación-deshielo, ataque por sulfatos y otros medios de deterioro, han originado el daño. Estos métodos rápidos para detectar la presencia del gel de RAS son útiles pero se deben llevar en cuenta sus limitaciones. Ningún de los procedimientos rápidos es un sustituto viable del ensayo petrográfico acompañado de la inspección adecuada del campo.

Cambios de Volumen y de Longitud

Los límites de cambios de volumen y longitud se especifican algunas veces para ciertas aplicaciones de concreto. El cambio de volumen también es una preocupación cuando se adiciona un nuevo ingrediente al concreto, pues no debe tener efectos adversos significativos. La ASTM C

157 (AASHTO T 160), NMX-C-173 y NTC 3938, determinan los cambios de longitud del concreto, resultantes de la contracción por secado, reactividad del cemento y otras fuerzas que no las intencionalmente aplicadas. La determinación de los cambios tempranos, antes que el concreto se endurezca, se pueden realizar por la ASTM C 827. La fluencia se puede determinar de acuerdo con la ASTM C 512. El módulo de elasticidad estático y el coeficiente de Poisson del concreto bajo compresión se determinan por los métodos en ASTM C 469, COVENIN 1468, NMX-C- 128-1997-ONNCCE, NTC 4025 o UNIT 42 y los valores dinámicos de estos parámetros se establecen a través de ASTM C 215, COVENIN 1688, IRAM 1693, NMX-C-089- 1997-ONNCCE.

Durabilidad

Durabilidad se refiere a la capacidad del concreto de resistir al deterioro causado por el ambiente o por las condiciones de servicio en los cuales se sitúa. El concreto adecuadamente diseñado debería durar sin daños significativos durante su vida útil (de servicio). Además de los ensayos para el contenido de aire (concreto en clima frío) y contenido de cloruros, descritos previamente, se usan los siguientes ensayos para medir la durabilidad del concreto.

Resistencia a Congelación. La resistencia a congelación-deshielo del concreto se determina normalmente de acuerdo con la ASTM C 666 (AASHTO T 161) y NMX-C-205. Se controlan las muestras, a fin de verificar los cambios en el módulo dinámico, en la masa y en el volumen, durante un periodo de, por lo menos, 300 ciclos de congelación-deshielo. La ASTM C 671 y la ASTM C 682 también están disponibles para la evaluación de la resistencia a la congelación-deshielo. El concreto que se va a exponer a las sales descongelantes, bien como a la congelación saturada, se deben ensayar de acuerdo con la ASTM C 672, para la verificación de la resistencia al descascaramiento por descongelantes. A pesar que la ASTM C 672 requiere que se controle sólo el descascaramiento de la superficie, muchos investigadores en Canadá también miden la pérdida de masa (Fig. 7-17).

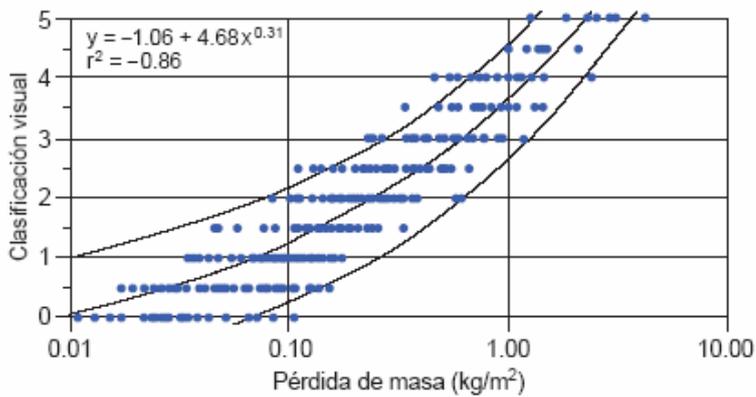


Fig. 16-18. Relación entre pérdida de masa y clasificación visual para cada espécimen ensayado de acuerdo con la ASTM C 672

Las mezclas de concreto que tienen un buen comportamiento en la ASTM C 666 (AASHTO T

161) y NMX-C-205 no siempre tienen un buen desempeño en la ASTM C 672. La ASTM C 666 (AASHTO

T 161), NMX-C-205 y la ASTM C 672 se usan para evaluar diseños de mezcla innovadores o nuevos materiales, tales como aditivos, materiales cementantes suplementarios y agregados, a fin de determinar sus efectos sobre la resistencia al congelamiento y al descascaramiento.

Resistencia a los Sulfatos. La resistencia a los sulfatos de los materiales del concreto se puede evaluar usando la prueba de la barra de mortero saturado, ASTM C 1012 y NMX-C-418. Este ensayo es valioso para la obtención de la resistencia a los sulfatos del concreto que estará continuamente mojado, pero no evalúa los ambientes más agresivos con ciclos de mojado -secado. Se puede modificar este ensayo para incluir ciclos de mojado-secado o se puede usar el ensayo de prismas del Departamento de Recursos Hídricos Norteamericano. La ASTM D 516 (AASHTO T 290) o el método del departamento Norteamericano se pueden usar para pruebas de suelo y agua, a fin de determinar el contenido de ión sulfato, para que se establezca el grado de severidad de exposición a los sulfatos (ASTM está desarrollando actualmente una nueva prueba).

Reactividad Álcali-Sílice. La reacción álcali-sílice se controla mejor en la etapa de diseño al seleccionar los materiales para el uso. Se pueden ensayar los agregados para verificar el potencial de reacción álcali-sílice a través del ensayo de la barra de mortero ASTM C 227 y NMX-180 (para agregados moderada o altamente reactivos), el método químico ASTM C 289 (para agregados altamente reactivos), ASTM C 295 y NMX-C-265 (análisis petrográfico), ensayo acelerado de la barra de mortero ASTM C 1260 (AASHTO T 303) y el ensayo del prisma de concreto ASTM C1263. Los materiales, tales como las cenizas volantes y las escorias, se usan normalmente para controlar la reacción álcali-sílice y se los deben evaluar según la ASTM C 227, ASTM C 441, ASTM C 1260 modificada, ASTM C 1293, NMX-C-180 y NMX-C-298, para determinar su eficiencia. Una alternativa para el ensayo del agregado separadamente es la prueba de la mezcla de concreto que será usada en la obra, usando la ASTM C 1260 o C 1293. Una versión rápida (13 semanas) de la ASTM C 1293 fue desarrollada en la Universidad de Texas en Austin a través del Centro Internacional de Investigación de Agregados en el 2001. Las estructuras de concreto existentes se pueden evaluar usando la ASTM C 856.

Reactividad Álcali-Carbonato. La reactividad álcali-carbonato es más rara que la álcali-sílice. La reactividad potencial de los agregados se puede evaluar usando el cilindro de roca ASTM C 295, ASTM C 586, ASTM C 1105, NMX-C-265 y NMX-C-272-ONNCCE. Las estructuras de concreto existentes se pueden evaluar a través de la ASTM C 856.

Resistencia a la Corrosión. La resistencia a la corrosión del concreto reforzado (armado) raramente es probada, a no ser que se empleen materiales poco corrientes, el concreto se va a utilizar en un ambiente severo o hay necesidad de evaluar el potencial de la corrosión en el sitio. La actividad corrosiva se puede evaluar por la ASTM C 876.

Resistencia a la Abrasión (al Desgaste). Se puede determinar la resistencia a abrasión a través de la ASTM C 418 (abrasión con arena), ASTM C 779 (métodos de disco giratorio, rueda de desgaste y chumacera), ASTM C 944 (cortador giratorio) y ASTM C 1138 (ensayo bajo el agua).

Ensayo de Humedad

El contenido de humedad in situ, la tasa de emisión de vapor y la humedad relativa del concreto endurecido son indicadores útiles para la determinación si el concreto está suficientemente seco para la aplicación de materiales de recubrimiento y revestimientos de pisos. El contenido de humedad del concreto debe ser suficientemente bajo para evitar el descascaramiento cuando es expuesto a temperaturas mayores que el punto de ebullición del agua. Los ensayos relacionados con la humedad se pueden clasificar en dos categorías: cualitativo y cuantitativo.

Las pruebas cualitativas dan una indicación de la presencia o ausencia de humedad, mientras que las pruebas cuantitativas miden la cantidad de humedad. Los ensayos cualitativos pueden dar una indicación fuerte de la presencia de humedad excesiva y, por lo tanto, el piso no está listo para recibir materiales de revestimientos. Los ensayos cuantitativos se realizan para garantizar que el piso esté suficientemente seco para estos materiales.

Los ensayos cualitativos incluyen: ensayos con láminas de plástico, con revestimiento adherido, de resistencia eléctrica, de impedancia eléctrica y con medidores nucleares de humedad. Las pruebas con láminas de plástico (ASTM D 4263 y NTC 3999) usan un cuadrado de lámina limpia de plástico y se la pega con cinta adhesiva en la superficie de la losa y se la deja por 24 horas para verificar se hay desarrollo de humedad debajo. El ensayo de la lámina de plástico no es confiable. En la prueba del revestimiento adherido, se fija una lámina de 1 m² de revestimiento en el piso con los bordes pegados al concreto con cinta adhesiva por 72 horas. La fuerza necesaria para remover el revestimiento es una indicación de la condición de humedad de la losa. La resistencia eléctrica se mide usando un medidor de humedad a través de dos sondas colocadas en contacto con el concreto. La impedancia eléctrica usa una señal electrónica que se influencia por la humedad del concreto. Los medidores nucleares de humedad contienen neutrones de alta velocidad que se retrasan por los átomos de hidrógeno del agua. El efecto de estos encuentros es la medida del contenido de humedad del concreto. A pesar de que cada uno de los tres últimos ensayos lleva a diferentes resultados numéricos, sus valores son bien limitados. Son necesarias experiencia y habilidad para juzgar la confiabilidad de estos aparatos y de los resultados por ellos producidos.

Los ensayos cuantitativos incluyen: ensayos de contenido de humedad gravimétrico, de tasa de emisión de vapor y de sondas de humedad relativa. El método más directo para la determinación del contenido de humedad es cortar en seco un espécimen del elemento de concreto en cuestión, colocarlo en un recipiente a prueba de humedad y transportarlo para un laboratorio para ensayarlo. Después de la obtención de la masa inicial del espécimen, se lo seca en un horno a una temperatura de cerca de 105°C por 24 horas o hasta que se logre la constancia de masa. La diferencia entre las dos masas dividida por la masa seca, multiplicada por 100, es el porcentaje de humedad. La tasa de emisión de vapor (ASTM F 1869) es la prueba más comúnmente utilizada en los Estados Unidos para medir cuando se pueden aplicar los revestimientos de piso en el concreto. La tasa de emisión de vapor se expresa en kilogramos de humedad emitida de 93 m² en 24 horas.

Las pruebas de humedad relativa se usan en muchos países para medir la humedad de las losas. Los límites aceptables para la instalación de revestimientos de pisos varían entre 60% y 90%. Se puede requerir muchos meses de secado al aire para que se alcance la humedad deseada.

Carbonatación

La profundidad o el grado de Carbonatación se pueden determinar por técnicas petrográficas (ASTM C 856) a través de la observación del carbonato de calcio - el principal producto químico de la Carbonatación. Además, se puede utilizar la prueba de color de fenolftaleína para estimar la profundidad de la Carbonatación a través de la prueba de pH del concreto (la Carbonatación reduce el pH). Con la aplicación de la solución de fenolftaleína en la superficie recién fracturada o cortada, las áreas no carbonatadas se vuelven rojas o moradas mientras que las áreas carbonatadas no cambian de color (Fig. 7-18). Cuando el indicador de fenolftaleína es observado contra una pasta endurecida cambia de color en el pH de 9.0 a 9.5. El pH de un buen concreto, no carbonatado y sin aditivos, es normalmente mayor que 12.5.



Fig. 7-18. La profundidad de la Carbonatación se determina a través del rociado de una solución de fenolftaleína sobre la superficie de concreto recién roto. Áreas no carbonatadas se vuelven moradas, las áreas carbonatadas permanecen sin color.

Métodos de Ensayo de pH

Hay tres métodos prácticos para medir el pH del concreto endurecido en la obra. El primero usa papel litmus diseñado para el rango alcalino de lecturas de pH. Coloque algunas gotas de agua destilada sobre el concreto, espere 60 ± 5 segundos y sumerja una tira del indicador en el agua por 2 a 3 segundos. Después de remover la tira, compárela con una escala de color de pH suministrada con las tiras de indicador. Un segundo método usa un "lápiz" de pH. El lápiz se usa para hacer una marca de 25 Mm. (1 pulg.) de longitud y se colocan 2 o 3 gotas de agua destilada sobre la marca. Después de 20 segundos, se compara el color con un gráfico normalizado de color para juzgar el pH del concreto. Finalmente, el tercer método utiliza un indicador de pH líquido de rango amplio sobre la superficie recién fracturada del concreto o un corazón (testigo, núcleo) obtenido del concreto. Después de muchos minutos, el color resultante se compara con un gráfico de color. Este método también es efectivo para medir la profundidad de Carbonatación.

Permeabilidad

Tanto los métodos directos como los indirectos de determinación de permeabilidad se pueden usar. La resistencia a penetración de los iones cloruro, por ejemplo, se puede determinar a través de la inundación, de la superficie del concreto, con solución de cloruro y, en una edad más elevada, el establecimiento del contenido de cloruro en profundidades particulares (AASHTO T 259). El ensayo rápido de permeabilidad a cloruros (ASTM C 1202 y AASHTO T 277), también llamado de prueba de Coulomb o de resistencia eléctrica, normalmente se especifica para tableros de puentes. Se usan varios métodos de absorción, incluyéndose el ASTM C 642 y NMX-C-263. Los datos de permeabilidad directa al agua se pueden obtener usando el método de ensayo del Cuerpo de Ingenieros del Ejército (Army Corp Engineers) CRC C 163-92 para la permeabilidad del concreto al agua usando célula triaxial. También está disponible el método recomendado por el Instituto Americano del Petróleo para la determinación de la permeabilidad de rocas. La ASTM está desarrollando un método de ensayo para la permeabilidad hidráulica del concreto. Todas las pruebas arriba tienen limitaciones.

Métodos de Ensayos No Destructivos

Los ensayos no destructivos (END) se pueden usar para evaluar la resistencia relativa y otras propiedades del concreto endurecido. Los más utilizados son el esclerómetro, las pruebas de penetración, de arranque (pullout), dinámica y de vibración. Otras técnicas de ensayo para la resistencia y otras propiedades del concreto endurecido incluyen el rayo X, la radiografía gama, medidores de humedad de neutrones, medidores magnéticos de cubrimiento, electricidad, absorción de microondas y emisión acústica. Cada método tiene limitaciones y se debe tener cuidado en aceptar los resultados de las pruebas no destructivas como si tuvieran una correlación constante con el ensayo tradicional de compresión, por ejemplo, se deben establecer correlaciones empíricas antes de usarse tales resultados.

Un programa END se puede realizar para una variedad de propósitos, con relación a resistencia o la condición del concreto endurecido, incluyéndose:

- Determinación de la resistencia in situ
- Control de la tasa de desarrollo de la resistencia del concreto
- Localización de heterogeneidades, tales como vacíos o agujeros en el concreto
- Determinación de la resistencia relativa de elementos comparables
- Evaluación del agrietamiento (fisuración) del concreto y de la delaminación
- Evaluación del daño por fuerzas mecánicas o químicas
- Localización, tamaño y actividad corrosiva del acero de refuerzo
- Dimensiones de los elementos Independientemente del tipo de END utilizado, son necesarias correlaciones fiables de los datos con la resistencia a compresión a los 28 días, para evaluar la precisión del método no destructivo. Además, la correlación con la resistencia del concreto en el sitio usando corazones (testigos, núcleos) extraídos de uno o dos sitios puede dar

orientación para la interpretación de los resultados de los END. Esto se puede hacer para inspección de grandes áreas de la estructura. Hay que tener cuidado para considerar la influencia de la variación y la localización de los elementos estructurales que puedan tener sobre las pruebas END.

Ensayos con Esclerómetro. El esclerómetro o martillo de rebote de Schmidt (Fig. 7-19) es esencialmente un medidor de dureza de la superficie que proporciona un medio rápido y sencillo para verificar la uniformidad del concreto. Mide el rebote de un émbolo cargado con un resorte después de golpear una superficie lisa de concreto. La lectura del número del rebote da una indicación de la resistencia y de la dureza del concreto.



Fig. 7-19. El esclerómetro da una buena indicación de la resistencia a compresión del concreto.

Los resultados del ensayo del martillo de Schmidt (ASTM C 805 y NMX-C-192- 1997-ONNCCE) se afectan por la rugosidad de la superficie, tamaño, forma y rigidez del espécimen, la edad y las condiciones de humedad del concreto, el tipo del agregado grueso y el grado de Carbonatación de la superficie del concreto. Cuando se reconocen estas limitaciones y el esclerómetro está calibrado para los materiales usados en el concreto (Fig.7-20), a través de la comparación con corazones o especímenes colados, entonces este aparato puede ser útil para la determinación de la resistencia a compresión relativa y de la uniformidad del concreto de la estructura.

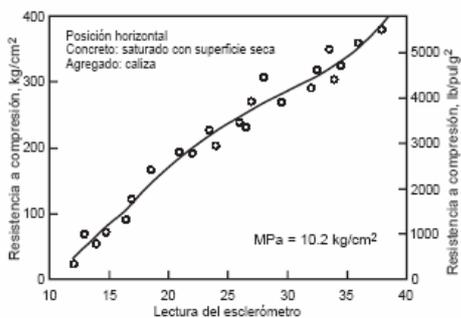


Fig. 16-21. Ejemplo de un gráfico de calibración del esclerómetro

Ensayos de Penetración. La sonda de Windsor (ASTM C 803), como el esclerómetro, es básicamente un medidor de dureza que proporciona un medio rápido para determinar la resistencia relativa del concreto. El aparato consiste en una pistola activada por pólvora que clava una sonda de aleación dentro del concreto (Fig. 7-21). Se mide la longitud expuesta de la sonda y se la relaciona con una tabla de calibración para obtenerse la resistencia a compresión del concreto. Los resultados de la prueba de la sonda de Windsor se influyen por la rugosidad de la superficie y la dureza y el tipo del agregado usado. Así, para mejorar la precisión, se debe establecer la tabla de calibración o la curva para el concreto que va a ser ensayado, normalmente a través de (testigos, núcleos) o especímenes colados. Ambos, el esclerómetro y la sonda, dañan la superficie del concreto en cierta medida. El esclerómetro deja un pequeño diente en la superficie y la sonda deja un pequeño hueco y puede causar un pequeño agrietamiento y pequeños cráteres similares a erupciones.



Fig. 7-21. La técnica de sondeo de Windsor para determinar la resistencia a compresión relativa del concreto. (Superior) Pistola accionada por pólvora clava una sonda de aleación hacia adentro del concreto. (Izquierda) Se mide la longitud de la sonda expuesta y, a través de una tabla de calibración, se determina la resistencia a compresión del concreto.



Ensayos de Madurez. El principio de la madurez indica que el desarrollo de la resistencia es función del tiempo y de la temperatura. La ASTM C 1074 genera un índice de madurez que se

basa en la temperatura y en el tiempo. La resistencia estimada depende de la determinación precisa de la función resistencia-madurez para una mezcla de concreto determinada. El aparato usa termopares y termo resistores colocados en el concreto y conectados a un grabador de gráfico o un registrador de datos que graban la temperatura en función del tiempo. Los datos de la temperatura en función del tiempo se correlacionan con los ensayos de compresión realizados en especímenes cilíndricos para generar una curva de tiempo-temperatura versus resistencia que se usa para estimar la resistencia del concreto en la estructura.

Ensayos de Arranque (Pullout). Una prueba de arranque (ASTM C 900) involucra el colado de una vara de acero con la extremidad aumentada dentro del concreto que será ensayado y entonces se mide la fuerza necesaria para arrancarla (Fig. 7-22). El ensayo mide directamente la resistencia a cortante (corte) del concreto. Esta se correlaciona con la resistencia a compresión, proporcionando la medición de la resistencia a compresión del concreto en la estructura.



Fig. 7-22. Equipo del ensayo de arranque siendo usado para medir la resistencia en el sitio.

Ensayos de Rotura. Los ensayos de rotura (ASTM C 1150) determinan la resistencia a compresión en el sitio a través del rompimiento de un espécimen cilíndrico de concreto en un plano paralelo a la superficie acabada del elemento de concreto. Se genera un número de rotura, el cual se evalúa con relación a la resistencia del concreto. De la misma manera que las pruebas de arranque, se debe desarrollar la relación entre los números de los ensayos de rotura y los ensayos a compresión antes de obtener los resultados finales de los ensayos.

Ensayos Dinámicos o de Vibración. Un ensayo dinámico o de vibración (velocidad de pulso ultrasónico) (ASTM C 597 y NMX-C-275) se basa en el principio de que la velocidad del sonido en un sólido se puede medir a través de: (1) la determinación de la frecuencia de resonancia de un espécimen o (2) la grabación del tiempo de viaje de pulsos de vibración cortos a través de la muestra. Las altas velocidades indican un buen concreto mientras que las bajas indican un concreto pobre. Los métodos de frecuencia de resonancia emplean vibraciones de baja frecuencia para conferir energía mecánica usada para detectar, localizar y grabar discontinuidades a través de los sólidos. La frecuencia de resonancia es función del módulo de elasticidad dinámico, de la relación de Poisson, de la densidad y de la geometría del elemento estructural. Se pueden determinar la presencia y la orientación de la superficie del agrietamiento interno. Además, las frecuencias fundamentales transversal, longitudinal y de torsión de espécimen de concreto se pueden determinar a través de ASTM C 215 y NMX-C-089-1997-ONNCCE, un método utilizado frecuentemente en ensayos de durabilidad en laboratorio, tales como congelación-deshielo (ASTM C 666 [AASHTO T 161], NMX-C-205). Los métodos de propagación de ondas de esfuerzo (tensión) usando ensayos de impacto-eco se emplean en la ASTM C 1383 para medir la velocidad de la onda P y el espesor de los elementos de concreto tales como losas, pavimentos, tableros de puentes y muros. La ventaja de la prueba no es solamente que se trata de un ensayo no destructivo, sino también sólo se hace necesario el acceso a un lado de la estructura. Otros métodos esfuerzo-onda aún no mencionados incluyen: eco ultrasónico y análisis especial de la superficie de las ondas.

Otros Ensayos. El uso de rayos X para probar las propiedades del concreto es limitado debido a su costo y a los equipos peligrosos de alta voltaje, bien como al riesgo de radiación. El equipo de radiografía gamma se puede usar en el campo para determinar la localización del acero de refuerzo, la densidad y tal vez el apanamiento en las unidades de concreto estructural. Los procedimientos de la ASTM C 1040 (AASHTO T 271) usan radiación gamma

para determinar la masa volumétrica del concreto fresco o endurecido en el sitio. Los aparatos de detección magnética operados con baterías, tales como los pachómetros o los medidores de recubrimiento, están disponibles para medir la profundidad del refuerzo (armadura) en el concreto y para detectar la posición de las barras. Se están desarrollando aparatos de resistividad eléctrica para estimar el espesor de las losas de pavimento de concreto.

Un método de absorción de microonda se está desarrollando para determinar el contenido de humedad de materiales de construcción porosos, tales como el concreto. Las técnicas de emisión acústica presentan grandes promesas para el estudio de los niveles de carga en la estructura y para localizar el origen del agrietamiento (fisuración).

El radar de penetración en el terreno (pulsos cortos) es una técnica rápida para la detección no destructiva de delaminaciones y otros tipos de defectos en tableros de concretos reforzados revestidos. También presentan un potencial para el control del desarrollo de la resistencia, para la medida del espesor y la localización del refuerzo en el concreto. Las técnicas de termografía infrarroja se usan para detectar y mostrar vacíos internos grandes y pequeños, delaminaciones y agrietamiento en puentes, pavimentos, garajes, edificios y otros elementos estructurales expuestos directamente a los rayos solares.

Finalmente, los métodos de impacto acústico también emplean un martillo sencillo y resonancia de arrastro de cadena que son ensayos precisos de bajo costo para identificar áreas delaminadas en el concreto. El martillo de resonancia se puede usar en superficies verticales y horizontales, pero normalmente se limitan a pequeñas áreas de delaminaciones. Estas áreas se identifican a través del golpeo de la superficie del concreto con un martillo mientras que se escucha uno de los sonidos: resonante o de hueco. El arrastre de una sola cadena en pequeñas áreas o, en áreas grandes, una barra T con o sin ruedas que tiene cuatro o más cadenas anexadas también se usa para identificar la delaminación del concreto (ASTM D 4580). Aproximadamente un metro (3 pies) de cadena está en contacto con el concreto durante la resonancia del arrastro de cadena. El sonido emitido indica si el concreto está delaminado o no. La resonancia de arrastro de cadena normalmente se limita a superficies horizontales que son relativamente rugosas. El concreto liso puede no rebotar las conexiones de la cadena lo suficiente para generar el sonido adecuado para detectar las áreas delaminadas. Observe que la corrosión de las barras de refuerzo en el área de delaminación del concreto probablemente se extenderá para más de las fronteras identificadas como delaminadas.

La Tabla 7-2 presenta varios ensayos no destructivos juntamente con sus principales aplicaciones.

Tabla 7-2. Métodos de Ensayo No Destructivos para el Concreto

Propiedades del concreto	Método END recomendado	Método END posible
Resistencia	Sonda de penetración Esclerómetro Método de arranque Rotura	
Calidad general y uniformidad	Sonda de penetración Esclerómetro Velocidad del pulso ultrasónico Radiografía gamma	Eco del pulso ultrasónico Examen visual
Espesor		Radar Radiografía gamma Eco del pulso ultrasónico
Rigidez	Velocidad de pulso ultrasónico	Prueba de carga (carga-deflexión)
Densidad	Velocidad del pulso ultrasónico Radiografía gamma	Medidor de densidad de neutrones
Tamaño y localización de las barras de acero	Medidor de recubrimiento (pachómetro) Radiografía gamma	Radiografía por rayos X Eco del pulso ultrasónico Radar
Estado de corrosión del acero de refuerzo	Medida de potencial eléctrico	
Presencia de vacíos bajo la superficie	Impacto acústico Radiografía gamma Velocidad de pulso ultrasónico	Termografía de infrarrojo Radiografía por rayos X Eco del pulso ultrasónico Radar Ensayo de frecuencia de resonancia
Integridad estructural de la estructura de concreto	Prueba de carga (carga-deflexión)	Ensayo usando emisión acústica

Adaptado del ACI subcomité 364 (1994) y Clifton (1985).

GLOSARIO

La intención de este glosario es clarificar la terminología utilizada en la construcción de concreto, con énfasis en los términos usados en Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Se incluye en el Glosario, para facilitar la lectura de algunos lectores, una terminología adicional que puede no estar en este libro.

A

Absorción de agua - (1) el proceso por el cual un líquido (agua) se absorbe y tiende a llenar los poros permeables en un sólido poroso. (2) la cantidad de agua absorbida por un material bajo condiciones especificadas de ensayo, comúnmente expresada como el porcentaje de la masa de la probeta de ensayo.

Abundamiento (Hinchamiento, Abultamiento) - aumento del volumen de una cantidad de arena en la condición húmeda, comparativamente a su volumen en la condición seca.

Acabado - operaciones mecánicas tales como nivelación, consolidación, emparejado, alisado o texturización, que establecen la apariencia final de cualquier superficie de concreto.

Adherencia química - adherencia entre materiales, resultante de la cohesión y de la adhesión desarrollada por la reacción química.

Adición (adicionante) - En los Estados Unidos es cualquier sustancia que se muele conjuntamente o se adiciona en cantidades limitadas al cemento portland durante su producción. En algunos países de Latinoamérica, también puede referirse a los materiales cementantes suplementarios.

Aditivo - material, que no sea agua, agregado y cemento hidráulico, usado como ingrediente del concreto, del mortero, del grout o del revoque y adicionado a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado.

Aditivo Acelerador (acelerante) - aditivo que acelera la velocidad de hidratación del cemento hidráulico, disminuyendo el tiempo normal del inicio del fraguado o aumentando la velocidad de endurecimiento, de desarrollo de resistencia o ambas, del cemento portland, concreto, mortero, grout o revoque.

Aditivo inclusor de aire - aditivo para concreto, mortero o grout que, durante el mezclado, promueve la inclusión de aire en la mezcla en la forma de pequeñas burbujas, normalmente para mejorar la trabajabilidad (docilidad) y aumentar la resistencia a la congelación.

Aditivo químico - véase aditivo.

Aditivos minerales - véase material cementante suplementario.

Agregado - material mineral granular, tal como la arena natural, la arena manufacturada, la grava, la piedra triturada, la escoria granulada de alto horno enfriada al aire, la vermiculita y la perlita.

Agregado fino - agregado que pasa por el tamiz 9.5 mm (3/8 pulg.), pasa casi totalmente por el tamiz de 4.75

mm (No.4) y se retiene predominantemente en el tamiz de 75 mm (no. 200).

Agregado grueso - grava natural, piedra triturada o escoria de alto horno de hierro, frecuentemente mayor que 5 mm (0.2 pulg.) y cuyo tamaño normalmente varía entre 9.5 mm y 37.5 mm (3/8 y 1 1/2 pulg.).

Agregado ligero (liviano) - agregado de baja densidad usado para producir concreto ligero. Puede ser arcilla expandida o sinterizada, pizarra, esquisto, perlita, vermiculita o escoria, piedra pomez (pumita) natural, cagafierro, tufa, diatomita, ceniza volante sinterizada o escoria industrial.

Agujero - término que describe la falla del mortero en rodear completamente el agregado grueso en el concreto, dejando espacios vacíos entre ellos.

Aire atrapado (aire ocluido) - vacío de aire no intencional, con forma irregular, en el concreto fresco o endurecido, con tamaño igual o superior a 1 mm.

Aire incluido (aire incorporado) - burbujas de aire microscópicas y esféricas- normalmente con diámetro entre 10 µm y 1000 µm - intencionalmente incorporadas en el concreto para suministrar resistencia a la congelación-deshielo y/o para mejorar la durabilidad.

Arcilla calcinada - arcilla calentada en altas temperaturas para cambiar sus propiedades físicas, para que se la utilice como puzolana o como material cementante en el concreto.

Ataque de sulfatos - la forma más común de ataque químico del concreto, causada por los sulfatos en las aguas subterráneas o en el suelo, que se manifiesta por la expansión y la desintegración del concreto.

Cal - formas químicas y físicas de la cal viva, cal hidratada y cal hidráulica. Se puede clasificar en alto calcio, magnesiana o dolomítica.

Cal hidratada - polvo seco obtenido del tratamiento de la cal viva con suficiente cantidad de agua para satisfacer sus afinidades químicas con el agua. Consiste esencialmente en hidróxido de calcio o en una mezcla de hidróxido de calcio y óxido de magnesio o hidróxido de magnesio o ambos.

Cambio de volumen - un aumento o una disminución del volumen por cualquier motivo, tal como un cambio de la humedad, de la temperatura o cambios químicos. (Véase también fluencia).

Capa superpuesta (recrecida) - capa de concreto o de mortero colocada sobre o unida a la superficie existente del pavimento o losa. Normalmente se hace para reparar una superficie desgastada o agrietada. Las capas superpuestas raramente tienen un espesor inferior a 25 mm (1 pulg.).

Carbonatación - reacción entre el dióxido de carbono y un hidróxido u óxido para formar carbonato.

Cemento - véase cemento portland y cemento hidráulico

Cemento de escoria - cemento hidráulico que consiste normalmente en una mezcla íntima y uniforme de escoria granulada de alto horno molida con o sin cemento portland o cal hidratada.

Cemento de albañilería - cemento hidráulico, usado principalmente en mampostería y revoque, que consiste en una mezcla de cemento portland o cemento hidráulico mezclado y materiales plastificantes (tales como caliza y cal hidratada o hidráulica), además de otros materiales que se adicionan para mejorar propiedades tales como tiempo de fraguado, trabajabilidad (docilidad), retención de agua y durabilidad.

Cemento hidráulico - el cemento que se fragua y se endurece por la reacción química con el agua y es capaz de endurecerse incluso bajo el agua. (Véase también cemento portland)

Cemento hidráulico mezclado (cemento compuesto, adicionado cemento mezcla, cemento de adición) - cemento que contiene combinaciones de cemento portland, puzolanas, escoria y/u otros cementos hidráulicos.

Cemento mortero - cemento hidráulico, usado principalmente en la construcción de mampostería, consistiendo en una mezcla de cemento portland y cemento hidráulico mezclado y materiales plastificantes (tales como caliza y cal hidratada o hidráulica), además de otros materiales que se adicionan para mejorar propiedades tales como tiempo de fraguado, trabajabilidad, retención de agua y durabilidad. El cemento mortero y el cemento de mampostería son similares en el uso y en la función. Sin embargo, las especificaciones para cemento mortero normalmente requieren contenidos de aire más bajos e incluyen requisitos de resistencia de adherencia a flexión.

Cemento plástico - cemento hidráulico especial que se fabrica para aplicaciones en revoque y estuco. Se lo muele conjuntamente con el cemento o se lo mezcla con uno o más agentes plastificantes inorgánicos para mejorar la trabajabilidad y las características de moldeo del mortero, revoque o estuco resultantes.

Cemento portland - cemento hidráulico de silicato de calcio que se produce por la pulverización del clínker de cemento portland y normalmente también contiene sulfato de calcio y otros compuestos. (Véase también cemento hidráulico).

Cemento portland blanco - cemento portland que se produce con materias primas con bajo contenido de hierro.

Cemento portland con inclusor de aire - cemento portland al cual se le adiciona un inclusor de aire (incorporador de aire) durante su producción.

Cemento portland de escoria de alto horno - cemento hidráulico que consiste en: (1) la molienda conjunta de la mezcla del clínker de cemento portland y escoria granulada de alto horno, (2) una mezcla íntima y uniforme del cemento portland y de una escoria granulada de alto horno fina o (3) una escoria de alto horno finamente molida con o sin adiciones.

Cemento portland puzolánico - cemento hidráulico que consiste en: (1) una mezcla íntima y uniforme de cemento portland o de cemento portland de escoria y una puzolana fina producida por la molienda conjunta del cemento portland y de la puzolana, (2) mezcla de cemento portland o de cemento portland de escoria de alto horno y una puzolana finamente molida o (3) por la combinación de molienda conjunta y mezclado, en la cual la cantidad del constituyente puzolánico está dentro de los límites especificados.

Ceniza volante - residuo de la combustión del carbón, que se transporta en los gases del conducto de humo y se usa como puzolana o material cementante en el concreto.

Cimbras (encofrados, formaletas) - apoyos temporarios para mantener el concreto fresco en el lugar hasta que se endurezca a un tal grado que se pueda auto soportar (cuando la estructura es capaz de soportar sus cargas muertas).

Clínker (clínquer) - producto final del horno de cemento portland, material cementante bruto antes de la molienda.

Cloruros (ataque) - compuestos químicos que contienen iones cloruros, los cuales promueven la corrosión del refuerzo de acero. Los descongelantes (agentes de deshielo) a base de cloruros son su principal fuente.

Cohesión - atracción mutua a través de la cual los elementos de una sustancia se mantienen unidos.

Compactación - proceso de inducción de una disposición más cerca de las partículas sólidas en el concreto, mortero o groute frescos, a través de la reducción de los vacíos, frecuentemente logrado con la vibración, el varillado, los golpes o la combinación de estos métodos. También llamada de consolidación.

Concreto - mezcla de material aglomerante (conglomerante) y agregados fino y grueso. En el concreto normal, comúnmente se usan como medio aglomerante, el cemento portland y el agua, pero también pueden contener puzolanas, escoria y/o aditivos químicos.

Concreto arquitectónico (concreto a la vista o aparente) - concreto que permanecerá expuesto a la vista y que, por lo tanto, requiere una atención especial en la elección de sus ingredientes, cimbras, métodos de colocación y acabado para que se obtenga la apariencia arquitectónica deseada.

Concreto autocompactante (autocompactable) - concreto con consistencia fluida que requiere poca o ninguna vibración u otra medida de consolidación.

Concreto celular - concreto con alto contenido de aire o de vacíos, resultando en baja densidad.

Concreto celular en autoclave - concreto que contiene un contenido de aire muy elevado, resultando en baja densidad y que se cura con altas temperatura y presión en una autoclave.

Concreto coloreado - concreto que contiene cemento blanco y/o pigmentos de óxido mineral para producir colores diferentes de la tonalidad gris normal del concreto tradicional de cemento gris.

Concreto compactado con rodillo (CCR) - una mezcla de agregados, materiales cementantes y agua, con revenimiento cero, que se consolida a través de compactadores vibratorios, normalmente usado en la construcción de presas, pavimentos industriales, áreas de almacenamiento y abono orgánico, y como un componente de los pavimentos compuestos de carreteras y calles.

Concreto con contracción compensada - concreto que contiene un cemento expansivo o un aditivo expansivo, que producen expansión durante el endurecimiento y, por lo tanto, compensan la contracción que ocurre posteriormente durante el secado (contracción por secado).

Concreto de alta resistencia - concreto con una resistencia de diseño de, por lo menos, 70 MPa (10,000 lb/pulg²).

Concreto de cemento portland modificado con polímeros - concreto de cemento portland fresco al cual se adiciona un polímero para la mejoría de la durabilidad y de las características de adhesión, comúnmente utilizado en capas superpuestas en tableros de puentes, también conocido como concreto modificado con látex.

Concreto de densidad elevada (concreto de gran peso, concreto con alta densidad) - concreto con una densidad muy elevada, que normalmente se logra con el uso de agregados de alta densidad.

Concreto de peso normal - tipo de concreto producido con agregados de densidad normal, frecuentemente piedra triturada o grava, y que tiene una densidad de aproximadamente 2400 kg/m³ (150 lb/pie³). (Consulte también concreto ligero y concreto de densidad elevada).

Concreto de polvo reactivo - concreto con alta resistencia, bajo contenido de agua y baja permeabilidad, con alto contenido de sílice y partículas de agregado con tamaño menor que 0.3 mm.

Concreto de revenimiento cero - concreto cuyo revenimiento no es mensurable. (Véase también concreto sin revenimiento).

Concreto endurecido - concreto en el estado sólido que haya desarrollado una cierta resistencia.

Concreto fresco - concreto recién mezclado y aún plástico y trabajable.

Concreto lanzado - mortero o concreto con agregados pequeños que se transporta por aire comprimido a través de una manguera y se aplica a la superficie en alta velocidad. También conocido como gunitado y concreto proyectado.

Concreto ligero - concreto con una densidad más baja que el concreto de densidad normal.

Concreto masivo - concreto colado en la obra en volúmenes suficientemente grandes para requerir medidas que compensen los cambios de volumen causados por el aumento de la temperatura debido al calor de hidratación, a fin de que el agrietamiento sea el mínimo.

Concreto poroso (concreto sin finos) - concreto que contiene cantidad insuficiente de finos o no contiene finos para llenar los vacíos entre las partículas de agregado en la mezcla. Las partículas de agregado grueso se revisten con una pasta de cemento y agua que une las partículas en sus puntos de contacto. El concreto resultante contiene un sistema de poros interconectados que permite que el agua de la lluvia se drene a través del concreto hacia la subbase abajo.

Concreto prefabricado (concreto premoldeado, precolado, hormigón preparado) - concreto colado en las cimbras en un ambiente controlado y que permite que se logre una resistencia especificada antes de su colocación en la obra.

Concreto premezclado - concreto producido para la entrega en la obra en el estado fresco.

Concreto pretensado (presfuerzo, presforzado, precomprimido) - concreto donde se inducen esfuerzos de compresión a través de tendones o varillas de acero de alta resistencia antes que se apliquen las cargas al elemento de concreto. Esto va a balancear los esfuerzos de tensión impuestos al elemento durante el servicio. Se lo puede lograr a través de: Postensado - un método de presfuerzo en el cual se aplican esfuerzos a los tendones/varillas después que el concreto se haya endurecido; o Presforzado - en el cual se aplican los esfuerzos a los tendones/varillas antes de la colocación del concreto.

Concreto reciclado - concreto endurecido que se haya reciclado para su uso, normalmente, como agregado.

Concreto reforzado (armado) - concreto al cual se adicionan materiales resistentes a la tensión, tales como varillas de acero o alambre metálico.

Concreto reforzado con fibras - concreto que contiene fibras orientadas aleatoriamente en 2 o 3 dimensiones por toda la matriz del concreto.

Concreto sin revenimiento - concreto con revenimiento menor que 6 mm (1/4 pulg.)

Consistencia - movilidad relativa o capacidad para fluir del concreto, mortero o grout frescos. (Véanse también revenimiento y trabajabilidad).

Contenido de aire - volumen total de vacíos de aire, sea incluido, sea atrapado, en la pasta de cemento, mortero o concreto. El aire incluido aumenta la durabilidad del mortero o concreto endurecidos sometidos a congelación-deshielo y aumenta la trabajabilidad de las mezclas frescas.

Contracción (retracción) - disminución de la longitud o del volumen del material, resultante de cambios del contenido de humedad, de la temperatura y cambios químicos.

Contracción - retracción, encogimiento

Control de calidad - acciones realizadas por el productor o el contratista, a fin de proveer un control sobre lo que se está haciendo y sobre lo que se está suministrando, para que las normas de buenas prácticas de obra se sigan.

Corrosión - deterioro del metal por la reacción química, electroquímica o electrolítica.

Curado - proceso, a través del cual se mantienen el concreto, mortero, grout o revoque frescos, en la condición húmeda y a una temperatura favorable, por el periodo de tiempo de sus primeras etapas, a fin de que se desarrollen las propiedades deseadas del material. El curado garantiza la hidratación y el endurecimiento satisfactorios de los materiales cementantes.

Curado húmedo al aire - curado con aire húmedo (no menos del 95% de humedad relativa) a presión atmosférica y a una temperatura de unos 23°C (73°F).

D

Descascaramiento (descascarillado, astilladura, desonchadura, despostilladura, engalletamiento, desmoronamiento, escamación, descamación, descantilladura) - disgregación y lascamiento de la superficie de concreto endurecido, frecuentemente resultante de ciclos de congelación-deshielo y de la aplicación de sales descongelantes.

Dosificación - proceso de medición, por peso o por volumen, de los ingredientes y su introducción en la mezcladora para una cantidad de concreto, mortero, grout o revoque.

Durabilidad - capacidad del concreto, mortero, grout o revoque de cemento portland de resistir a la acción de las intemperies y otras condiciones de servicio, tales como ataque químico, congelación-deshielo y abrasión.

E

Endurecimiento rápido - desarrollo rápido de la rigidez en la pasta de cemento hidráulico, mortero, grout, revoque o concreto frescos.

Erupción - depresión superficial en una superficie de concreto, resultante de la rotura y soltura de pedazos de concreto debido a la presión interna.

Escoria de alto horno - subproducto no metálico de la producción de acero que consiste básicamente en silicatos y aluminosilicatos del calcio que se desarrollan en la condición fundida simultáneamente con el hierro en el alto horno.

Esquisto calcinado - esquisto calentado en altas temperaturas, a fin de que se cambien sus propiedades físicas para que se lo utilice como puzolana o como material cementante en el concreto.

Estuco - el revoque de cemento portland y el estuco son el mismo material. El término "estuco" se usa ampliamente para describir el revoque de cemento usado para el revestimiento exterior de las superficies de los edificios. Sin embargo, en algunas áreas geográficas, "estuco" se refiere solamente a las mezclas de revestimiento industrializadas. (Véase también revoque de cemento portland).

Etringita - compuesto cristalino en forma de aguja que se produce por la reacción del C3A, yeso y agua en el concreto de cemento portland.

Ferrocemento - una o más capas de acero o alambre de refuerzo envueltas por mortero de cemento portland, produciendo un material compuesto de sección delgada.

Fibras - hilo o material en forma de hilo con un diámetro que varía de 0.05 a 4 mm (0.002 a 0.16 pulg.) y con longitud entre 10 y 150 mm (0.5 a 6 pulg.) y fabricado con de acero, vidrio, material sintético (plástico), carbono o material natural.

Flama - llama

Fluencia - deformación del concreto o de cualquier material, dependiente del tiempo y provocada por una carga mantenida en el tiempo.

Fraguado - grado en el cual el concreto fresco perdió su plasticidad y se endurece.

G

Granulometría (gradación) - distribución del tamaño de las partículas de agregado, que se determina por la separación a través de tamices normalizados.

Grout - mezcla de material cementante con o sin agregados aditivos, a la cual se adiciona una cantidad suficiente de agua para lograr una consistencia fluida o de bombeo sin segregación de los materiales constituyentes.

H

Hidratación - es la reacción entre el cemento hidráulico y el agua, a través de la cual se forman nuevos compuestos que confieren resistencia al concreto, mortero, grout y revoque.

Horno - horno rotatorio que se usa en la fabricación del cemento para calentar y combinar químicamente las materias primas inorgánicas, tales como las calizas, arena y arcilla, transformándolas en clínker de silicato de calcio.

Humo de sílice - sílice no cristalina muy fina, que es un subproducto de la producción de la aleación de silicio y ferrosilicio en los hornos eléctricos y que se usa como puzolana en el concreto.

I

Impermeabilización - tratamiento del concreto, mortero, grout o revoque para retardar el paso a su través o la absorción del agua o del vapor de agua.

Inclusión de aire - introducción intencional de aire en la forma de minúsculas burbujas desconectadas (normalmente menores de 1 mm) durante el mezclado del concreto, mortero, grout o revoque de cemento portland para mejorar las características deseables, tales como cohesión, trabajabilidad y durabilidad.

J

Junta - consulte juntas de construcción, juntas de contracción, juntas de aislamiento y juntas de expansión.

Junta de contracción - es un plano de debilidad para controlar la fisuración resultante de los cambios de volumen en la estructura de concreto. Las juntas se pueden producir con acanaladoras (ranuradores), aserrándolas o con la colocación de material para juntas preformado. También conocida como "Junta de Control".

Junta de expansión - una separación entre las partes adyacentes de una estructura para permitir el movimiento.

Juntas de aislamiento - separación que permite el movimiento libre de partes adyacentes de la estructura, tanto horizontal como verticalmente.

Juntas de construcción - son lugares de interrupción del proceso constructivo. Una verdadera junta de construcción debe unir el concreto nuevo al concreto existente y no debe permitir el movimiento estructural. En aplicaciones estructurales, su localización se debe determinar por el ingeniero estructural. En aplicaciones en losas sobre el terreno, las juntas de construcción frecuentemente se localizan en las juntas de contracción (control) y se las construye para permitir el movimiento y funcionar como junta de contracción.

L

Lechada - mezcla fina de una sustancia insoluble, tal como cemento portland, escoria o arcilla, con un líquido, tal como el agua.

M

Mampostería - las unidades de mampostería de concreto, bloques de arcilla, baldosas estructurales de arcilla, piedras, terracota o una combinación de ellos, unidos por mortero, apilados en seco o anclados con conectores de metal para formar muros, elementos de construcción, pavimentos y otras estructuras.

Masa específica - masa por unidad de volumen, peso por unidad de volumen al aire, expresados, por ejemplo, en kg/m³ (lb/ft³).

Masa específica relativa (densidad relativa) - una proporción entre la masa y el volumen del material con relación a la densidad del agua, también llamada gravedad específica.

Masa unitaria (masa volumétrica, densidad) - masa volumétrica del concreto fresco o del agregado, que normalmente se determina pesándose un volumen conocido de concreto o agregado (la densidad a granel o suelta de los agregados incluye los vacíos entre las partículas).

Material cementante (material cementoso) - cualquier material que presente propiedades cementantes o que contribuya para la formación de compuestos hidratados de silicato de calcio. En el proporcionamiento del concreto se consideran como materiales cementantes: cemento portland, cemento hidráulico mezclado, ceniza volante, escoria granulada de alto horno molida, humo de sílice, arcilla calcinada, metacaolinita, esquisto calcinado y ceniza de cáscara de arroz.

Material cementante suplementario - material cementante que no sea el cemento portland o el cemento mezclado. Véase también material cementante.

Metacaolinita - puzolana altamente reactiva producida de las arcillas caolinitas.

Módulo de elasticidad - relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria correspondiente para esfuerzos de tensión o compresión menores que el límite de proporcionalidad del material. También conocido como módulo de Young y módulo Young de elasticidad, designado por el símbolo E.

Módulo de finura (MF) - factor que se obtiene por la suma de los porcentajes acumulados de material de una muestra de agregado en cada uno de los tamices de la serie especificada y dividido por 100.

Mortero - mezcla de materiales cementantes, agregado fino y agua, que puede contener aditivos, y normalmente se usa para unir unidades de mampostería.

P

Pasta de cemento - constituyente del concreto, mortero, grout y revoque que consiste en cemento y agua.

Pavimento (concreto) - superficie de concreto de carretera, autopista, calle, camino o estacionamiento. A pesar de referirse normalmente a superficies usadas para viajes, el término también se aplica para área de almacenamiento y zona de juegos.

Permeabilidad - propiedad que permite el pasaje de fluidos y gases.

pH - símbolo químico que representa el logaritmo del recíproco de la concentración de iones hidrógeno en átomos gramo por litro, usado para expresar la acidez y la alcalinidad (base) de

la solución en una escala de 0 a 14, donde menos que 7 representa acidez y más que 7 alcalinidad.

Plasticidad - aquella propiedad de la pasta, concreto, mortero, grout o revoque frescos que determina su trabajabilidad, resistencia a deformación o facilidad de moldeo.

Plastificante - aditivo que aumenta la plasticidad del concreto, mortero, grout o revoque de cemento portland.

Puzolana - materiales silíceos o silíceos y aluminosos, tales como la ceniza volante o el humo de sílice, que, por si mismos, poseen poco o ningún valor cementante, pero que cuando están finamente molidos y en presencia de agua, reaccionan con el hidróxido de calcio a temperaturas normales, para formar compuestos que poseen propiedades cementantes.

R

Reactividad álcali-agregado (árido-álcali) - producción de gel expansivo por la reacción entre los agregados que contienen ciertas formas de sílice o carbonatos y el hidróxido de calcio en el concreto.

Reductor de agua - aditivo cuyas propiedades permiten una reducción del agua necesaria para producir una mezcla de concreto con un cierto revenimiento, reducir la relación agua-cemento, reducir el contenido de cemento o aumentar el revenimiento.

Relación agua-cemento (a/c) - relación entre la masa de agua y la masa de cemento en el concreto.

Relación agua-material cementante - relación de la masa de agua por la masa de materiales cementantes en el concreto, incluyéndose el cemento portland, el cemento mezclado, el cemento hidráulico, la escoria, la ceniza volante, el humo de sílice, la arcilla calcinada, la metacaolinita, el esquisto calcinado y la ceniza de cáscara de arroz.

Rendimiento - volumen por amasada (bachada, pastón) de concreto que se expresa en metros cúbicos (pies cúbicos).

Resina epóxi - tipo de sistema de adherencia química orgánica que se usa en la preparación de revestimientos especiales o adhesivos para concreto y mampostería o como aglomerantes en morteros y concretos a base de resina epóxi.

Resistencia a compresión - resistencia máxima que una probeta de concreto, mortero o grout puede resistir cuando es cargada axialmente en compresión en una máquina de ensayo a una velocidad especificada. Normalmente se expresa en fuerza por unidad de área de sección transversal, tal como megapascal (MPa) o libras por pulgada cuadrada (lb/pulg.2 o psi).

Resistencia a congelación-deshielo - capacidad del concreto de resistir a ciclos de congelación y deshielo (Véase también inclusión de aire y aditivo inclusor de aire).

Resistencia a flexión - capacidad de los sólidos de resistir a la flexión.

Resistencia a la tensión (tracción) - esfuerzo hasta el cual el concreto puede resistir sin agrietarse bajo el cargamento a tensión axial.

Resistencia al fuego - aquella propiedad del material, elemento o partes de la construcción de resistir al fuego o de dar protección contra el fuego. Se caracteriza por la capacidad de confinar el fuego o de continuar a desempeñar una cierta función estructural durante el fuego o ambos.

Retardador (retardante) - aditivo que retarda el fraguado y el endurecimiento del concreto.

Revenimiento (asentamiento de cono de Abrams) - medida de consistencia del concreto fresco, igual al asentamiento inmediato de una probeta moldeada con un cono normalizado.

Revoque (enfoscado) de cemento portland - una combinación de materiales cementantes a base de cemento portland y agregados mezclados con la cantidad adecuada de agua para formar una masa plástica que se adhiere a la superficie y se endurece, manteniendo cualquier forma y textura aplicada en el estado plástico. Véase también estuco.

S

Sangrado (exudación) - flujo del agua de la mezcla del concreto fresco, causado por el asentamiento de los materiales sólidos de la mezcla.

Segregación - separación de los componentes del concreto fresco (agregados y mortero), resultando en una mezcla sin uniformidad.

Suelo-cemento - mezcla de suelo y una cantidad de cemento portland y agua, compactados hasta una densidad elevada, usada principalmente como material de base bajo los pavimentos. También conocido como suelo estabilizado con cemento.

Superplastificante (superfluidificantes, superfluidizantes) - los aditivos superplastificantes son aditivos reductores de agua de alto rango que aumentan la fluidez del concreto fresco. En

algunos países, tales como EE.UU., México y Ecuador, se puede usar el término plastificante como sinónimo del término superplastificante. Pero, en países tales como Argentina y Chile, el término superplastificante se refiere a los reductores de agua de alto rango, mientras que el término plastificante(fluidificante) se refiere a los reductores de agua convencionales y por lo tanto, en estos casos, los términos superplastificante y plastificante no se pueden usar como sinónimos.

T

Trabajabilidad - es la propiedad del concreto, mortero, grout o revoque frescos que determina sus características de trabajo, es decir, la facilidad para su mezclado, colocación, moldeo y acabado. (Consulte también revenimiento y consistencia).

U

UBC - Uniform Building Code - Código de la construcción uniforme, que se publicó por la Conferencia Internacional de los Funcionarios de la Construcción en Whittier, California.

Unidades métricas - también llamadas unidades del Sistema Internacional (SI) de unidades. Es el sistema de unidades usado en la mayoría de los países en el siglo XXI. Incluyen, pero no se limitan a: (1) longitud en milímetros, metros y kilómetros, (2) área en milímetros cuadrados, metros cuadrados y kilómetros cuadrados, (3) volumen en metros cúbicos y litros, (4) masa en miligramos, gramos, kilogramos y megagramos y (5) temperatura en grados Celsius.

Unidades pulgadas-libras - unidades de longitud, área, volumen, peso y temperatura comúnmente usadas en los Estados Unidos entre los siglos XVIII y XX. Incluyen, pero no se limitan a: (1) longitud en pulgadas, pies, yardas y millas, (2) área en pulgadas cuadradas, pies cuadrados, yardas cuadradas y millas cuadradas, (3) volumen en pulgadas cúbicas, pies cúbicos, yardas cúbicas, galones y onzas, (4) peso en libras y onzas y (5) temperatura en grados Fahrenheit.

V

Vacíos de aire - vacíos de aire atrapado (aire ocluido) o burbujas de aire incluido en el concreto, mortero o grout. Los vacíos atrapados normalmente tienen un diámetro mayor que 1 mm y los vacíos incluidos son menores. La mayoría de los vacíos atrapados se debe remover a través de vibración interna, plantillas vibratorias o varillado.

Vibración - agitación de alta frecuencia del concreto fresco a través de aparatos mecánicos, con propósitos de consolidación.

REFERENCIAS

Diseño y Control de Mezclas de Concreto

Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi



Portland Cement Association
5420 Old Orchard Road
Skokie, Illinois 60077-1083 EE.UU.
847.966.6200 Fax 847.966.9781

-Abrams, D. A., *Design of Concrete Mixtures (Diseño de Mezclas de Concreto)*, Lewis Institute, Structural Materials Research Laboratory, Bulletin No. 1, PCA LS001, http://www.portcement.org/pdf_files/LS001.pdf, 1918, 20 páginas.

-ACI Committee 201, *Guide to Durable Concrete (Guía del Concreto Durable)*, ACI 201.2R-92, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1992.

-ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (Requisitos del Código de Edificios para el Concreto estructural y Comentarios)*, ACI 318-99, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1999.

-ACI *Manual of Concrete Practice (Manual de las Prácticas del Concreto)*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2001.

Test Program (Informe sobre la ASTM C-9 subcomité III-M)

- Ensayos de Abrasión del Concreto - Programa Cooperativo de Ensayos de Abrasión),” University of California and Portland Cement Association, 1970.

-Bureau of Reclamation, *Concrete Manual (Manual del Concreto)*, 8th Edition, U.S. Bureau of Reclamation, Denver, 1981, página 33.

-Burg, Ronald G., *The Influence of Casting and Curing Temperature on the Properties of Fresh and Hardened Concrete (La Influencia de la Temperatura de Colocación y del Curado sobre las Propiedades del Concreto Fresco y Endurecido)*, Research and Development Bulletin RD113, Portland Cement Association, 1996, 20 página

-Farny, James A. y Kosmatka, Steven H., *Diagnosis and Control of Alkali-Aggregate Reactions in Concrete (Diagnóstico y Control de las Reacciones Alkali-Agregado en el Concreto)*, IS413, Portland Cement Association, 1997, 24 páginas.

-AASHTO, *Guide Specification For Highway Construction SECTION 56X Portland Cement Concrete Resistant to Excessive Expansion Caused by Alkali-Silica Reaction - Appendix F to ASR Transition Plan (Especificación para la Construcción de Carreteras Sección 56X Concrete de Cemento Portland Resistente a la Expansión Excesiva Causada por la Reacción Alkali-Sílice - Apéndice F para el Plan de Transición de RAS)*, <http://leadstates.tamu.edu/ASR/library/gspec.stm>, 2001.

- ACI Committee 216, *Guide for Determining the Fire Endurance of Concrete Elements (Guía para la Determinación de la Resistencia al Fuego de los Elementos de Concreto)*, ACI 216R- 89, reprobada en 1994, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1989.

-ACI Committee 221, *Guide for Use of Normal Weight Aggregates in Concrete (Guía para el Uso de Agregado de Peso Normal en Concreto)*, ACI 221R-96, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1996.

- ACI Committee 221, *Guide to Alkali Aggregate Reactions (Guía de las Reacciones Alkali-Agregado)*, ACI 221.1-98, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1998.
- ACI Committee 515, *A Guide to the Use of Waterproofing, Dampproofing, Protective, and Decorative Barrier Systems for Concrete (Guía para el Uso de Sistemas de Barrera Impermeabilizante, a Prueba de Agua, Protectorio y Decorativo para el Concreto)*, ACI 515.1R-79, revisado en 1985, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1979.
- Stark, D. C., *Alkali-Silica Reactivity: Some Reconsiderations (Reactividad Alkali-Sílice: Algunas recomendaciones)*, Research and Development Bulletin RD076, Portland Cement Association, http://www.portcement.org/pdf_files/RD076.pdf, 1981.
- ACI Committee 212, *Chemical Admixtures for Concrete (Aditivos Químicos para Concreto)*, ACI 212.3R-91, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1991.
- ACI Committee 212, *Guide for the Use of High-Range Water- Reducing Admixtures (Superplasticizers) in Concrete (Guía para el Uso del Aditivo Reductor de Agua de Alto Rango (Superplastificante) en el Concreto)*, ACI 212.4R-93 (Reaprobado en 1998), American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1998.
- ACI Committee 222, *Corrosion of Metals in Concrete (Corrosión de Metales en el Concreto)*, ACI 222R-96, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1996.
- ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (Requisitos del Código de Edificios para el Concreto Estructural y Comentarios)*, ACI 318-02, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2002.
- ACI E4, *Chemical and Air-Entraining Admixtures for Concrete (Aditivos Químicos e Inclusores de Aire para el Concreto)*, ACI Education Bulletin No. E4-96, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1999, 16 páginas. - Abrams, D. A., *Design of Concrete Mixtures (Diseño de Mezclas de Concreto)*, Lewis Institute, Structural Materials Research Laboratory, Bulletin No. 1, PCA LS001, Chicago, http://www.portcement.org/pdf_files/LS001.pdf, 1918, 20 pages.
- ACI Committee 211, *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete (Prácticas Estándares para la Elección de las Proporciones de los Concretos Normal, Pesado y Masivo)*, ACI 211.1-91, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1991.
- ACI Committee 211, *Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash (Guía de Elección de las Proporciones para el Concreto de Alta resistencia con Cemento Portland y Ceniza Volante)*, ACI 211.4R-93, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1993.
- ACI Committee 211, *Guide for Submittal of Concrete Proportions (Guía de Sometimiento de las Proporciones del Concreto)*, ACI 211.5R-96, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1996.
- ACI Committee 211, *Guide for Selecting Proportions for No- Slump Concrete (Guía de Elección de las Proporciones para el Concreto con Revenimiento Cero)*, ACI 211.3R-97, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1997.
- ACI Committee 211, *Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete (Guía de Elección de las Proporciones para el Concreto Estructural Ligero)*, ACI 211.2-98, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1998.

- ACI Committee 214, *Recommended Practice for Evaluation of Strength Test Results of Concrete (Práctica Recomendada para la Evaluación de los Resultados de los Ensayos de Compresión del Concreto)*, ACI 214-77, reprobado en 1997, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1977.
- ACI Committee 301, *Specifications for Structural Concrete (Especificaciones para el Concreto Estructural)*, ACI 301-99, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1999.
- ACI Committee 302, *Guide for Concrete Floor and Slab Construction (Guía para la Construcción de Pisos y Losas de Concreto)*, ACI 302.1R-96, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1996.
- PCA, *Concrete for Small Jobs (Concreto para Pequeñas Obras)*, IS174, Portland Cement Association, http://www.portcement.org/pdf_files/IS174.pdf, 1988.
- ACI Committee 301, *Specifications for Structural Concrete (Especificaciones para el Concreto Estructural)*, ACI 301-99, ACI Committee 301 Report, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1999.
- ACI Committee 304, *Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete (Guía para Dosificación, Mezclado, Transporte y Colocación del Concreto)*, ACI 304R-00, ACI Committee 304 Report, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2000.
- ACI Committee 304, *Placing Concrete by Pumping Methods (Bombeo del Concreto)*, ACI 304.2R-96, ACI Committee 304 Report, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1996.
- ACI Committee 304, *Placing Concrete with Belt Conveyors (Colocación del Concreto con Esteras Transportadoras)*, ACI 304.4R-95, ACI Committee 304 Report, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1995.
- Haney, James T. y Meyers, Rodney A., *Ready Mixed Concrete—Plant and Truck Mixer Operations and Quality Control (Concreto Premezclado - Operaciones de la central y del camión mezclador y control de calidad)*, NRMCA Publication No. 172, National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland, Mayo 1985. Panarese, William C., *Transporting and Handling Concrete (Transporte y Manejo del Concreto)*, IS178, Portland Cement Association, 1987.
- PCA, *Structural Lightweight Concrete (Concreto Estructural Ligero)*, IS032, Portland Cement Association, http://www.portcement.org/pdf_files/IS032.pdf, 1986.
- PCA, *Building Movements and Joints (Movimientos y Juntas de Construcción)*, EB086, Portland Cement Association, http://www.portcement.org/pdf_files/EB086.pdf, 1982, 68 páginas.
- PCA, *Bushhammering of Concrete Surfaces (Martillado de Superficies de Concreto)*, IS051, Portland Cement Association, 1972.
- PCA, *Color and Texture in Architectural Concrete (Color y Textura en el Concreto Estructural)*, SP021, Portland Cement Association, 1995, 36 páginas.
- PCA, *Concrete Basements for Residential and Light Building Construction (Sótanos de Concreto para Construcciones Residenciales o Edificios Ligeros)*, IS208, Portland Cement Association, 1980a.
- PCA, *Defectos de la Superficies de Losas de Concreto: causas, prevención, reparación*, IS542, Portland Cement Association, 2003, 16 páginas.

- PCA, "Foam Insulation Under Basement Floors (Aislamiento con Espuma bajo los Pisos de Sótanos)," *Concrete Technology Today*, PL853, Portland Cement Association, http://www.portcement.org/pdf_files/PL853.pdf, Septiembre 1985.
- PCA, *Joint Design for Concrete Highway and Street Pavements (Diseño de Juntas para Carreteras de Concreto y Pavimentos de Calles)*, IS059, Portland Cement Association, 1980.
- PCA, *Joints in Walls Below Ground (Juntas en Muros Abajo del Suelo)*, CR059, Portland Cement Association, 1982a.
- PCA, "Joints to Control Cracking in Walls (Juntas para el Control del Agrietamiento en Muros)," *Concrete Technology Today*, PL843, Portland Cement Association, http://www.portcement.org/pdf_files/PL843.pdf, Septiembre 1984.
- PCA, *Painting Concrete (Pintura del Concreto)*, IS134, Portland Cement Association, 1992, 8 páginas.
- ACI Committee 516, "High Pressure Steam Curing: Modern Practice and Properties of Autoclaved Products (Curado con Vapor a Alta Presión: Práctica Moderna y Propiedades de los Productos Autoclavados)," *Proceedings of the American Concrete Institute*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, Agosto 1965, páginas 869 a 908.
- ACI Committee 517, *Accelerated Curing of Concrete at Atmospheric Pressure (Curado Acelerado del Concreto a Presión Atmosférica)*, ACI 517.2R-87, revisado en 1992, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1992, 17 páginas.
- Burg, Ronald G., *The Influence of Casting and Curing Temperature on the Properties of Fresh and Hardened Concrete (La Influencia de la Temperatura de Colocación y de Curado sobre las Propiedades del Concreto Fresco y Endurecido)*, Research and Development Bulletin RD113, Portland Cement Association, 1996, 20 páginas.
- ACI Committee 214, *Recommended Practice for Evaluation of Strength Test Results of Concrete (Práctica Recomendada para la Evaluación de los Resultados de los Ensayos de Compresión del Concreto)*, ACI 214-77, reprobado en 1997, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1997, 14 páginas.
- ACI Committee 222, *Provisional Standard Test Method for Water Soluble Chloride Available for Corrosion of Embedded Steel in Mortar and Concrete Using the Soxhlet Extractor (Norma Provisional para el Método de Ensayo del Cloruro Soluble en Agua Disponible para la Corrosión del Acero Incrustado en el Mortero y en el Concreto usando el Extractor Soxhlet)*, ACI 222.1-96, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1996, 3 páginas.
- ACI Committee 228, *In-Place Methods to Estimate Concrete Strength (Métodos para Estimación de la Resistencia del Concreto en la Obra)*, ACI 228.1R-95, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1995, 41 páginas.
- ACI Committee 228, *Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures (Métodos de Ensayos no Destructivos para la Evaluación del Concreto en Estructuras)*, ACI 228.2R-98, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1998, 62 páginas.
- ACI Committee 306, *Cold-Weather Concreting (Colado en Clima Frío)*, ACI 306R-88, reprobado en 1997, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1997, 23 páginas.
- ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (Requisitos del Código de Edificios para el Concreto Estructural y Comentarios)*, ACI 318-02, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2002, 369 páginas.

-ACI Committee 364, *Guide for Evaluation of Concrete Structures Prior to Rehabilitation (Guía para la Evaluación de Estructuras de Concreto Antes de su Rehabilitación)*, ACI 364.1 R-94, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1994, 22 páginas.

-Angles, J., "Measuring Workability (Medida de la Trabajabilidad)," 8(12), *Concrete*, 1974, página 26.

-ASTM, *Manual of Aggregate and Concrete Testing (Manual de Ensayos de Agregados y Concreto)*, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, 2000.

-Burg, R. G.; Caldarone, M. A.; Detwiler, G.; Jansen, D. C.; y Willems, T. J., "Compression Testing of HSC: Latest Technology (Ensayo a Compresión del Concreto de Alta Resistencia: Tecnología Reciente)." *Concrete International*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, Agosto 1999, páginas 67 a 76.

-PCA *Durability Subcommittee, Guide Specification for Concrete Subject to Alkali-Silica Reactions (Guía para la Especificación del Concreto Sujeto a las Reacciones Álcali-Sílice)*, IS415, Portland Cement Association, 1998

-PCA, "Rapid Analysis of Fresh Concrete (Análisis Rápido del Concreto Fresco)," *Concrete Technology Today*, PL832, Portland Cement Association, http://www.portcement.org/pdf_files/PL832.pdf, Junio 1983, páginas 3 y 4.

PCA, *Understanding Concrete Floors and Moisture Issues (Comprensión del Tema de los Pisos de Concreto y de la Humedad)*, CD014, Portland Cement Association, 2000.

U.S. Bureau of Reclamation, *Concrete Manual (Manual del Concreto)*, 8th Edition, Denver, 1975, página 11.

U.S. Bureau of Reclamation, *Concrete Manual Part 2 (Manual del Concreto - Parte 2)*, 9th Edition, Denver, 1992, páginas 680 a 684.